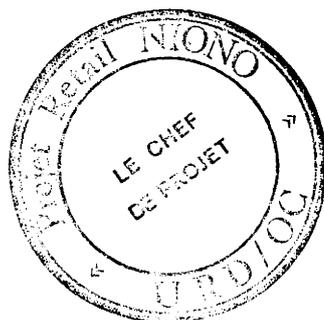


UNIVERSITÉ PAUL VALÉRY  
Arts, Lettres, Langues et Sciences Humaines  
MONTPELLIER III



GÉOGRAPHIE DE L'AMÉNAGEMENT  
Option Espaces et Développement

# ADAPTATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION A L'ARIDITÉ AU MAROC ET AU SAHEL

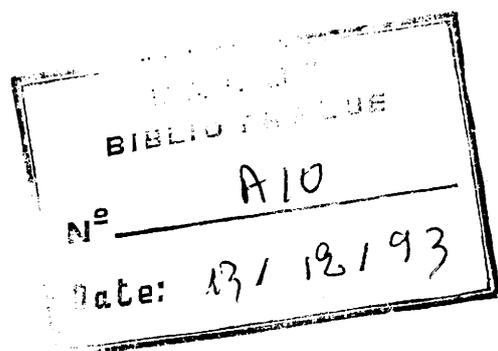
Volume I : Synthèse des travaux

THÈSE DE DOCTORAT

présentée et soutenue publiquement par

Philippe JOUVE

Sous la direction  
du Professeur Pierre CARRIERE



devant le jury composé de :

Pierre CARRIERE	Professeur, Montpellier III
Jacques FAYE	Directeur Scientifique CIRAD-SAR
François PAPY	Directeur de Recherche INRA
Henri PICHERAL	Professeur, Montpellier III
Jean-Pierre RAISON	Professeur, Paris X

le 13 Décembre 1993



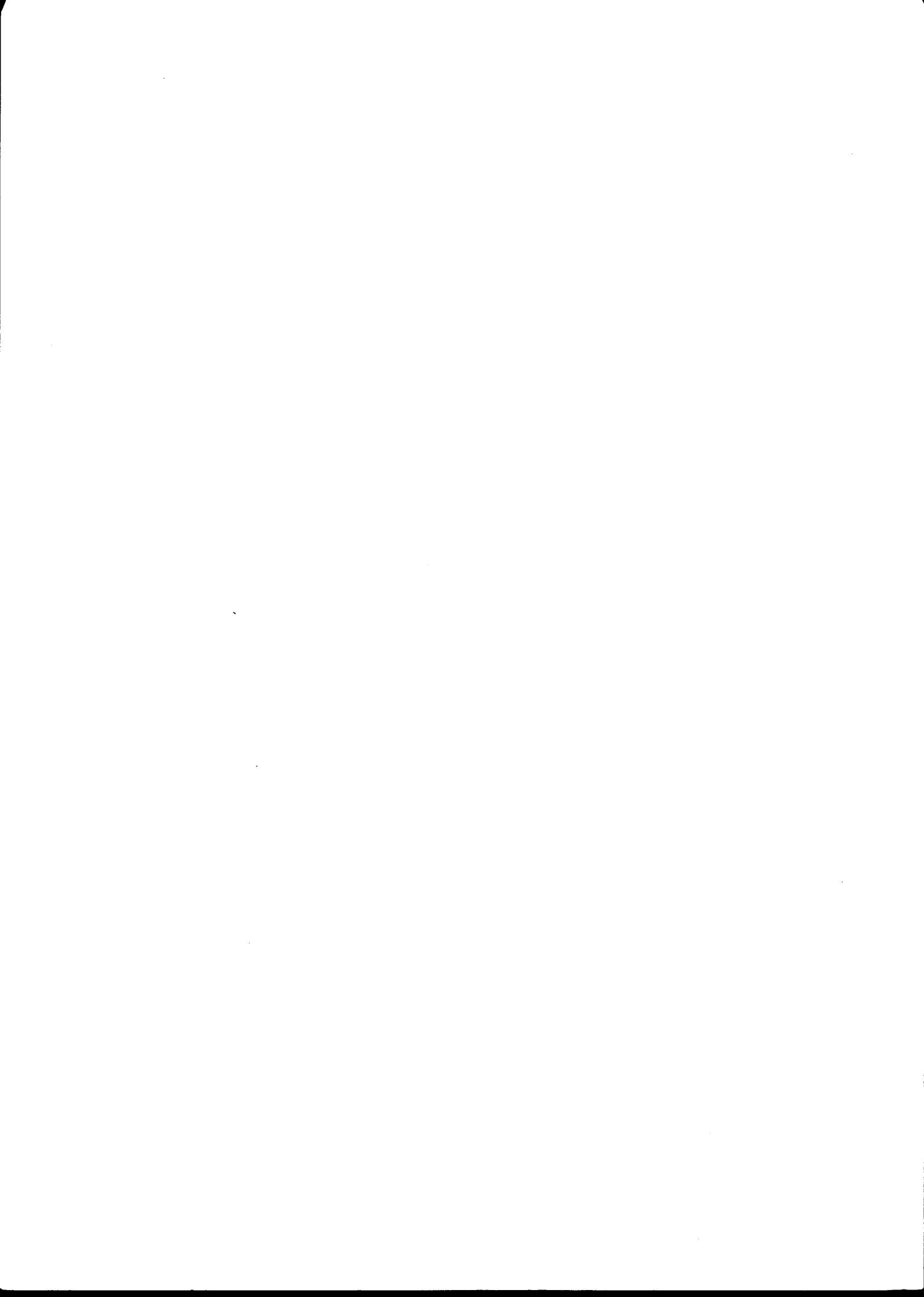
## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à témoigner toute ma gratitude au Professeur Pierre Carrière qui m'a encouragé à faire une thèse à partir de mes travaux de recherche et dont les conseils avisés ont permis sa réalisation.

Une vie professionnelle est faite de rencontres et d'opportunités offertes. Aussi, je voudrais dire ma reconnaissance aux personnes qui, par leur enseignement ou la confiance qu'ils m'ont accordée, ont profondément marqué le cours de mon itinéraire professionnel. Je pense, en particulier, aux Professeurs Stéphane Hénin et Michel Sebillotte à l'Institut National Agronomique, à Franz Smeyers au Projet Sebou, à Abdellah Bekkali à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, à Hervé Bichat et René Tourte au CIRAD, enfin à Alain Ruellan, Directeur du CNEARC.

Un travail de recherche est rarement un exercice solitaire. De nombreux collègues et amis ont participé aux travaux présentés dans cette synthèse. Il m'est difficile de les citer tous. Mais je tiens cependant à remercier tout spécialement François Papy, Saïd Ouattar, Hada El Baghati, Abdelffetah Berrada, qui ont participé au programme de recherche en aridoculture au Maroc ainsi qu'à Pierre-Yves Le Gal, Joseph Ogier et Patrick Dugué avec lesquels j'ai collaboré au Sahel.

Enfin, je ne peux oublier tout ce que je dois aux étudiants qui ont été associés à mes travaux ainsi qu'aux agriculteurs du Maroc et du Sahel qui m'ont fait bénéficier de leur savoir et de leur généreuse hospitalité, qu'ils en soient sincèrement remerciés.



## SOMMAIRE

### AVANT-PROPOS :

UN ITINERAIRE DE RECHERCHE DU MAGHREB A L'AFRIQUE SUB-SAHARIENNE .....	11
---	----

1 - INTRODUCTION .....	13
2 - ITINERAIRE PROFESSIONNEL ET DE RECHERCHE .....	15
2.1 - Le projet Sebou et l'aménagement hydro-agricole de la plaine du Gharb .....	15
2.2 - L'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Recherches sur les systèmes de culture des zones arides .....	18
2.3 - Du GERDAT au CIRAD. Recherches sur les systèmes de production et Recherche-Développement en Afrique sub-saharienne .....	22
2.4 - Un thème fédérateur : l'adaptation des systèmes de production à l'aridité .....	27
Travaux et publications (références bibliographiques) .....	29

### PREMIERE PARTIE :

#### L'ARIDITE AU MAROC ET AU SAHEL :

SES CONSÉQUENCES AGRONOMIQUES .....	35
-------------------------------------	----

1 - CARACTERES GENERAUX DE L'ARIDITE AU MAGHREB ET AU SAHEL.....	37
1.1 - Essais de caractérisation de l'aridité climatique .....	37
1.2 - Types d'aridité climatique du Maghreb et du Sahel .....	39
1.3 - Aridité et sécheresse .....	42
1.4 - Aridité climatique, aridité édaphique .....	42
2 - SPECIFICITES DE L'ARIDITE AU MAROC ET AU SAHEL : conséquences agronomiques .....	43
2.1 - Au Maroc, un gradient d'aridité Nord-Sud accentué par la nature des sols .....	43
2.2 - Au Sahel : variabilité pluviométrique et forte interaction sol-climat .....	48
2.2.1 - Accroissement de l'aridité ou anomalie climatique conjoncturelle ? .....	48
2.2.2 - Une efficacité des pluies très variable suivant les terrains .....	52

**DEUXIEME PARTIE :**

**SYSTEMES DE CULTURE ET PRATIQUES PAYSANNES**

**FACE A L'ARIDITE ET AUX ALEAS CLIMATIQUES .....63**

**INTRODUCTION .....65**

**1 - ARIDITE ET SYSTEMES DE CULTURE DANS LE MAROC**

**OCCIDENTAL .....66**

**1.1 - Des successions culturelles diversifiées suivant les terrains  
et l'aridité .....66**

**1.2 - Des itinéraires techniques à dominante extensive .....69**

**1.3 - Modalités d'adaptation des systèmes de culture aux  
aléas climatiques .....72**

**1.4 - L'adaptation des systèmes de production .....76**

**2 - PRATIQUES ET STRATEGIES CONTREALEATOIRES AU SAHEL .....78**

**2.1 - L'adaptation des systèmes de culture à l'aridité .....78**

**2.2 - Extensification ou intensification .....85**

**2.3 - Stratégies d'adaptation aux aléas climatiques : diversité,  
mobilité, pluriactivité .....92**

**TROISIEME PARTIE :**

**STRATEGIES DE LUTTE CONTRE L'ARIDITE, VOIES ET MOYENS**

**D'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES CULTURES ....95**

**INTRODUCTION .....97**

**1 - AMELIORATION CULTURALE ET AMELIORATION VARIETALE .....98**

**2 - L'ADAPTATION A L'ARIDITE DES CULTURES PLUVIALES**

**AU MAROC .....101**

**2.1 - Pluviométrie et rendements .....101**

**2.2 - Les techniques d'amélioration de l'alimentation hydrique  
des cultures .....104**

**a - maximiser le stockage de l'eau dans le sol .....106**

**b - minimiser les pertes directes de l'eau stockée .....109**

**c - optimiser l'efficacité de l'eau consommée par  
les cultures .....111**

**2.3 - Voies et moyens d'amélioration des rendements céréaliers  
en zones semi-aride et aride marocaines .....123**

3 - LES VOIES D'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES CULTURES AU SAHEL .....	133
3.1 - L'économie et la valorisation de l'eau par les cultures dans les milieux sableux .....	135
3.2 - L'économie de l'eau dans les milieux cuirassés.....	151
4 - LA LUTTE CONTRE L'ARIDITE PAR L'IRRIGATION : ILLUSION OU REALITE ? .....	160
4.1 - Situation de l'irrigation au Maroc et au Sahel .....	160
a - Au Maroc, la place grandissante du secteur irrigué .....	160
b - Au Sahel, un potentiel sous-exploité et des résultats décevants .....	165
4.2 - Les conditions de réussite de l'irrigation .....	169
a - Causes des échecs de l'irrigation au Sahel .....	169
b - Analyse comparée des conditions de développement de l'irrigation au Maroc et au Sahel .....	171
c - Irrigation, densité de population et évolution des systèmes agraires .....	179
 <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	 <b>183</b>

## TABLEAUX

Tableau I.1	Caractéristiques de l'aridité du Maghreb et du Sahel .....	39
Tableau I-2	Estimation des paramètres hydriques des principaux sols des zones arides et semi-aride du Maroc occidental .....	45
Tableau I.3	Caractéristiques principales des sols des deux grands types de milieu sahélien .....	55
Tableau II.1	Successions culturales types suivant le climat et les sols des zones semi-arides et arides du Maroc occidental .....	68
Tableau II.2	Itinéraires techniques les plus fréquents pour la culture des céréales en zone semi-aride du Maroc occidental .....	71
Tableau III.1	Corrélation entre pluviométrie de septembre à mai et rendements des céréales .....	102
Tableau III.2	Corrélation entre peuplement-épi et rendement .....	117
Tableau III.3	Effet de la date de semis sur les attaques de <i>Cecidomyie</i> et conséquences sur le tallage herbacé du blé tendre Nesma 149 .....	122
Tableau III.4	Estimation des rendements céréaliers en fonction de la date de semis .....	123
Tableau III.5	Evolution de l'utilisation des facteurs de production .....	127
Tableau III.6	Potentialités et réalités de l'irrigation au Maroc .....	161
Tableau III.7	Place de l'agriculture irriguée dans la satisfaction des besoins alimentaires au Maroc en 2020 .....	164
Tableau III.8	Place de la production de riz de périmètres irrigués modernes dans quelques pays du Sahel, en 1989 .....	166
Tableau III.9	Effets économiques sur la culture du riz de la réhabilitation dans le Projet Rétail (Office du Niger) .....	181

## FIGURES

Figure I.1	Caractéristiques de l'aridité au Maghreb et en Afrique subsaharienne .....	40
Figure I.2	Zone d'étude de l'aridité du Maroc occidental .....	43
Figure I.3	Evapotranspiration potentielle et régime fréquentiel des pluies en zones semi-aride et aride marocaines.....	45
Figure I.4	Répartition des zones bio-climatiques au Maghreb .....	47
Figure I.5	Zones d'étude de l'adaptation des systèmes de production à l'aridité et à la sécheresse au Sahel .....	49
Figure I.6	Toposéquence de milieu cuirassé au Yatenga .....	53
Figure I.7	Les grands types de milieu morphopédologique au Sahel .....	54
Figure II.1	Schéma général d'évolution des systèmes de production et de dégradation des ressources naturelles en zone sahélo-soudanienne .....	91
Figure III.1	Quatre relations de stabilité entre cultivars élites et locaux à travers divers environnements .....	99
Figure III.2	Relation rendement - ETR/ETM .....	103
Figure III.3	Lutte contre l'aridité au Maghreb par les techniques culturales (en culture pluviale) .....	105
Figure III.4	Rendement en grain en fonction des dates de semis .....	112
Figure III.5	Effet de la doze et du mode d'apport d'azote sur le rendement en grain et en paille du blé tendre en zone semi-aride (El Haouta, 1980).....	120

Figure III.6	Fluctuations de la pluviométrie et des rendements céréaliers en zone aride (Marrakech) et en zone semi-aride (Settat) .....	128
Figure III.7	Evolution des précipitations et des rendements sur 50 ans à l'est du Montana (USA) .....	129
Figure III.8	Evolution de la relation pluviométrie-rendement des céréales au cours des vingt dernières années, en zones aride et semi-aride marocaines .....	130
Figure III.9	Voies d'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures pluviales au Sahel .....	134
Figure III. 10	Voies d'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures pluviales au Sahel, dans les milieux sableux d'origine éolienne .....	135
Figure III.11	Résultats des tests de fertilisation, en milieu paysan, à Maradi .....	139
Figure III.12	Effets de la fertilisation azotée et phosphatée sur mil en fonction de la densité de poquets, au Niger.....	140
Figure III.13	Structuration auréolaire du territoire villageois de Kouloum Boutey et différenciation des modes d'entretien de la fertilité des sols .....	143
Figure III.14	Intérêt économique de la fertilisation phosphatée du mil (Maradi, Niger).....	146
Figure III.15	Rapport entre la pluviosité et l'augmentation de rendement du mil, par un apport de 50 kg d'urée et 100 kg de super-simple (1985, Département de Maradi) .....	148
Figure III.16	Techniques de travail du sol et rendement des cultures au Yatenga .....	154
Figure III.17	Bloc d'irrigation en trame B (accès par l'amont) .....	174
Figure III.18	Evolution des aménagements dans la vallée du Sénégal.....	178

## PHOTOS

1	Paysage agricole, en zone semi-aride au Maroc (région de Chaouia).....	56
2	Paysage agricole en zone aride au Maroc (région de Benguerir) .....	56
3	Paysage agricole, en milieu dunaire, dans la région de Thiès au Sénégal .....	57
4	Paysage agricole, en milieu cuirassé, dans la région de Filingué au Niger .....	57
5	Dégradation de l'état de surface du sol par suite du ruissellement, sur glacis en milieu cuirassé (Dallo -Bosso, Niger) .....	59
6	Pratique traditionnelle de paillage pour la régénération d'un sol dégradé (Dallol-Bosso, Niger) .....	59
7	Semis direct de mil sur sol sableux (Sénégal) .....	80
8	Semis du mil, avec semoir et traction attelée, dès les premières pluies en Pays Sérér au Sénégal .....	80
9	Association de culture mil - niébé dans le département de Maradi au Niger .....	84
10	Culture intensive du mil dans la première auréole des villages (Maradi, Niger) .....	84
11	Structuration auréolaire des territoires villageois à Maradi. Extension de la zone de culture au détriment des brousses périphériques .....	88
12	Partie centrale d'un village à Maradi. Zone d'habitation et première auréole .....	88
13	Orge pâturée par le bétail, suite à la sécheresse (zone aride, Benguerir, Maroc) .....	113
14	Effet de la date de semis sur le rendement de l'orge en zone aride (essais aridoculture, Benguerir, Maroc) .....	113

15	Partie centrale du département de Maradi où la disparition des arbres, des jachères et des parcours a entraîné une baisse de fertilité du sol .....	137
16	Développement du striga dans les champs de mil, symptôme de la baisse de fertilité des sols .....	137
17	Essai de fertilisation phospho-azotée sur mil : plan de mil et son enracinement dans le traitement non fertilisé .....	142
18	Essai de fertilisation phospho-azotée sur mil : plan de mil et son enracinement dans le traitement fertilisé (Maradi, Niger) .....	142
19	Epanchage de fumier (poudrette de parc) avant le semis (Pays Sérér, Sénégal).....	149
20	Effet du gao (Accacia Faidherbia) sur la fertilité du sol et la croissance des plants de tabac situés près de lui (Maradi, Niger) .....	149
21	Lutte contre le ruissellement combinant travail du sol et aménagement de parcelle (Yatenga, Burkina Faso) .....	156
22	Revégétalisation d'un milieu dégradé par plantation d'arbres (Dallol-Bosso, Niger). .....	156
23	Vue générale du périmètre irrigué du Tadla (Maroc).....	162
24	Irrigation par aspersion dans le périmètre des Doukkala (Maroc).....	162
25	Irrigation par pivot du maïs dans la région du Tadla.....	163
26	Culture de blé et maraîchage irrigués par pivot dans la région de Benguerir .....	163
27	Zone dégradée de l'Office du Niger (Mali) .....	168
28	Zone réaménagée par le Projet Retail à l'Office du Niger .....	168

*La découverte de l'altérité  
est celle d'un rapport, non d'une barrière.*

Levi-Strauss  
*Race et Histoire*

---

AVANT-PROPOS

**UN ITINERAIRE DE RECHERCHE  
DU MAGHREB A L'AFRIQUE SUB-SAHARIENNE**

---



## 1 - Introduction

Présenter autour d'une thématique commune des travaux de recherche répartis sur plus de vingt ans d'activité suppose nécessairement une reconstruction du cheminement intellectuel qui a conduit au choix de cette thématique. Mais pour comprendre ce cheminement, il m'a semblé utile, tout en étant conscient du caractère subjectif de l'exercice, de retracer à grands traits mon itinéraire professionnel afin d'indiquer les orientations qui l'ont sous-tendu ainsi que les travaux scientifiques qui l'ont jalonné.

Au delà des péripéties d'une histoire personnelle tout autant conduite par le hasard que par la nécessité, il y a une option qui a orienté de façon constante mes activités professionnelles et qui, en dépit des circonstances, leur a donné une certaine cohérence, c'est la volonté d'associer la pratique du développement agricole avec la réflexion sur les conditions et modalités de ce développement, spécialement dans les pays en développement.

Cette volonté de mettre la connaissance au service de l'action peut sembler inhérente au statut d'agronome pour qui la recherche est avant tout finalisée par la transformation et l'amélioration de l'exploitation agricole du milieu. L'expérience montre cependant que cette association entre spéculation et action, théorie et pratique, n'est pas aussi "spontanée" que l'on pourrait le croire. En ce qui me concerne, elle résulte d'un choix délibéré, fondé sur deux convictions :

- la première est d'ordre épistémologique. La réalité à laquelle est confronté l'agronome, au même titre que tout scientifique, n'existe qu'à travers la représentation qu'il en donne, c'est-à-dire à travers les outils et les méthodes qu'il applique à cette réalité pour lui donner sens et signification. Comme dit de Saussure, *"le point de vue crée l'objet"*. Dans "L'histoire des connaissances agronomiques"<sup>(1)</sup> 1, j'ai tenté d'explicitier l'évolution de la démarche des agronomes pour rendre compte des réalités agricoles en soulignant combien le passage d'une démarche intuitive à une démarche déductive, en inversant le rapport habituel entre théorie et pratique, avait joué un rôle décisif dans

---

1 Les numéros entre parenthèses renvoient à la bibliographie personnelle figurant en fin de texte. Les numéros en italique et gras font référence aux textes ou articles reproduits en annexe.

l'avènement d'une agronomie nouvelle et la redéfinition des tâches de l'agronome (Sebillotte, 1974). Cependant, pour éviter qu'une telle démarche de construction du réel ne conduise à la production d'artefacts, c'est-à-dire de représentations théoriques ou idéologiques déconnectées du réel, il faut, en permanence, en soumettre les résultats à l'évaluation des différents acteurs qui participent à la transformation de cette réalité et en particulier à l'évaluation des agriculteurs. C'est en définitive par une dialectique permanente entre le conceptuel et le réel, le théorique et le pratique que peuvent être assurées la validité et l'opérationnalité d'une démarche de "reconstruction du réel" ;

- la deuxième option découle de la reconnaissance que l'agriculture, objet d'étude de l'agronome, résulte de l'action délibérée des hommes pour transformer leur milieu afin de le rendre plus apte à produire les denrées et matières premières dont ils ont besoin. Cette "artificialisation du milieu" a une histoire et une géographie qui sont étroitement liées à celles des sociétés humaines.

Aussi, la prise en compte des facteurs humains dans l'analyse et la transformation des processus de production agricole m'a toujours paru indispensable. C'est ce qui a conduit les agronomes ayant eu un itinéraire semblable au mien à passer de l'étude des techniques à celles des pratiques (Teissier, 1979 ; Landais, Deffontaines, 1988 ; Papy, 1989).

C'est elle, également, qui a incité ces mêmes agronomes à rechercher la collaboration avec les sciences humaines et à développer des approches pluridisciplinaires afin de rendre compte de façon plus synthétique des réalités agraires étudiées.

C'est de cette évolution que sont nés les travaux et recherches sur l'approche systémique du milieu rural et de la production agricole.

Le déroulement de mon itinéraire personnel reflète assez bien cette volonté d'associer théorie et pratique, spéculation et action. En effet, j'ai été amené à travailler successivement dans des structures de développement et de recherche. A ces activités, ont été associés très tôt la formation et l'enseignement comme on pourra en juger par la présentation rapide des différentes étapes de mon itinéraire professionnel dans lequel j'ai souligné les activités et les travaux qui ont concouru au thème d'étude retenu pour ce travail de thèse.

## 2 - Itinéraire professionnel et de recherche

### 2.1 - Le projet Sebou et l'aménagement hydro-agricole de la plaine du Gharb

Dès ma formation à l'Institut National Agronomique de Paris, j'avais souhaité travailler au service du développement agricole, en France. Les événements en décidèrent autrement et en particulier le transfert, en 1962, aux organisations professionnelles agricoles, des responsabilités en matière de développement assurées jusqu'alors par les services départementaux de l'agriculture, transfert que, trente ans après, la plupart des pays africains tentent à leur tour de réaliser avec plus ou moins de succès.

La responsabilité directe du développement agricole étant retirée aux services de l'administration de l'agriculture, ce qui correspondait à une évolution logique et souhaitable, je choisis de travailler à l'INRA <sup>1</sup> mais au sein d'un service, le SEI <sup>2</sup>, chargé de la diffusion des acquis de la recherche et en situation d'interface entre la recherche et le monde professionnel. C'est à partir de ce service que sera créé, quelques années plus tard, le Département "Systèmes Agraires et Développement" de l'INRA.

Après une année passée au centre INRA de Versailles qui me permit de parfaire ma formation scientifique et de passer le concours d'assistant de recherche en agronomie, mes obligations militaires me conduisirent en 1966 au Maroc au titre de VSNA <sup>3</sup>.

Ce choix n'était pas fortuit. J'avais entendu parler, par un de mes professeurs de l'INA, d'un ambitieux projet de développement rural au Maroc, le projet Sebou, chargé d'assurer la mise en valeur agricole du bassin versant de l'oued Sebou, vaste région agricole de 40.000 km<sup>2</sup> située au nord-ouest du pays.

Après quelques péripéties, je réussis à me faire engager au département d'agronomie du projet où, dans un premier temps, j'eus à effectuer des études régionales de l'agriculture et la synthèse des références techniques relatives aux productions végétales prévues dans les plans de mise en valeur des différentes régions du bassin du Sebou.

---

1 Institut National de la Recherche Agronomique.

2 Service d'Expérimentation et d'Information.

3 Volontaire du Service National Actif.

Après une phase d'étude assez longue (1963-1969) à laquelle ont participé plus de 50 cadres et ingénieurs permanents ainsi que de nombreux consultants (investissement impensable aujourd'hui où les projets sont préparés en 6 mois par des missions d'experts spécialisés en diagnostic rapide), ce projet FAO/PNUD put passer au stade de l'exécution. La Banque Mondiale accepta en effet, de financer la réalisation de la première tranche d'irrigation (P.T.I., 45.000 ha) de la plaine du Gharb qui constituait une des zones focales du projet en même temps que la pièce maîtresse de l'aménagement hydro-agricole du bassin du Sebou avec ses 250.000 hectares irrigables.

Une petite équipe comprenant un hydraulicien, un sociologue, un pédologue et un agronome, fut maintenue sur place pour assurer le transfert des volumineux dossiers du Projet Sebou aux administrations et services marocains chargés de sa mise en œuvre. Cette équipe fut affectée à l'Office de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG). Avec mes collègues, nous eûmes à préciser les conditions techniques, financières et institutionnelles de l'aménagement hydro-agricole du Gharb (2, 3). En tant qu'agronome, j'eus la responsabilité d'établir, à partir des schémas directeurs du Projet, les plans de mise en valeur agricole des secteurs hydrauliques équipés chaque année au rythme de 9000 ha par an, rythme qui se ralentit fortement après 1973 suite à la crise économique mondiale. A cette activité de conception s'ajoutait un travail d'expérimentation et de suivi de la mise en valeur agricole des zones aménagées.

Cette période (1969-1972) au cours de laquelle j'ai participé à la phase de transition, souvent délicate, qui va de la conception d'un projet à son exécution, des études à leur mise en application sur le terrain, m'a amené à réfléchir sur un certain nombre de questions qui ont fortement orienté mes activités et travaux de recherche futurs. Parmi ces thèmes de réflexion, j'en retiendrais trois :

- le premier concerne l'exercice de la pluridisciplinarité. Il m'est vite apparu que s'il y a un exercice contraire aux comportements qu'ont tendance à adopter spontanément les représentants des différentes disciplines scientifiques, c'est bien celui-là. Cela est tout à fait compréhensible si l'on considère que chaque discipline, considérant la réalité à travers sa propre grille d'analyse, son propre point de vue, a tendance à ignorer les autres, sinon à les exclure. L'expérience du projet Sebou m'a montré que pour contrecarrer cette tendance centrifuge des

approches disciplinaires, il faut partager un projet commun, travailler sous "la contrainte" de la réalisation d'une entreprise collective, dont la finalité et l'utilité transcendent et ordonnent les contributions disciplinaires. Cette première leçon n'est pas sans intérêt dès lors que l'on s'intéresse au développement agricole et elle me sera fort utile lorsque je m'efforcerai, plus tard, de promouvoir une approche holistique des modes d'exploitation agricole du milieu rural en adoptant une démarche systémique.

- en tant qu'agronome, partenaire et interlocuteur d'autres spécialistes disciplinaires et en particulier des hydrauliciens et ingénieurs du génie rural, j'ai été également conduit à réfléchir sur les relations entre l'aménagement hydro-agricole, qui est généralement de la responsabilité principale de ces derniers et la mise en valeur agricole qui concerne plus directement les agronomes. Le projet Sebou, peut-être était-ce dû à la personnalité de ses responsables, a été un des rares projets hydro-agricoles où les impératifs de l'aménagement hydraulique, n'ont pas primé sur ceux de la mise en valeur agricole. Aussi, ce fut pour moi l'occasion d'amorcer une réflexion sur les relations réciproques entre ces deux types d'impératifs, qui m'a conduit à considérer l'aménagement hydraulique non comme une fin en soi, mais comme un "outil" au service de la mise en valeur. Ce thème de réflexion initié au Projet Sebou s'est ensuite prolongé, de façon récurrente, tout au long de mes activités futures (4) au cours desquelles, après avoir analysé le cas spécifique des aménagements hydro-agricoles du Maroc, j'ai été conduit à m'intéresser à ceux, beaucoup plus problématiques, d'Afrique de l'Ouest (5).
- le troisième thème de réflexion qu'a suscité ma participation à l'aménagement hydro-agricole de la plaine du Gharb a porté sur l'analyse de l'irrigation comme moyen d'intensification de l'exploitation agricole du milieu. Pourquoi ce moyen réussit-il dans tel pays, dans telle région, pourquoi échoue-t-il ailleurs ? L'analyse comparative d'aménagements hydro-agricoles au nord et au sud du Sahara m'a donné un certain nombre d'éléments de réponse à ces questions, mais c'est l'approche en terme de dynamique des systèmes agraires qui m'a fourni la clé d'analyse la plus utile et la plus générale pour comprendre les causes de réussite ou d'échec de ces aménagements.

## 2.2 - L'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Recherches sur les systèmes de culture des zones arides

Ma participation à l'aménagement hydro-agricole de la plaine du Gharb me fit prendre conscience de ce que la mise en valeur du potentiel agricole marocain et la réalisation de l'ambitieux objectif d'irriguer 1 million d'hectares, que le Maroc s'était fixé, nécessitaient non seulement la mobilisation de toutes les ressources en eau du pays et de substantiels investissements, mais aussi le développement des ressources humaines et en particulier la formation d'agronomes marocains capables de prendre en charge la mise en valeur de leur pays. Après avoir exprimé ce point de vue (6), j'acceptais l'offre du Directeur de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II qui venait d'être créé à Rabat (1968), d'animer, en collaboration avec F. Papy, le département d'agronomie de cet Institut.

Au cours des dix années consacrées à cette tâche et qui s'est traduite par la production d'un certain nombre de documents pédagogiques qu'il n'est pas utile de recenser ici, deux types d'activités ont eu une influence particulière sur l'orientation des recherches que j'ai été amené à entreprendre ; c'est d'une part les stages de terrain, d'autre part, la formation de 3ème cycle.

Au cours des années 70, les enseignants de l'IAV Hassan II, désireux de développer une "pédagogie du réel" <sup>1</sup>, mirent en place un système de stages de terrain accompagnant toute la scolarité des étudiants. Ces stages ont fortement marqué la pédagogie de l'établissement et contribué à sa renommée internationale, au point de constituer une référence dont se sont inspiré et continuent de s'inspirer nombre d'établissements de formation agronomique supérieur africains désireux de rénover leurs méthodes de formation.

Ce système de stage a été conçu pour donner l'occasion aux étudiants de l'Institut de découvrir la réalité de l'agriculture de leur pays, d'en analyser sur le terrain le fonctionnement et de valoriser ainsi le savoir paysan.

---

<sup>1</sup> Suivant l'expression utilisée par J. Casas et J. Baeza dans leur rapport d'évaluation du système pédagogique de l'IAV. FAO, 1980.

La mise en place de ce système a correspondu à une période de grande créativité pédagogique. Elle a permis aux enseignants de l'Institut non seulement de prendre en compte les spécificités de l'agriculture marocaine dans leurs enseignements, mais aussi de forger les outils et les méthodes permettant aux étudiants d'appréhender de façon pluridisciplinaire et à différentes échelles (exploitation, village, région) les réalités agraires auxquelles ils seront confrontés dans leur vie professionnelle.

Cette expérience a permis de montrer l'opérationnalité et la pertinence des concepts de système de culture, d'élevage, de système de production. En ce qui me concerne, c'est à partir d'elle que j'ai commencé à formaliser l'approche systémique du milieu rural, formalisation qui s'est poursuivie et enrichie par la suite avec l'étude des réalités agraires de l'Afrique sub-saharienne.

Ma participation en tant qu'enseignant-chercheur au troisième cycle d'agronomie de l'Institut a, quant à elle, joué un rôle déterminant dans le choix des thèmes de recherche sur lesquels j'ai été amené à travailler au Maroc.

A l'IAV, la deuxième année du 3ème cycle était et continue à être consacrée à un mémoire de fin d'études visant à la formation de l'esprit scientifique des étudiants. Pour compléter cette formation et préparer les étudiants à leurs responsabilités futures dans le développement, nous avons, à partir de 1974, associé à cette formation individuelle, un exercice collectif de diagnostic agronomique à l'échelle d'une petite région visant à étudier les problèmes posés par son développement agricole. Ces deux activités de 3ème cycle ont largement contribué au développement des activités de recherche, du département. Les diagnostics régionaux ont suscité de nombreux thèmes de recherche tandis que la plupart des mémoires de 3ème cycle ont été conçus comme des contributions aux programmes de recherche pluriannuels entrepris par les enseignants à partir des thèmes identifiés lors des diagnostics de terrain.

C'est dans ce cadre que j'ai pu poursuivre mes investigations sur la mise en valeur des périmètres irrigués (7), la conduite de l'irrigation (8) ou les conditions de développement de spéculations nouvelles (canne à sucre, fourrages) (9, 10a, b, 11).

A cette thématique de recherche sur la mise en valeur des périmètres irrigués est venue s'en ajouter un autre, en 1975, concernant l'amélioration des systèmes de culture en zones semi-aride et aride du Maroc occidental. Jusqu'à cette date, la production agricole, en sec, de ces zones qui, pour les céréales, représentait

environ la moitié de celle du pays, n'avait pratiquement pas fait l'objet de recherches agronomiques. Aussi, les services agricoles ne disposaient-ils pas de références techniques adaptées pour conseiller les agriculteurs en vue de l'amélioration de leur production céréalière (blé dur, blé tendre et orge). Pour pallier cette lacune, un premier programme d'expérimentations multilocalités fut mis en place au début des années 70 par la Direction de la Mise en Valeur (DMV) du Ministère de l'Agriculture. Une évaluation de ce programme mit en évidence que ces expérimentations dont l'exécution était assurée par les Centres de Mise en Valeur agricole (CMV), antennes locales du Ministère de l'Agriculture, n'étaient pas réalisées avec suffisamment de rigueur et que leur suivi était insuffisant pour permettre leurs interprétations. Suite à cette évaluation, la DMV demanda l'appui du Département d'agronomie de l'IAV pour relancer ces expérimentations sur de nouvelles bases. C'est à partir de cette demande que fut entrepris un programme d'amélioration des systèmes de culture céréalières en zones aride et semi-aride du Maroc occidental, dont j'ai assuré l'animation de 1975 à 1982, date de mon départ du Maroc.

Ce programme concernait toutes les plaines du Maroc atlantique comprises entre la basse-Chaouia au Nord (450 mm de pluie) et le piémont du Haut-atlas occidental au sud (250 mm de pluie). La réalisation nous a conduit à effectuer deux grands types d'investigation en grande partie complémentaires :

- d'une part, l'analyse des pratiques des agriculteurs, du fonctionnement de leurs systèmes de culture et de production et l'étude de leur diversité géographique suivant le gradient d'aridité nord-sud. L'organisation d'un diagnostic agronomique régional, en 1977, effectué avec l'ensemble du Département d'agronomie, a largement contribué à l'étude de cette diversité. La réalisation de plusieurs mémoires de 3ème cycle a permis, ensuite, d'affiner la compréhension du fonctionnement des systèmes de culture et de production de région concernée par le programme ;
- d'autre part, l'expérimentation en milieu paysan de nouveaux itinéraires techniques visant à améliorer la production céréalière et à en réduire les fluctuations. Cette expérimentation s'est faite suivant le cheminement suivant (12) :  
Dans un premier temps ont été réalisés des essais exploratoires comparant différents itinéraires techniques incluant ceux adoptés par les agriculteurs. Cette première phase expérimentale avait pour but de

compléter le diagnostic initial, en identifiant les voies d'amélioration de la production céréalière considérées comme les plus prometteuses. Puis, des essais plus analytiques ont été mis en place pour tester ces voies d'amélioration (date de semis, contrôle des adventices, raccourcissement du cycle, etc...) dans différents contextes pédoclimatiques ; la grande étendue de la zone d'intervention permettant, en peu d'années, d'expérimenter un même itinéraire technique dans des conditions pluviométriques très variées.

Ensuite on a effectué des essais d'itinéraires techniques, combinant les améliorations techniques ayant fait leur preuve dans les essais analytiques. Cette dernière phase d'expérimentation avait pour but d'analyser les interactions entre techniques, en même temps qu'elle servait de démonstration ou de pré vulgarisation pour les itinéraires techniques expérimentés qui s'étaient révélés plus performants que ceux adoptés par les agriculteurs.

Ce programme de recherche a produit de nombreux résultats. Tout d'abord, il a permis de mieux évaluer les contraintes pédoclimatiques des zones semi-aride et aride du Maroc occidental (13) et en particulier de montrer la singularité de l'aridité de ces zones, notamment par rapport à celle des USA ou d'Australie où ont été mises au point des systèmes de "dry farming" qui ont parfois été présentés comme les modèles à suivre au Maroc.

Il a permis de faire progresser les connaissances sur les comportements et stratégies des agriculteurs des zones arides marocaines (14). Enfin, il a débouché sur la production de références techniques (15, 16) et l'identification de nouvelles voies d'amélioration des rendements (17) et d'adaptation à la sécheresse (18). Ces résultats ont ensuite été utilisés pour orienter les futurs programmes de recherches agronomiques en zone aride (19) et préparer les plans de développement quinquennaux (20, 21).

Ce programme a également donné lieu à des sessions de formation et à des séminaires de restitution des résultats qui ont largement contribué à vulgariser les résultats acquis et à informer les responsables du développement agricole sur les possibilités d'amélioration de la production en zones semi-aride et aride.

L'augmentation sensible des rendements céréaliers (40 %) constatés, à partir de 1986, dans les zones arides, est en partie imputable à une pluviométrie plus

favorable mais elle est due également à des changements techniques résultant de l'adoption, à grande échelle, de recommandations provenant des recherches entreprises au cours de la décennie précédente (travail du sol, semis précoce, variétés améliorées).

A la suite de ces recherches, conduites avec des moyens modestes, a été mis en place, au début des années 80, un important projet de coopération maroco-américain dans le domaine de l'aridoculture. Ce projet, basé à Settat, a très opportunément offert des possibilités d'emploi et des moyens de travail aux jeunes agronomes de l'IAV qui avaient été associés, au cours de leur formation, au programme de recherche en aridoculture entrepris par le Département d'agronomie. Ce sont eux désormais qui dirigent et réalisent cet important programme de recherche.

### **2.3 - Du GERDAT au CIRAD. Recherches sur les systèmes de production et Recherche-Développement en Afrique sub-saharienne**

Au début des années 1980, à mon retour en France, une certaine effervescence intellectuelle se manifesta dans les milieux de la coopération française et de la recherche agronomique tropicale en faveur de la Recherche-Développement (R.D.) et des recherches sur les systèmes de production (R.S.P.). C'est ainsi qu'eurent lieu, en novembre 1982, à Montpellier des journées sur la "Recherche-Développement en milieu rural" au cours desquelles fut officiellement affirmée l'importance à accorder à ces démarches et ces recherches au sein d'organismes comme le GERDAT <sup>1</sup> regroupant l'ensemble des Instituts français de recherche agronomique tropicale et qui devait devenir ensuite le CIRAD <sup>2</sup>. C'est également à la suite de ces journées que fut créée la revue "*Les Cahiers de la Recherche-Développement*" qui allait jouer, par la suite, un rôle important dans la publication, en langue française, des expériences et des travaux concernant les recherches sur les systèmes de production (RSP) et la Recherche-Développement (RD) dans les pays en développement.

---

1 Groupement d'Etudes et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale.

2 Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

Découvrant cet intérêt porté aux recherches sur les systèmes de production et à la Recherche-Développement, j'eus le sentiment qu'à Montpellier, à l'époque, le discours était en avance sur la pratique, alors qu'au Maroc et en particulier à l'IAV Hassan II, ce type de recherche et de démarche était assez largement pratiqué et avait donné lieu à des acquis scientifiques et méthodologiques non négligeables mais qu'ils étaient encore très mal connus à l'extérieur. C'est pourquoi, dès mon engagement à l'IRAT<sup>1</sup> en 1983, je me suis efforcé de porter témoignage sur ces acquis et de mieux valoriser les travaux auxquels j'avais été associé ou que j'avais conduits dans le domaine des recherches sur les systèmes de production (22, 23, 24a, b, c).

Mon affectation à la Division Recherche-Développement de l'IRAT, puis mon transfert volontaire dans le nouveau Département des Systèmes Agraires (DSA) créé en 1984 à la suite de la constitution du CIRAD, me fournirent l'occasion de poursuivre ces travaux de recherche sur les systèmes de production agricole, mais en changeant de terrain d'application, en passant du nord au sud du Sahara, du Maroc à l'Afrique de l'Ouest.

Au cours de cette période (1983-1989), les activités que j'ai eues peuvent se regrouper autour de trois grands objectifs :

- apporter un appui scientifique et méthodologique aux équipes de chercheurs des institutions de recherche agronomique de différents pays d'Afrique de l'ouest (Sénégal, Burkina Faso, Guinée Conakry, Bénin) ayant à conduire les programmes de recherche sur les systèmes de production mis en place dans ces instituts au cours des deux dernières décennies ;
- valoriser ces recherches et modifier les relations entre recherche et développement, notamment par l'initiation et le suivi de programmes de Recherche-Développement associés à des projets de développement rural (Niger, Sénégal, Mali, Togo) ;
- développer des formations initiales et continues qui prennent en compte ces nouvelles approches du milieu rural et qui donnent aux

---

<sup>1</sup> Institut de Recherche d'Agronomie Tropicale, composante du GERDAT, puis département du CIRAD à partir de 1984.

agronomes la capacité de les mettre en oeuvre en régions chaudes. Ce troisième volet de mes activités s'est traduit par la réalisation au CNEARC <sup>1</sup> d'enseignements sur l'approche systémique appliquée à l'étude du milieu rural. Il s'est également concrétisé par l'établissement de relations de coopération avec des institutions de formation agronomique africaines (Centre Universitaire de Dschang au Cameroun, Faculté d'Agronomie de Niamey), en vue de restructurer leurs cursus de formation en accordant une place plus grande aux connaissances et aux méthodes concernant la dynamique des systèmes de production et en organisant, avec eux, des opérations de recherche-développement-formation sur le terrain afin d'appliquer ces connaissances et ces méthodes à l'étude des réalités agraires de leur pays.

Ces différentes activités m'ont conduit à entreprendre ou, le plus souvent, à poursuivre dans un autre contexte, plusieurs types de travaux scientifiques :

Tout d'abord, je me suis efforcé de contribuer à la définition des outils et méthodes nécessaires à l'approche systémique du milieu rural, en distinguant plusieurs niveaux d'organisation dans l'exploitation agricole de ce milieu (24 a, b).

Cela m'a conduit à préciser les concepts spécifiques à chaque niveau d'organisation (système de culture, de production, système agricole), à analyser leur domaine et conditions d'application, et à évaluer leur utilité pour la compréhension des pratiques et stratégies des agriculteurs, ainsi que leur pertinence pour le développement rural (25, 26) en tenant compte des conditions particulières de l'agriculture des PVD.

Mais pour tester cette pertinence et assurer la crédibilité de la démarche RD et des recherches sur les systèmes de production menacés par l'hypertrophie du discours, il m'est apparu indispensable de les mettre en pratique sur le terrain en zone tropicale. Cette confrontation au réel s'est faite à l'occasion d'appuis à plusieurs programmes de recherche sur la dynamique et la transformation des systèmes de production dans différentes régions d'Afrique de l'Ouest. Ces programmes ont concerné les thématiques et les pays suivants :

- mise au point de nouveaux systèmes de culture et de production par le développement de l'irrigation dans le delta du fleuve Sénégal et à

---

<sup>1</sup> Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes.

l'Office du Niger au Mali (Jamin, Tourrand, 1986 ; Jamin, 1980 ; Le Gal, 1989) ;

- adaptation des systèmes de production à la sécheresse au Yatenga au Burkina Faso (Dugué, 1989) ;
- intensification et diversification des systèmes de production en zone tropicale humide au Togo et au Cameroun (Tallec, 1987 ; Kleitz, 1988).

Cet engagement s'est trouvé renforcé par l'animation à partir de 1985 du volet systèmes de production du Réseau de Recherches sur la Résistance à la Sécheresse au Sahel (R3S) coordonné par le CILSS <sup>1</sup> et le CIRAD. Dans ce cadre, j'ai été amené à réaliser en collaboration avec F. Boulier, une étude comparée de l'évolution des systèmes de production sahéliens et de leur adaptation à la sécheresse (27). Cette étude s'est efforcée de mettre en évidence les stratégies des agriculteurs du Sahel face aux aléas climatiques (28) en même temps qu'elle a permis d'orienter le choix de thèmes et projets fédérateurs de recherche, considérés comme prioritaires pour la région (29).

Ces travaux, à la fois méthodologiques et appliqués, consacrés aux recherches sur les systèmes de production et, plus généralement, à l'approche systémique des modes d'exploitation agricole du milieu, ont beaucoup profité de l'association entre mes activités de recherche et mes tâches d'enseignement. De même que la confrontation au réel permet de valider la théorie, de même la confrontation aux étudiants oblige à une mise en ordre de ses idées, de ses démarches, et les soumet à une évaluation critique qui est souvent source d'approfondissement de sa propre réflexion.

Par ailleurs, l'association d'étudiants, à l'occasion de leurs mémoires de 3ème cycle, à des programmes de recherche, sur le terrain, a largement contribué à la mise au point et à la diffusion des concepts et démarches propres à l'approche systémique du milieu rural (30).

Ce premier volet de mes activités scientifiques m'a naturellement conduit à collaborer avec des représentants des autres disciplines concernées par l'étude du milieu rural et en particulier avec ceux des sciences humaines. A l'échelle régionale et locale, l'apport des géographes et spécialement de géographes africanistes comme Sauter, Pelissier, Le Coz a été essentiel dans la

---

1 CILSS. Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel.

conceptualisation des méthodes d'étude du milieu. La réflexion que nous avons entreprise concernant le concept de système agraire leur doit beaucoup (26).

Le deuxième type d'activité scientifique que j'ai eu en tant que chercheur au DSA/CIRAD a concerné la mise en application de la démarche Recherche-Développement en zone tropicale.

Par une sorte d'effet de mode, cette démarche, nous l'avons vu, avait suscité au début des années 80 un grand engouement qui dépassait de loin les réalisations concrètes. De plus, la signification donnée au concept donnait lieu à des interprétations diverses, faute précisément d'une concrétisation suffisante. Aussi me suis-je efforcé, sur les terrains et avec les équipes avec lesquelles j'ai travaillé, de clarifier ce concept et de le mettre en pratique. Cette clarification a été stimulée par des échanges réguliers avec des chercheurs anglo-saxons adeptes de l'approche "farming system" mais peu familiarisés avec la démarche "Recherche-Développement" considérée comme une démarche spécifiquement française (D. Merrill Sands, 1985). C'est ainsi qu'à la demande du CGIAR<sup>1</sup> et en collaboration avec M.R. Mercoiret, sociologue au DSA/CIRAD, j'ai été amené à expliciter la démarche RD et à montrer sa liaison avec les recherches sur les systèmes de production (31).

Cette clarification a beaucoup bénéficié des expériences de terrain où l'on s'est efforcé de mettre en oeuvre cette démarche (Maradi, Niger ; Office du Niger, Mali; Zone des plateaux, Togo ; Pays Bamileké, Cameroun...). C'est à partir de l'expérience accumulée sur ces différents terrains et de leur analyse comparée que nous avons pu mieux formaliser les méthodes de diagnostic du milieu rural (30), première étape de la démarche R.D, ainsi que celles concernant l'expérimentation en milieu paysan (32, 33).

Parmi toutes ces expériences, il en est une qui a joué pour moi un rôle essentiel dans la mise au point et le test de la démarche R.D.. Cette expérience s'est faite dans le cadre du Projet de développement rural de Maradi au Niger. En 1983, suite au séminaire national de Zinder qui avait défini une nouvelle stratégie de développement rural fondée sur une meilleure prise en compte de la diversité du milieu et une plus grande responsabilisation des populations, le Projet décidait de réorienter ses activités et faisait appel pour cela à l'appui du CIRAD. C'est ainsi que j'ai été amené à mettre en oeuvre avec différents services du

---

1 CGIAR. Consultative Group on International Agricultural Research.

Projet, un programme de Recherche-Développement dont j'ai ensuite suivi et appuyé la réalisation durant 5 ans (34). Grâce aux moyens importants du Projet, à la qualité et la motivation des participants, ce programme a été une occasion assez exceptionnelle de préciser les aspects méthodologiques et pratiques des différentes étapes de la R.D. (diagnostic, expérimentation d'innovations, diffusion, appropriation). Il nous a permis, entre autres, d'aborder les problèmes de la participation paysanne qui sont essentiels dans la mise en œuvre de cette démarche.

Cette expérience a permis également de contribuer à une meilleure connaissance des systèmes de production et systèmes agraires sahéliens. De ce point de vue, la région de Maradi s'est révélée très propice pour montrer les correspondances existant entre la diversité géographique de ces systèmes et leur évolution historique (35, 36). Par ailleurs, compte tenu de la grande sécheresse qu'a connue la région de 1982 à 1984, ce programme de RD a été très riche d'enseignements sur les stratégies d'adaptation des agriculteurs à la sécheresse, en même temps qu'il a permis de proposer des voies d'amélioration et d'adaptation de leurs systèmes de production aux aléas climatiques (27).

#### **2.4 - Un thème fédérateur : l'adaptation des systèmes de production à l'aridité**

Cette rapide rétrospective de mon itinéraire professionnel fait apparaître des constantes et un certain nombre de thèmes d'étude récurrents. L'étude des effets de l'aridité sur l'activité agricole et la recherche des moyens permettant d'en atténuer les conséquences sur les cultures fait partie de ces thèmes.

Les recherches entreprises à ce sujet, l'ont été dans deux zones géographiques et agroclimatiques bien différentes au nord du Sahara, dans les grandes plaines du Maroc occidental puis au sud, principalement au Sahel.

Dans ces deux zones, j'ai été amené à étudier les deux grandes voies de lutte contre l'aridité :

- la valorisation optimale des eaux de pluie, dans les situations où les seules ressources en eau disponibles sont celles provenant des précipitations ;
- le recours à l'irrigation, dans les situations où l'on peut mobiliser des ressources hydrauliques de surface ou souterraines.

Ces deux voies ne s'excluent pas l'une l'autre et il existe de nombreuses situations où elles peuvent être mises en œuvre simultanément. C'est le cas dans les régions où agriculture irriguée et pluviale coexistent et où leur complémentarité nécessite d'étudier simultanément leur développement.

L'autre grande constante de mes activités scientifiques a été d'associer à l'étude des modalités techniques de valorisation de l'eau et de réduction des risques climatiques en zones arides, l'analyse des conditions socio-économiques du changement technique. C'est cette préoccupation qui m'a conduit à m'intéresser aux niveaux d'organisation et de décision déterminant les pratiques des agriculteurs et qui vont des systèmes de culture aux systèmes agraires en passant par l'analyse des systèmes de production (37). C'est cet intérêt porté aux déterminants socio-économiques des choix techniques des agriculteurs qui a permis, progressivement, de faire reconnaître au sein des institutions de recherche agronomique, la légitimité de l'étude des pratiques des agriculteurs et des stratégies qui les sous-tendent (Landais, Deffontaines, 1988).

Etant donné ces grandes constantes de mon itinéraire professionnel, le thème qui est apparu comme le plus à même de les associer et de permettre une synthèse de travaux échelonnés sur deux décennies, est celui de *"l'adaptation des systèmes de production agricole à l'aridité, au Maghreb et au Sahel"*.

Dans cette synthèse, nous rappellerons tout d'abord les caractéristiques de l'aridité au Nord et au Sud du Sahara, en soulignant leur spécificité et leurs conséquences sur la production végétale.

Ensuite, dans une deuxième partie, nous analyserons les pratiques adoptées par les agriculteurs du Maroc et du Sahel pour faire face aux contraintes que leur impose l'aridité de leur milieu. Nous examinerons comment ils ont adapté leurs systèmes de culture à cette aridité et quelles sont les stratégies qu'ils mettent en œuvre pour faire face aux aléas du climat et à la sécheresse.

Enfin, à partir de la valorisation des pratiques paysannes et des acquis de la recherche agronomique, nous tenterons de définir les voies et moyens qui peuvent être proposés aux agriculteurs pour réduire les effets de l'aridité et en particulier améliorer l'alimentation en eau de leurs cultures.

Ces propositions tiendront compte, à la fois, de la spécificité agro-climatique des deux zones, mais aussi de la possibilité ou non de recourir à l'irrigation. Concernant ce moyen, le plus efficace mais aussi le plus coûteux pour lutter contre l'aridité, nous nous interrogerons sur les conditions de sa réussite qui, pour l'instant, est bien différente quand on compare le Maroc et le Sahel.

## TRAVAUX ET PUBLICATIONS

- 1 JOUVE P., 1983. - *L'histoire des connaissances agronomiques : une série de ruptures.*- Cours introductif ESAT-CNEARC.
- 2 JOUVE P., CHABLOZ J., 1970. - *Organisation technique et administrative de l'aménagement hydro-agricole du Gharb.* - ORMVAG-FAO Rabat, 54p.
- 3 JOUVE P., 1972. - *Etude de synthèse sur le lancement de la canne à sucre dans le Gharb.* - ORMVAG, 43 p.
- 4 JOUVE P., 1986. - *Un modèle d'aménagement hydro-agricole à l'épreuve du temps et de l'évolution des systèmes de production. Le cas des grands périmètres irrigués marocains.* - Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°14-15, p. 121-131.
- 5 JAUJAY J., JOUVE P., 1987. - *Synthèse des travaux sur les aménagements hydro-agricoles des grands périmètres irrigués.* - Actes du séminaire aménagements hydro-agricoles, systèmes de production, DSA/CIRAD, Montpellier, 16-19 décembre 1986, p. 307-314.
- 6 JOUVE P., 1974. - *Note sur la formation d'agronomes marocains.*- Rabat, IAV.
- 7 JOUVE P., 1976. - *Analyse des systèmes de production dans les Beni-moussa de l'Ouest.* - in Diagn. Agron. Tadla, mars 1976, p. 12-44.
- 8 JOUVE P., 1976. - *La conduite de l'irrigation.* - in Diagn. Agron. des Beni-moussa de l'Ouest, Tadla, p. 97-116, mars 1976, étude publiée dans la revue "Maroc Agricole" n°85 et 86.
- 9 JOUVE P., 1973. - *Le développement de la canne à sucre au Maroc.* - Rev. Hommes, Terres et Eaux, vol. 2, n°9, p. 11-26.
- 10a JOUVE P., 1977. - *Etude technique des plantations de canne à sucre.* - in Diag. des coopératives de la réforme agraire de Moghrane (Gharb), Fascicule 2, avril 1977.
- 10b JOUVE P., OUSSIBLE M., 1979. - *Conséquences du tassement du sol sur l'enracinement et la production des plantations de canne à sucre.* - Rev. Hommes, Terres et Eaux, vol. 9, n°32, p. 69-82.

- 11 JOUVE P., 1978. - *Caractéristiques et voies d'évolution des systèmes fourragers dans les périmètres irrigués du Centre du Maroc.* - Communication aux journées sur la production fourragère, Rabat, décembre 1978, 12 p.
- 12 JOUVE P., 1985. - *La comparaison d'itinéraires techniques, une méthode d'expérimentation agronomique en milieu réel.* - Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°6, p. 39-44.
- 13a PAPY F., JOUVE P., OUSSIBE M., 1982. - *Les contraintes pédoclimatiques à l'exploitation agricole des zones semi-aride et aride du Maroc occidental.* - Revue de Géographie du Maroc (nouvelle série), n°5, 1982, p. 121-133.
- 13b JOUVE P., 1979. - *Etude des systèmes de culture en Haute Chaouia (Région de Guisser).* - in Diagn. Agro. Zone Aride et Semi-Aride, IAV Hassan II, Rabat, mars 1979, 39 p.
- 14 JOUVE P., PAPY F., 1983. - *Les systèmes de culture dans les zones semi-aride et aride du Maroc occidental.* - Revue de Géographie du Maroc, n°7, nouvelle série, p. 3-20.
- 15 JOUVE P., EL BAGHATI H., 1978. - *Compte rendu d'essais sur les techniques de culture de l'orge et du blé tendre.* - Programme d'expérimentation des techniques d'aridoculture. - IAV Hassan II, doc. ronéo, 39 p.
- 16 JOUVE P., BERRADA A., 1979. - *Résultats d'expérimentations en aridoculture.* - Rev. Le Maroc agricole, n°113, mars 1979, p. 20-24.
- 17 JOUVE P., 1979. - *Analyse des modes de conduite des céréales et voies d'amélioration des rendements.* - Communication aux journées sur la céréaliculture marocaine, avril 1978. Rev. Hommes, Terres et Eaux, vol. 9, n°35, nov.-déc. 1979, p. 79-85.
- 18 JOUVE P., 1983. - *La lutte contre la sécheresse par les techniques culturales.* - Rev. Les Hommes, Terres et Eaux, n°52/53, sept.-déc. 1985, Rabat, p. 111-118.
- 19 JOUVE P., EL MOURID M., 1981. - *Programme de recherche sur les systèmes de culture en zone semi-aride et aride du Maroc occidental.* - INRA - IAV Rabat, janvier 1981, doc. ronéo, 28 p.

- 20 Céréaliculture - Tome 1 : *Potentiel* ; Tome II : *Les contraintes structurelles*. 68 p. + annexes. Document collectif préparatoire au plan quinquennal. Rabat, Maroc, 1978.
- 21 *Orientations et programmes de recherche pour l'orge et l'avoine*. 34 p, Document collectif préparatoire au plan quinquennal. Rabat, Maroc, 1978.
- 22 JOUVE P., DAOUDI A., 1983. - *Effets de la date de semis sur l'élaboration du rendement du blé tendre et de l'orge en zones semi-aride et aride (cas du Maroc atlantique)*. - Revue L'agronomie tropicale, 39-3, p. 216-227.
- 23 JOUVE P., 1984. - *Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride*. - Revue L'agronomie tropicale, 39-4, p. 308-316.
- 24a JOUVE P., 1985. - *Intérêts et exigences méthodologiques d'une approche systémique de la production agricole*. - Communications aux journées sur la "Recherche-Développement en milieu rural", Montpellier, 8-10 novembre 1982, 13 p.
- 24b JOUVE P., CLOUET Y., 1984. - *La fonction diagnostic dans la démarche Recherche-Développement. Les différentes échelles à considérer. Les finalités*. - Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°3-4, p. 5-9.
- 24c JOUVE P., 1984. - *Le diagnostic agronomique préalable aux opérations de Recherche-Développement*. - Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°3-4, p. 67-75.
- 25 JOUVE P., 1986. - *Quelques principes de construction de typologies d'exploitations agricoles suivant différentes situations agraires*. - Communication au colloque "Diversification des modèles de développement rural", 17-18 avril 1986, MRT Paris. Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°11, p. 48-56.
- 26 JOUVE P., 1988. - *Réflexions sur la spécificité et l'utilité de la notion de système agraire*. - Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°20, p. 5-16.
- 27 BOULIER F., JOUVE P., 1990. - *Evolution des systèmes de production sahéliens et leur adaptation à la sécheresse*. - R3S, CORAF, CILSS, 143 p.

- 28 JOUVE P., 1988. - *Sécheresse au Sahel et stratégies paysannes*. - Rev. Sécheresse, science et changements planétaires, n°1, vol. 2, mars 1991, p. 61-69.
- 29 *Compte-rendu de la réunion de programmation de l'atelier systèmes de production du R3S*. - Dakar, 9-13 février 1987, 15 p. + annexes.
- 30 JOUVE P., 1992. - *Le diagnostic du milieu rural : de la région à la parcelle. Approche systémique des modes d'exploitation agricole du milieu*. - in *L'appui aux producteurs*. Ed. Min. Coopération et Développement, Paris.
- 31 JOUVE P., MERCOIRET M.R., 1987. - *La Recherche-Développement : une démarche pour mettre les recherches sur les systèmes de production au service du développement rural*. - Communication à la réunion du CGIAR de Montpellier le 19 mai 1987. - Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°16, p. 8-13.
- 32 de PONTEVES E., JOUVE P., 1989. - *Expérimentation en milieu paysan. Etude comparée d'EMP effectuées par les départements du CIRAD*. - Doc. DSA-CIRAD Montpellier, 54 p. + annexes.
- 33 JOUVE P., 1990. - *L'expérimentation en milieu paysan : démarche et méthodes*. - Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°27, p. 94-105.
- 34 JOUVE P., 1985. - *Situation et perspectives du programme Recherche-Développement de Maradi*. - DSA-CIRAD, 63 p. + annexes.
- 35 JOUVE P., 1984. - *Typologie des agrosystèmes villageois du département de Maradi. Propositions pour un programme de Recherche-Développement*. - CIRAD Montpellier, Collection Systèmes Agraires, n°3, 80 p. + annexes.
- 36 JOUVE P., DAVID D., 1985. - *Diversité spatiale et évolution des modes d'association de l'agriculture et de l'élevage dans la région de Maradi au Niger*. - Les Cahiers de la Recherche-Développement, n°7, juillet 1985, p. 54-64.
- 37 JOUVE P., 1991. - *Recherches sur les systèmes de production et Recherche-Développement en agriculture*. - Cours ICRA Montpellier.
- 38 JOUVE P., 1993. - *Usages et fonctions de la jachère en Afrique de l'Ouest et au Maghreb*. - A paraître dans la revue *Agricultures*, ed. AUPELF-URFF.

## RAPPORT DE MISSION OU D'ETUDES

### 1983

- "Projet de développement rural de Fara - Poura (BURKINA FASO) propositions d'actions" IRAT/GERDAT fév. 83 - 32 p. en collaboration avec J. IMBERNON.
- "Rapport de mission en vue du zonage agro-écologique du département de Maradi" NIGER nov. 83 - 21 p. + 48 p.annexes.

### 1984

- "Typologie des agrosystèmes villageois du département de Maradi - Propositions pour un programme de Recherche-Développement" Mai 1984 IRAT-GERDAT 80 p. + annexes - Publication collection DSA n° 3.

### 1985

- "Le suivi évaluation de projets de développement rural au MAROC proposition de formation" Janvier 85, DSA-CIRAD 57 p. en collaboration avec G. FRANCILLON et J. BONNAL.
- "Situations et perspectives du programme Recherche-Développement de Maradi" Déc. 85 - 63 p. + annexes DSA-CIRAD.
- "Note de synthèse sur la mise en place du projet fédérateur de Recherche-Développement au Togo" rapport de mission octobre 1985 en collaboration avec G. RAYMOND, DSA-IRCT-CIRAD 19 p.
- "Conditions de réalisation et perspectives du programme de Recherche-Développement du Zou (BENIN) Déc. 85 DSA-CIRAD - 30 p.

### 1986

- "Rapport de mission au projet Retail (Office du Niger - Mali) pour la définition d'un programme de Recherche-Développement" en collaboration avec J.Y. JAMIN, IRAT-DSA/CIRAD.
- "Rapport de mission au Projet de Recherche-Développement du Zou" (BENIN) juin 1986 20 p. DSA/CIRAD.

### 1987

- "Compte rendu de la réunion de programmation de l'atelier systèmes de production du R3S" Dakar - 9-13 février 1987 15 p. + annexes.
- "Rapport de mission sur l'avancement du Programme de Recherche-Développement de Maradi" (NIGER) avril 1987 DSA-CIRAD 28 p.
- "Rapport de mission d'appui au projet fédérateur de Notse (TOGO)" Déc. 1987 en collaboration avec M. CRETENET, IRCT-DSA-CIRAD, 20 p. + note d'orientation des activités futures du projet fédérateur 13 p.

- "Le suivi des effets des projets sur les exploitations agricoles". Rapport de la 2ème session de formation au suivi évaluation des projets de développement rural au MAROC en collaboration avec P.Y. LEGAL DSA-CIRAD 35 p.
- "Rapport de mission d'appui au projet Recherche-Développement de Dschang" (CAMEROUN) DSA-CIRAD 34 p.

#### 1988

- "Situation et perspectives du projet de Recherche-Développement - Formation de Dschang (CAMEROUN)" juin 1988 20 p. + annexes.
- "Recherches sur les systèmes de production et Recherche-Développement dans le delta du fleuve Sénégal"  
Rapport de mission juin 1988, 36 p. + annexes DSA 1988/2.
- "Stratégies et modalités d'intervention du Programme intégré de gestion des ressources animales et rurales (PIGRAR) en zone agro-pastorale et agricole" République du Niger - Banque Mondiale DSA 23 p. Déc. 1988.

#### 1989

- Organisation pédagogique de la 5ème année de spécialisation "Protection de l'environnement et amélioration des systèmes agraires sahéliens" de la Faculté d'agronomie de l'Université de Niamey (NIGER), déc. 1989, 21 p. + annexes.

#### 1990

- "Propositions de programme d'enseignement d'agronomie à l'ENSA de Yamoussoukro (COTE D'IVOIRE)". Mission février 1990 avec H. MANICHON, 31 p.

#### 1991

- "Propositions pour l'amélioration et la professionnalisation de la formation à l'Institut de développement rural de Ouagadougou (BURKINA FASO). Vers une pédagogie du réel et de l'action" - juin 1991 21 p. + annexes.

#### 1992

- Rapport de mission en vue de la reconnaissance comme C.R.E.S.A de la spécialisation de la Faculté d'agronomie de Niamey : Protection de l'environnement et amélioration des systèmes agraires sahéliens - CNEARC-ACCT mars 1992 20 p + annexes

*Je donnerai à votre pays la pluie en son temps,  
la pluie de la première et de l'arrière-saison,  
et tu recueilleras ton blé, ton moût et ton huile.*

Deutéronome

*Au moyen de l'eau, nous donnons la vie à toutes choses*

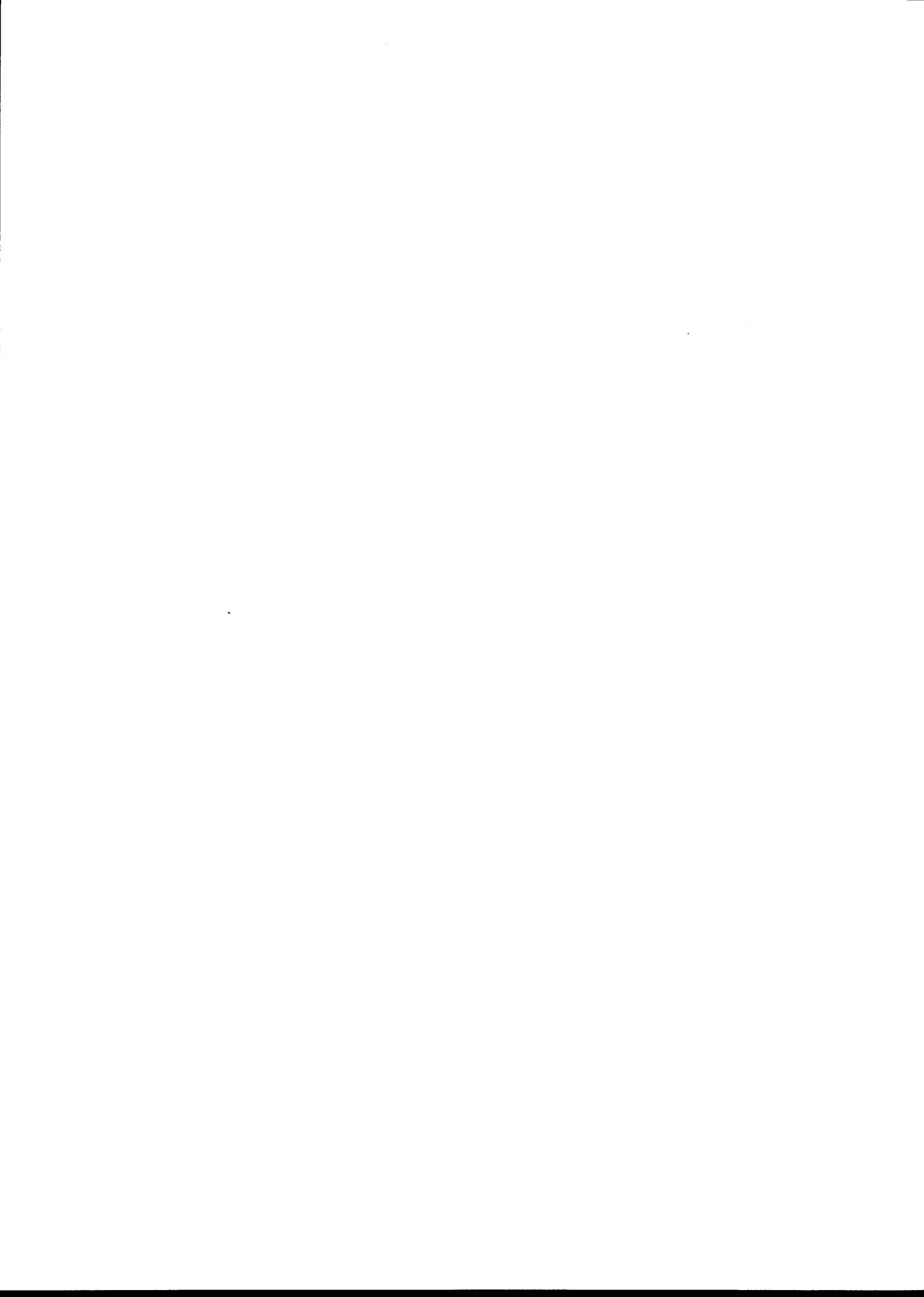
Le Coran

---

PREMIERE PARTIE

**L'ARIDITE AU MAROC ET AU SAHEL  
SES CONSEQUENCES AGRONOMIQUES**

---



## 1 - Caractères généraux de l'aridité au Maghreb et au Sahel

### 1.1 - Essais de caractérisation de l'aridité climatique

L'aridité du climat concerne le tiers des terres émergées et environ 15 % de la population mondiale. Ce sont surtout les régions chaudes et donc les pays en développement qui sont confrontés aux problèmes de l'aridité, bien que celle-ci puisse affecter aussi des régions froides comme le centre du Canada ou les zones d'altitude de l'Asie centrale.

D'une façon générale, l'aridité peut se définir comme un déficit pluviométrique structurel par rapport aux besoins en eau de la végétation naturelle et cultivée. Plus ce déficit est grand, plus l'aridité sera prononcée. De nombreux auteurs, en particulier au Maroc, se sont efforcés d'établir, par des indices ou des formules combinant différents paramètres, une base objective pour évaluer l'aridité du climat et classer les régions du monde en fonction de l'intensité de cette aridité.

La formule la plus simple est celle proposée par Lang qui définit l'aridité par l'indice  $I = P : T$  (P étant le total moyen des précipitations exprimé en millimètres et T la température moyenne en degrés centigrades). Suivant cette formule, est considérée comme aride toute région dont l'indice I est compris entre 10 et 40.

Cet indice d'aridité a été repris et modifié par de Martone qui a proposé la formule suivante  $I = P : T+10$ . Les zones désertiques ont un indice inférieur à 5, tandis que dans les steppes sèches ou les zones arides cet indice se situe entre 5 et 10.

Ces approches numériques de l'aridité, si elles ont le mérite d'être simples, ont l'inconvénient de ne pas tenir compte des rythmes saisonniers. C'est pour pallier cette lacune que Gaussen (1954) a mis au point une classification des climats basée sur l'importance des mois considérés comme secs, c'est-à-dire pour lesquels P est inférieur à 2T, cette classification a été adoptée en 1962 par la FAO et l'UNESCO pour cartographier le climat de la région méditerranéenne (figure I.3).

Pour prendre en compte non seulement les contraintes pluviométriques mais aussi les contraintes thermiques qui peuvent limiter la production végétale, Emberger et Sauvage (1955) ont élaboré un quotient pluviométrique  $Q = 2000 P : M^2 - m^2$  à partir duquel ils ont pu définir des étages bioclimatiques (saharien, aride, semi-aride, sub-humide, humide, de haute montagne) qui correspondent en fait à des étages de végétation. Cette classification bioclimatique

mise au point au Maroc s'est également révélée bien adaptée à la zone méditerranéenne.

C'est Thornthwaite (1948) qui le premier s'est efforcé de classer les climats en associant à la pluviométrie la demande évaporative, fournissant ainsi une bonne base théorique pour définir l'aridité du climat. Mais l'application de sa méthode dans d'autres régions que celles où il l'avait mise au point, les Etats-Unis, a révélé certaines imprécisions qui en ont limité la généralisation.

La classification la plus récente et la plus universelle des régions arides est celle qui a été proposée par l'UNESCO en 1977. La détermination des régions arides a été faite sur la base des valeurs du rapport  $P / ETP$  où  $P$  représente le total des précipitations moyennes annuelles et  $ETP$  l'évapotranspiration potentielle calculée selon la formule de Penman. Sur cette base, a été adopté une première grille de classification des régions arides qui est la suivante :

Zone	hyper-aride	Aride	semi-aride	sub-humide
P/ETP	< 0,03	0,03 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 0,75

Afin de préciser les conditions bio-climatiques des zones arides de la planète, ont été combinés à ce premier critère ( $P/ETP$ ) d'autres critères traduisant les modalités du régime thermique et la durée des périodes de sécheresse.

C'est ainsi que chaque grande zone distinguée précédemment a été subdivisée successivement en fonction de :

- la température du mois le plus froid (hiver),
- la température du mois le plus chaud (été),
- du nombre de mois secs (recevant moins de 30 mm de précipitations) et du régime des précipitations (hivernal ou estival).

## 1.2 - Types d'aridité climatique du Maghreb et du Sahel

Sur la base de la classification adoptée par l'UNESCO, les différences d'aridité entre le Maghreb et le Sahel apparaissent clairement (cf. figure I.1).

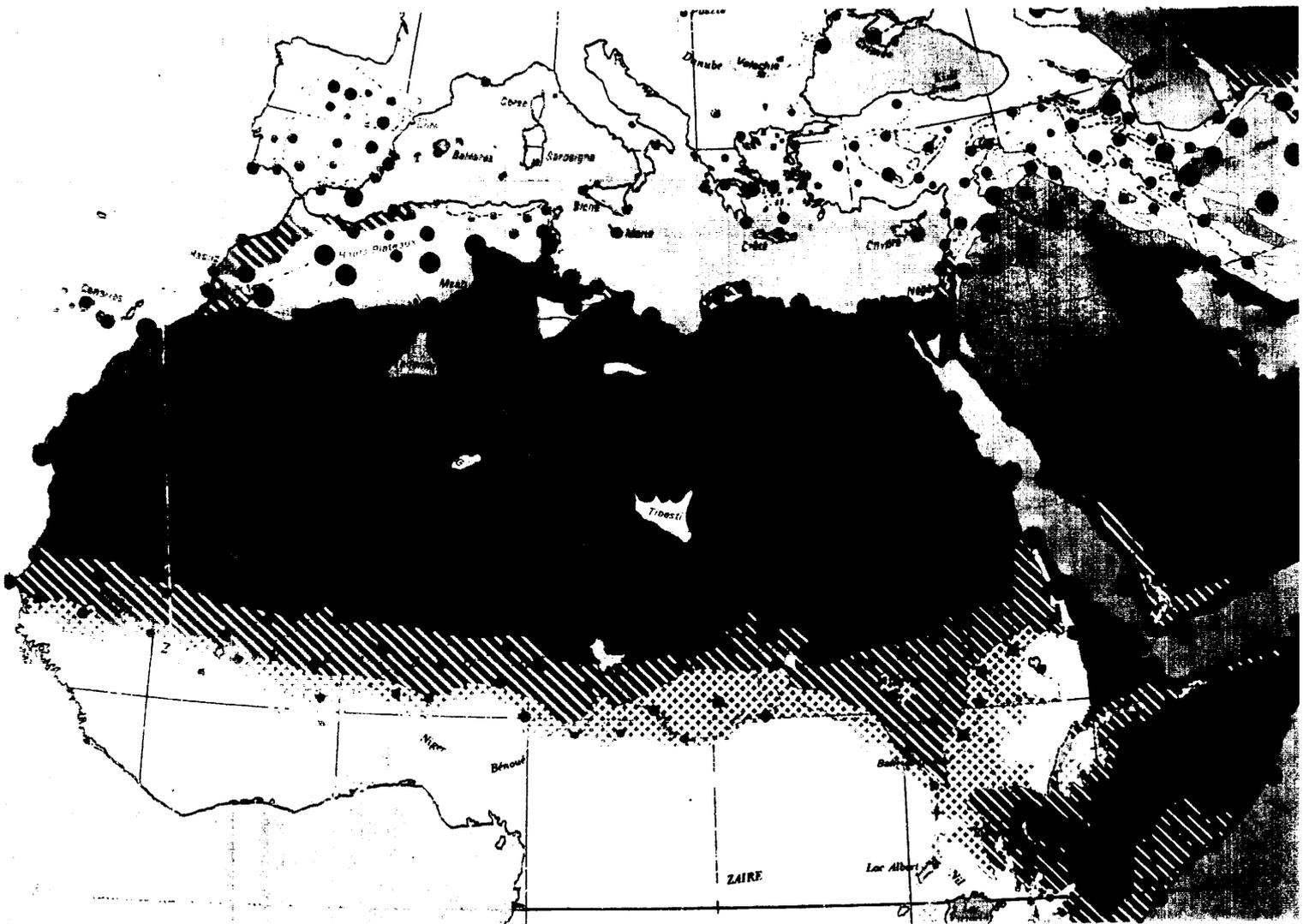
Le climat du Maghreb, sahara exclu, est de type aride dans sa partie Sud, semi-aride au Nord à l'exception de la frange côtière méditerranéenne du Rif, de l'Ouest algérien et de la Tunisie. Les hivers sont tempérés, les pluies ont lieu en hiver et au printemps. La sécheresse est estivale et le nombre de mois secs varie de 3 à 6 suivant les régions.

Le climat du Sahel est aride dans sa partie septentrionale, semi-aride au Sud. La ligne de partage entre ces deux étages climatiques correspond approximativement à la limite entre la zone cultivée et la zone pastorale. Dans les deux cas, l'hiver est chaud et l'été très chaud. Les pluies ont lieu en été (hivernage) et la période de sécheresse, en hiver et au printemps, dure de 5 à 7 mois.

Tableau I.1 - Caractéristiques de l'aridité du Maghreb et du Sahel

Régions	Aridité (P/Etp)	Température (T)		Période de sécheresse
		du mois le plus froid	du mois le plus chaud	
Maghreb (zones cultivées)	semi-aride 0,2 à 0,5	10 à 20°C hiver tempéré	20 à 30°C été chaud	estivale, 2 à 4 mois secs, pluies d'hiver
Sahel	Nord aride 0,03 à 0,2	20 à 30°C hiver chaud	plus de 30°C été très chaud	hiver et printemps 6 à 7 mois secs pluies d'été
	Sud semi-aride 0,2 à 0,5	idem	idem	hiver et printemps 5 à 6 mois secs pluies d'été

Fig 1.1 - Caractéristiques de l'aridité au Maghreb et en Afrique sub-saharienne



**CONDITIONS CLIMATIQUES DES RÉGIONS ARIDES**

	Hyper-aride	Aride	Semi-aride	Sub-humide
	P/Etp moins de 0,03	P/Etp de 0,03 à 0,20	P/Etp de 0,20 à 0,50	P/Etp de 0,50 à 0,75
<b>Hiver chaud (20 à 30°)</b>				
été très chaud (plus de 30°)	■	■	▨	▩
été chaud (20 à 30°)	■	■	▨	▩
<b>Hiver tempéré (10 à 20°)</b>				
été très chaud (plus de 30°)	■	■	▨	▩
été chaud (20 à 30°)	■	■	▨	▩
été tempéré (10 à 20°)	▩	▩	▩	▩
<b>Hiver frais (0 à 10°)</b>				
été très chaud (plus de 30°)	▩	▩	▩	▩
été chaud (20 à 30°)	▩	▩	▩	▩
été tempéré (10 à 20°)	▩	▩	▩	▩
<b>Hiver froid (moins de 0°)</b>				
été très chaud (plus de 30°)	▩	▩	▩	▩
été chaud (20 à 30°)	▩	▩	▩	▩
été tempéré (10 à 20°)	▩	▩	▩	▩

**Nombre de mois secs** recevant moins de 30 mm de précipitations  
 v moins de 1   ○ 1,2,3   ○ 4,5   ○ 6,7   ○ 8,9   ○ 10,11   ○ 12 mois

**Périodes des sécheresses et régime des précipitations**

- Sécheresse d'été dominante**
  - régimes à pluies d'hiver (parfois décalées vers le printemps) : la sécheresse est maximale en été
  - régimes à deux saisons de pluies, l'une vers la fin de l'automne, l'autre au début du printemps : la sécheresse d'hiver est moins marquée et plus courte que celle d'été
- Sécheresse d'hiver dominante**
  - régimes à pluies d'été (parfois décalées vers l'automne) : la sécheresse est maximale en hiver
  - régimes à deux saisons de pluies, l'une vers la fin du printemps, l'autre au début de l'automne : la sécheresse d'été est moins marquée et plus courte que celle d'hiver.
- Régimes de transition**
  - régimes à deux saisons de pluies, l'une en été, l'autre en hiver : les sécheresses, bien marquées, sont au printemps et en automne.
  - régimes irréguliers : les pluies sont soit accidentelles et sans date prévisible, soit, dans les régions moins sèches, réparties au long de l'année sans maximum bien marqué, ou avec des maximums sans date prévisible

On voit donc que, suivant que l'on se situe au Nord ou au Sud du Sahara, l'aridité est bien différente. Du point de vue de la végétation et de l'agriculture, ce qui distingue fondamentalement ces deux zones, c'est qu'au Sahel les précipitations sont estivales alors qu'au Maghreb il pleut durant la saison froide, à une période où l'évapotranspiration est limitée par les basses températures, ce qui accroît l'efficacité relative des pluies du point de vue de la production végétale. Par contre, les précipitations estivales au Sahel entraînent une baisse relative des températures qui explique que les mois les plus chauds sont avril et mai.

Lorsqu'on s'intéresse aux conséquences de l'aridité sur les systèmes de production agricole, il n'est pas sans intérêt de s'interroger sur l'extension géographique de l'aridité des zones que l'on étudie. En effet, les enseignements que l'on peut tirer de l'expérience agricole d'autres zones arides du monde peuvent être de grande utilité pour les recherches d'adaptation à l'aridité. Mais les transferts de technologie qui peuvent en résulter n'auront de sens que pour des régimes d'aridité comparables.

L'aridité maghrébine se retrouve sur une grande partie du pourtour méditerranéen, plus atténuée en Espagne, en Italie du Sud, en Grèce ou en Turquie, plus accentuée au Nord de la Lybie et de l'Égypte. C'est une aridité qui nous est familière et que, de ce fait, nous serions tenté de considérer comme largement répandue. Or, il n'en est rien ; à l'échelle de la planète, l'aridité de type méditerranéen concerne des zones relativement limitées : Sud-Ouest de l'Australie et de l'Afrique du Sud, Californie, Nord et frange Est du Chili.

Par contre, l'extension géographique de l'aridité de type sahélien est beaucoup plus grande. Tout d'abord en Afrique même, elle s'étend presque sans discontinuité sur plus de 6000 km, des rivages atlantiques du Sénégal jusqu'à la corne de l'Afrique en Somalie. On la retrouve dans une grande partie de l'Afrique australe et au Sud-Ouest de Madagascar, avec cependant des hivers plus tempérés. C'est également le même type d'aridité qui affecte le Nord-Est du Brésil et le Centre-Ouest de l'Inde où est basé l'ICRISAT <sup>(1)</sup> et dont un des principaux centres secondaires se trouve être situé à Niamey au Niger au cœur de la zone sahélienne.

En schématisant quelque peu, on peut considérer que le premier type d'aridité est une aridité de pays développés ou semi-développés tandis que le second est plutôt une aridité de pays en développement moins bien armés techniquement et économiquement pour faire face aux contraintes de l'aridité et aux aléas du climat.

---

(1) ICRISAT : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

### 1.3 - Aridité et sécheresse

L'aridité d'une zone se caractérise non seulement par un certain nombre de paramètres moyens comme les précipitations, l'intensité de l'évapotranspiration mais aussi par la variabilité annuelle et interannuelle de ces paramètres. En général, plus l'aridité est élevée, plus cette variabilité est forte. C'est ce qui explique la relation, voire l'assimilation que l'on fait assez fréquemment entre aridité et sécheresse. Si les deux phénomènes sont effectivement liés, ils ne peuvent cependant être confondus. L'aridité climatique, nous l'avons vu, se définit par l'existence en moyenne, sur une partie de l'année, d'un déficit pluviométrique par rapport à la demande évaporative ; par contre la sécheresse, elle, se caractérise par une baisse pluviométrique par rapport à la valeur moyenne des précipitations. C'est donc un phénomène conjoncturel qui peut affecter n'importe quelle zone climatique, même les plus humides. Mais ses conséquences sont évidemment bien différentes suivant l'aridité du climat. En effet, lorsque la pluviométrie normale permet tout juste de subvenir aux besoins en eau, des cultures, des animaux et des hommes, tout déficit prolongé des précipitations peut devenir catastrophique, notamment quand se surajoute à la sécheresse des troubles politiques ou la guerre civile qui empêchent l'aide humanitaire de parvenir aux populations sinistrées comme on a pu le voir récemment au Soudan, en Somalie et au Mozambique.

L'irrégularité des précipitations est donc une caractéristique intrinsèque des zones arides et l'on ne peut raisonnablement étudier l'adaptation des systèmes de production agricole à l'aridité sans considérer les conséquences de cette irrégularité et les risques qui en résultent pour la production et l'économie des exploitations agricoles.

### 1.4 - Aridité climatique, aridité édaphique

L'aridité climatique dépend essentiellement du régime des précipitations et de la demande évaporative, mais l'alimentation en eau de la végétation naturelle et cultivée et d'une façon générale les modes d'exploitation agricole du milieu vont dépendre aussi du type de sol et de sa topographie, c'est-à-dire de la nature des terrains qui vont accentuer ou au contraire atténuer l'aridité climatique par suite des phénomènes d'infiltration, de stockage et de rétention de l'eau dans le sol.

C'est la combinaison de ces critères climatiques et pédologiques qui permet de caractériser ce que Pontanier et Floret (1984) ont appelé l'aridité édaphique.

Dans les analyses ultérieures que nous feront de l'adaptation des systèmes de production à l'aridité, c'est essentiellement cette aridité que nous considérerons.

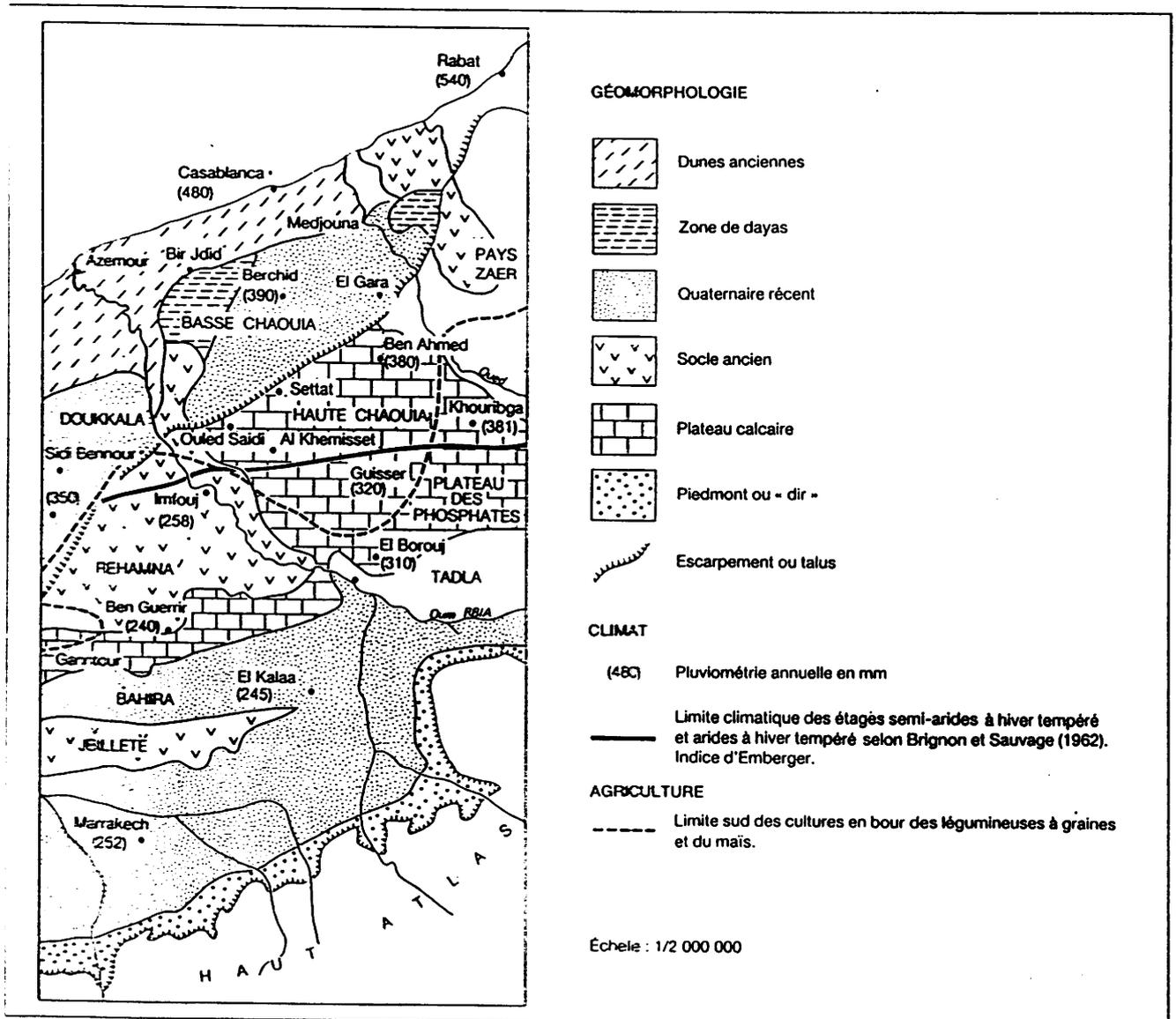
## 2 - Spécificités de l'aridité au Maroc et au Sahel : conséquences agronomiques

### 2.1 - Au Maroc, un gradient d'aridité Nord-Sud accentué par la nature des sols

La zone concernée par nos études correspond aux plaines atlantiques du Maroc qui s'étendent de Casablanca à Marrakech suivant un gradient pluviométrique qui va de 500 mm au Nord à 250 mm au Sud (cf. figure I.2).

Suivant ce transect Nord-Sud, on trouve trois grandes régions ayant des caractéristiques morphopédologiques différentes : la Basse-Chouïa au Nord, la Haute-Chouïa au Centre et les Rehamna, la plaine de Benguerir et la Bahira au Sud.

Figure I.2 - Zone d'étude de l'aridité du Maroc occidental



C'est à l'occasion d'enquêtes diagnostic effectuées en 1976-77 et 1979-80 que nous avons pu analyser les caractéristiques de l'aridité de cette zone et ses conséquences sur les systèmes de culture. Les résultats concernant cette partie de nos études ont été publiés dans deux articles de la Revue de Géographie du Maroc en collaboration avec F. Papy et T. Oussible (13, 14).

On retrouve dans les plaines atlantiques du centre du Maroc les principales caractéristiques de l'aridité maghrébine signalée précédemment à savoir des pluies hivernales et un hiver tempéré. L'influence atlantique favorise la clémence de l'hiver ( $3^{\circ} > m < 7^{\circ}$ ) (1), ce qui évite tout arrêt de végétation durant cette saison. C'est là une différence significative par rapport aux zones arides plus continentales du Maroc Oriental ou des hauts-plateaux algériens où le froid hivernal vient raccourcir les périodes de végétation et accentuer l'effet de l'aridité climatique (cf. figure L3).

La zone étudiée se trouve être à cheval sur les étages semi-aride et aride de la carte bioclimatique du Maroc établie par Sauvage en 1963 à partir du quotient pluviothermique d'Emberger. La limite entre ces deux étages se situe aux environs de l'isohyète 300 mm et à la latitude de Guisser et Kouribga. En fait, c'est un peu plus au Sud, au niveau du fleuve Oum Er R'bia, qu'apparaît dans le paysage un changement net de végétation et de système de culture. La netteté de cette frontière entre le semi-aride et l'aride s'explique par la conjugaison de la baisse de la pluviométrie et du changement de nature des sols de part et d'autre du fleuve.

En effet, au gradient pluviométrique Nord-Sud vient se superposer une succession de sols dont la réserve utile décroît en allant vers le Sud (cf. tableau I-2). En Basse-Chaouia, on a surtout des vertisols ("tirs") bénéficiant d'une réserve utile supérieure à 110 mm grâce à une texture argilo-limoneuse et à une bonne profondeur (80 à 100 cm). En Haute-Chouia, ces vertisols deviennent marginaux et leur profondeur diminue. Ce sont les sols calcimagnésiques (rendzines) et les sols bruns steppiques qui dominent, leur réserve en eau se situant entre 50 et 80 mm. Plus au Sud, en zone franchement aride, on trouve surtout des lithosols ou des sols bruns isohumiques très peu profonds dont la réserve utile ne dépasse pas 30 mm. Cette distribution spatiale des sols fait que l'aridité édaphique croît plus vite que l'aridité climatique au fur et à mesure que l'on descend vers le Sud.

Par contre, la demande évaporative (ETP) est relativement constante à la fois d'une année à l'autre et sur l'ensemble de la zone étudiée, du moins pendant la période de végétation. Cela est dû à la relative homogénéité de la radiation solaire et à la faiblesse des phénomènes d'advection.

C'est le régime pluviométrique qui est à l'origine de l'essentiel de la variabilité de l'aridité climatique et ce sont ses caractéristiques qui influent le plus directement sur la conduite des cultures et leur rendement.

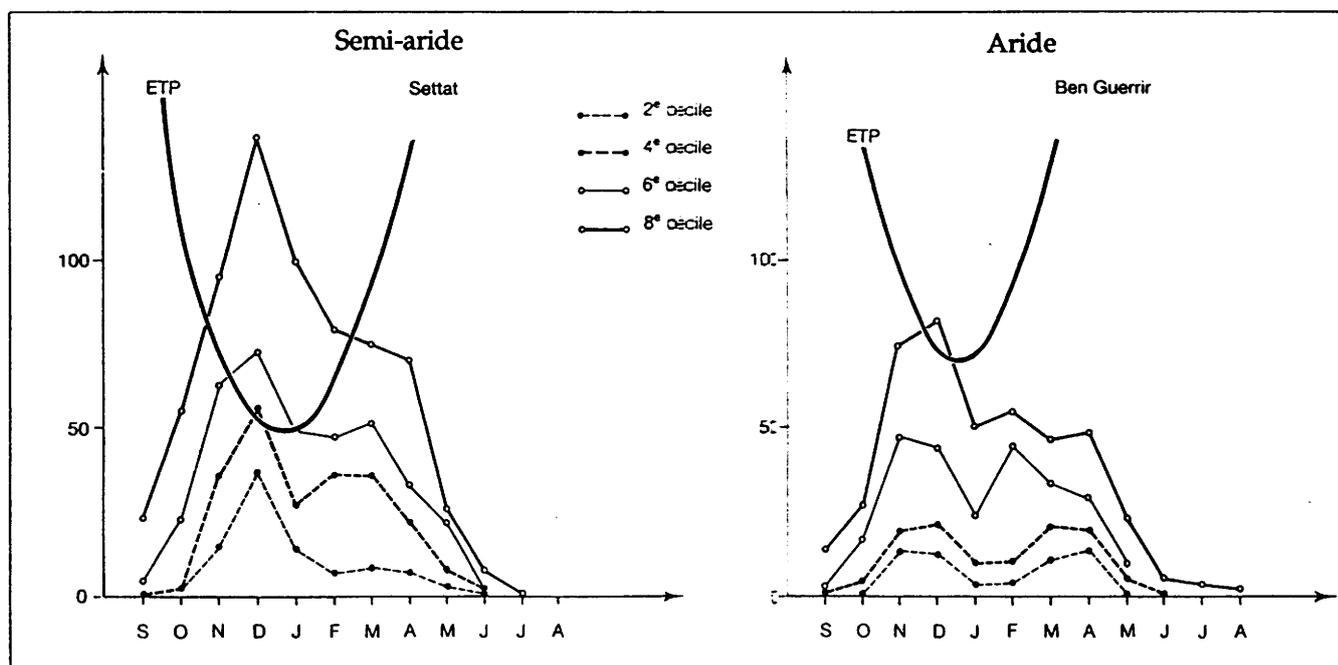
---

(1) 'm' : moyenne des températures minima du mois le plus froid.

Tableau I-2 - Estimation des paramètres hydriques des principaux sols des zones arides et semi-aride du Maroc occidental

Région	Sols	Texture	Profondeur (cm)	Eau cessible en mm/cm	Quantité nécessaire pour remplir la réserve du sol à partir de la fin de l'été (mm)	Eau utile profondeur en mm/cm	Réserve (mm)
Basse-Chaouia	Tirs - région de Ber-rechid	argilo à argilo-limoneux	80	1,9	150	1,4	110
	- région d'El Gara	argileux	100	1,9	190	1,4	140
Haute-Chaouia	Hte-Chaouia	argileux à limoneux	40 à 80	1,9 1,9	75 150		55 110
	Rendzine	argilo-sableux	20 à 40	1,7 1,7	35 70	1,2 1,2	25 50
	Brun calcaire de bas-fond	argilo-limoneux	60 à 80	1,8 1,8	110 145	1,3 1,3	80 105
	Brun steppique	argilo-sableux	30	1,5	45	1,1	35
Rehamna Benguerir	Brun méditerranéen dégradé	limoneux	20	1,9	40	1,4	30
	Brun isohumique	argilo-sableux	20	1,7	35	1,2	25

Figure I.3 - Evapotranspiration potentielle et régime fréquentiel des pluies en zones semi-aride et aride marocaines.



Source : Papy et al., 1981.

Si l'on admet que l'installation des cultures d'automne dans les plaines atlantiques du Maroc nécessite, pour l'humectation préalable du sol, une pluviométrie d'au moins 40 mm, on constate qu'en moyenne ce seuil est atteint entre octobre et décembre, d'autant plus tardivement que l'aridité s'accroît. En conséquence, la précocité d'installation des cultures qui permet d'allonger leur période de végétation et donc leur productivité sera plus difficile à obtenir et en même temps plus recherchée en zone aride qu'en zone semi-aride.

Mais le facteur le plus déterminant pour la production est la couverture des besoins en eau des cultures. Les études entreprises sur céréales d'hiver (blés et orge), principales cultures des zones arides et semi-arides marocaines, montrent que cette couverture est très variable suivant la saison et l'intensité de l'aridité (cf. figure L3)).

Durant la première période de végétation, de décembre à mars, les précipitations sont généralement inférieures aux besoins en eau des cultures en zone aride, par contre en zone semi-aride, le déficit hydrique hivernal est plus exceptionnel et la présence de sols ayant une bonne réserve en eau permet d'atténuer les fluctuations pluviométriques hivernales et de retarder l'apparition du déficit hydrique de printemps.

Ce déficit se manifeste dans les deux zones et s'accroît très sensiblement en fin de cycle. Ses effets sont particulièrement sensibles durant la période d'épiaison des céréales qui intervient généralement en mars, d'où la corrélation positive qu'a pu établir F. Papy (1978) entre le rendement du blé dur et la pluviométrie de ce mois en Chaouia.

Ce qui ressort de ces études c'est que tout d'abord le déficit hydrique en zone aride est la règle tout au long du cycle, ce qui explique les corrélations établies entre pluviométrie et rendement des céréales dans ces zones.

En zone semi-aride, le déficit hydrique est également systématique en fin de cycle mais l'existence d'éventuels excès d'eau en hiver rend la corrélation pluviométrie totale - rendement, moins stricte, la répartition des pluies au cours du cycle végétatif pouvant également affecter les rendements.

Quoi qu'il en soit, l'occurrence d'un déficit hydrique en fin de cycle dans les deux zones est une caractéristique importante à considérer.

En effet, les conséquences de ce déficit sur les rendements seront très différentes suivant qu'il survient avant ou après épiaison, d'où l'importance de la précocité des semis et du choix variétal pour assurer un calage optimum du cycle, ce sur quoi nous reviendrons par la suite.



Enfin, l'accentuation de l'aridité du fait de la conjonction de la baisse pluviométrique avec la diminution de la réserve utile des sols se répercute non seulement sur le rendement moyen des céréales mais également sur la nature des espèces cultivées et en particulier sur la possibilité ou non de pratiquer des cultures de printemps (maïs ou légumineuses) en alternance avec les céréales d'hiver. La ligne de partage que représente l'Oum Et R'hia entre le semi-aride et l'aride se révèle être également une frontière entre systèmes de culture (cf. fig. I.2).

## **2.2 - Au Sahel : variabilité pluviométrique et forte interaction sol-climat**

### ***2.2.1 - Accroissement de l'aridité ou anomalie climatique conjoncturelle ?***

Les traits généraux de l'aridité sahélienne sont bien connus : une courte saison des pluies estivales de 3 à 5 mois, à laquelle succède une longue saison sèche, se subdivisant en saison sèche et froide en hiver ( $t^{\circ}$  minimale entre 10 et 20°C) et une saison sèche et chaude au printemps durant laquelle les températures maximales dépassent couramment les 40°C.

Les systèmes de production pratiqués par les agriculteurs sahéliens sont, comme nous le verrons par la suite, adaptés aux conditions climatiques moyennes de la région. Par contre, ce qui pose problème, c'est la forte variabilité de ces conditions et en particulier de la pluviosité dont les excès mais surtout les déficits peuvent affecter la conduite et la productivité des cultures et des troupeaux, et d'une façon plus générale la reproductibilité des systèmes de production.

Au cours des deux dernières décennies, le Sahel a été marqué par une baisse sensible de la pluviométrie due en grande partie à des périodes de sécheresse particulièrement sévère (1972-74, 1982-84). Cette baisse pluviométrique a suscité de nombreuses controverses concernant à la fois la périodicité des sécheresses sahéliennes (Dobigeon, 1987) et l'évolution générale du climat. Au Sahel, certains voient dans cette diminution de la pluviométrie les prémisses d'un changement climatique et d'une accentuation de l'aridité menaçant de désertification une grande partie de la région dont les causes seraient à rechercher, entre autres, dans l'action combinée de l'effet de serre et de la déforestation croissante des zones tropicales humides. D'autres considèrent au contraire que la fluctuation de la pluviosité est une donnée inhérente aux zones arides et que rien ne permet de déduire des anomalies pluviométriques récentes, sur une aussi courte période, un changement de climat d'autant que dans le passé le Sahel a connu des périodes sèches comparables notamment au début du vingtième siècle.

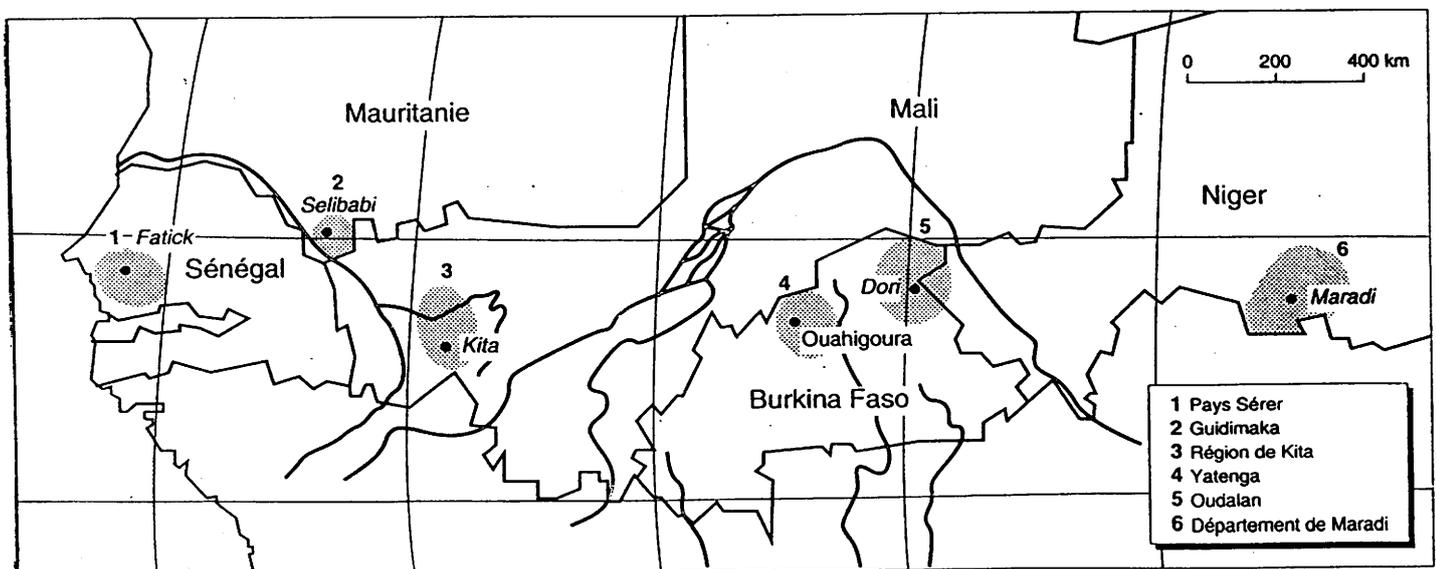
La controverse est loin d'être tranchée. Cependant, dans l'état actuel des connaissances, on ne peut qu'être d'accord avec les experts de l'UICN (Alliance mondiale pour la nature) qui dans leurs "Etudes sur le Sahel" (1989) concluent "qu'aucune théorie n'a encore permis d'expliquer les raisons d'une si longue suite d'années déficitaires. En ce qui concerne les cycles, il faut 4 à 5 cycles complets pour faire une analyse statistique. Or, à ce jour, les données dont on dispose ne portent au plus que sur 1,5 cycle, ce qui est insuffisant pour étayer la théorie des cycles". Ils estiment également que "les modèles climatiques ne permettent pas de prévoir avec une quelconque certitude si les précipitations vont retrouver les niveaux antérieurs plus élevés, ni quand". Ce que l'on peut dire simplement, c'est que depuis 1988 la pluviométrie du Sahel s'est sensiblement améliorée devenant même excédentaire par rapport à la normale en 1991 et 1992.

Dans un travail de synthèse effectué dans le cadre du réseau de recherche sur la résistance à la sécheresse au Sahel (R3S - CILSS) et portant sur l'évolution des systèmes de production sahéliens et leur adaptation à la sécheresse (Boulier, Jouve, 1990), nous avons étudié la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie au Sahel et ses conséquences agronomiques. Pour cela, nous avons analysé la variabilité de trois paramètres ayant une influence directe sur la production végétale, à savoir :

- la pluviométrie annuelle,
- la durée de la saison de végétation,
- l'occurrence de périodes sèches en cours de cycle de culture.

On a comparé les valeurs prises par ces paramètres durant la période de sécheresse récente (1966-1985) avec celles de la période précédente (1930-1965) et cela pour six régions du Sahel allant du Sénégal au Niger (cf. figure II.5).

Figure I.5 - Zones d'étude de l'adaptation des systèmes de production à l'aridité et à la sécheresse au Sahel.



Les principales conclusions auxquelles nous sommes parvenues sont les suivantes :

- a - En ce qui concerne la pluviométrie annuelle, on note une baisse générale de celle-ci dans toutes les localités entre les deux périodes. Cette baisse varie de 16 à 35 % par rapport à la valeur moyenne de la période de référence (1930-1965). Cela correspond à une diminution de la pluviométrie, en valeur absolue, de 100 à 250 mm et donc à un glissement des isohyètes vers le Sud de plus de 100 km. Une telle baisse pluviométrique entraîne nécessairement des changements et des adaptations des espèces et des variétés cultivées ainsi que des modes de conduite des cultures et des troupeaux. Par ailleurs, si l'on considère que le seuil pluviométrique qui sépare au Sahel, la zone des cultures pluviales de la zone pastorale, se situe aux alentours de 350 mm, on comprend pourquoi la sécheresse a entraîné une régression vers le Sud des cultures et un abandon momentané (?) de la mise en culture des zones à la pluviométrie moyenne comprise entre 300 et 400 mm qui avaient été colonisées à la faveur de la bonne pluviométrie des années 50 et 60.

On note également que la répartition des années sèches durant la période 1966-1985 est assez différente suivant les régions. Or les effets de la baisse pluviométrique ne sont pas les mêmes suivant que celle-ci alterne avec des années normales ou au contraire se reproduit durant plusieurs campagnes successives. En effet, habituées aux fluctuations pluviométriques, les populations rurales sahéliennes peuvent faire face à une année déficitaire, il n'en est pas de même lorsque le déficit dure plusieurs années de suite. La sécheresse au Sahel comme ailleurs, c'est la persistance sur plusieurs campagnes agricoles du déficit hydrique.

L'analyse faite de la répartition des années sèches au cours de la période récente dans les six régions étudiées permet de mettre en évidence trois types de situations :

- des régions ayant connu deux grandes périodes sèches en 1972-73 et 1982-84 (Maradi, Yatenga) séparées par des années plus "normales" ;
- des régions où ont alterné années sèches et années à pluviométrie normale (Oudalan) ;
- enfin, des régions où la baisse pluviométrique a été relativement continue sur l'ensemble de la période (Pays Serer, Guidimaka).

Ces résultats montrent que plutôt que de parler de sécheresse en général au Sahel, il serait préférable de parler de "sécheresses" au pluriel, traduisant l'existence d'une forte variabilité interrégionale des précipitations (UICN, 1989).

- b- La durée de la saison de végétation, l'équivalent de la D.P.C. (durée de la période de croissance) utilisée par la FAO pour ses zonages agro-écologiques, a été calculée en considérant le nombre de décades où la pluviométrie est supérieure à la moitié de l'ETP.

Il apparaît une bonne corrélation entre le total pluviométrique et la durée moyenne du cycle cultural. Avec la sécheresse, celle-ci a diminué d'une dizaine de jours environ. Cette réduction explique l'abandon par les paysans des variétés trop tardives de mil et de sorgho au profit de variétés plus précoces, ainsi que la régression, voire la disparition de l'arachide dans les zones arides et son remplacement par le niébé.

Cette réduction de la période de végétation est due principalement à une arrivée plus tardive des pluies qui s'accompagne d'une plus grande incertitude dans la date de début de la saison pluvieuse. Cet effet de la sécheresse allonge la période de soudure alimentaire en fin de saison sèche. Elle entraîne également de nombreux resemis par suite d'une pluviosité capricieuse et insuffisante en début de saison.

- c- Aux critères précédents de caractérisation de la sécheresse, a été ajouté celui de l'occurrence de périodes sèches au cours de la période de végétation. En effet, on a pu constater sur le terrain que dans de nombreux cas, les rendements étaient fortement affectés par des déficits hydriques intervenant en cours de cycle. Les études fréquentielles qui ont été faites (37) montrent que si le nombre moyen de décades sèches par saison n'a pas sensiblement varié entre les deux périodes (1930-65 et 1965-85), par contre la fréquence des années à trois décades sèches a nettement augmenté.

En fait, le raccourcissement de la période des pluies a entraîné une concentration de celles-ci, mais tout au long du cycle peuvent survenir des périodes de déficit prolongé, celles-ci étant toutefois plus fréquentes en début de cycle, ce qui peut affecter l'installation des cultures et la croissance des jeunes plantules.

### *2.2.2 - Une efficacité des pluies très variable suivant les terrains*

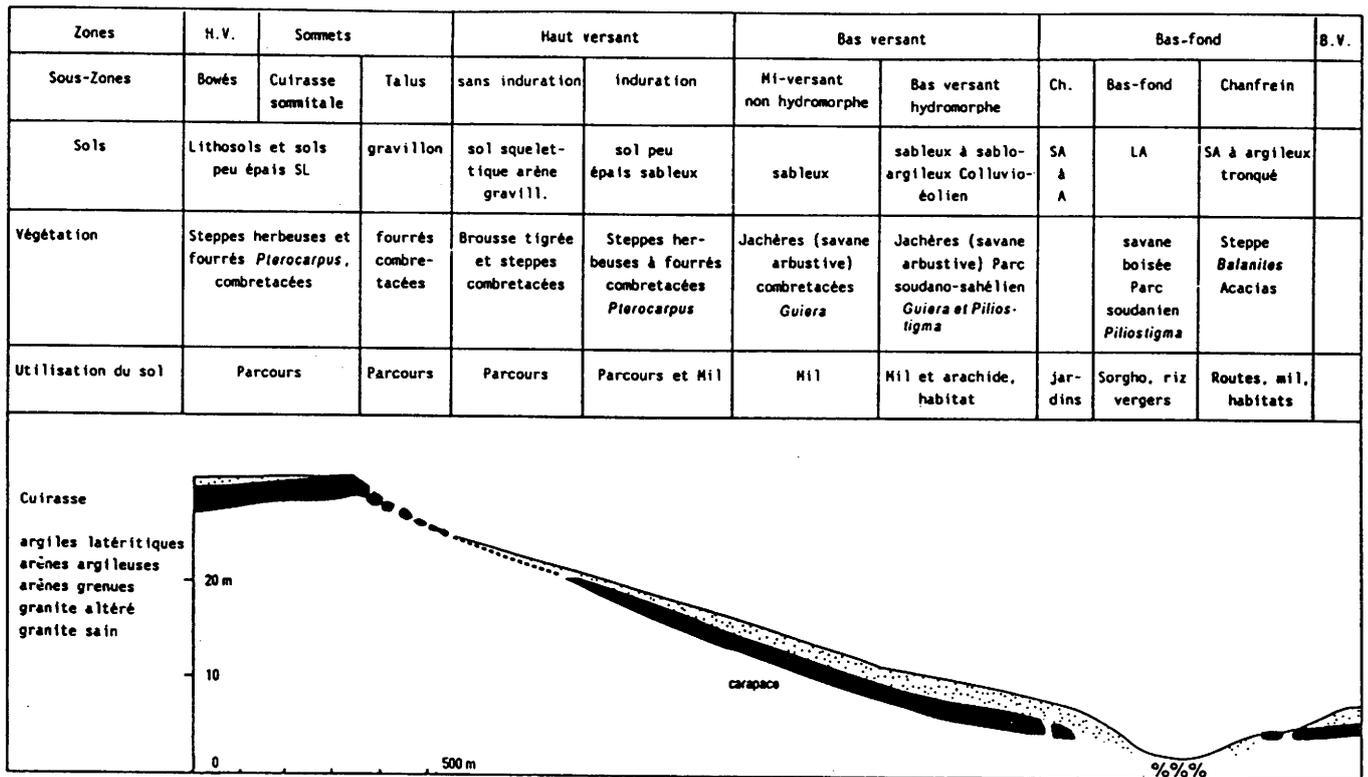
L'aridité climatique peut être, comme cela a déjà été souligné, atténuée ou au contraire aggravée par la nature des sols et leur topographie, c'est-à-dire par ce que les agronomes appellent les terrains.

Or, comme au Maghreb, mais peut-être de façon encore plus nette, il existe au Sahel une forte interaction sol-climat en ce qui concerne l'économie de l'eau et l'alimentation hydrique de la végétation. Là plus qu'ailleurs, le concept d'aridité édaphique prend tout son sens et du point de vue agronomique doit être préféré à celui d'aridité climatique.

Dans le document mentionné précédemment (37), nous avons inventorié les différents types de terrains et de structures morpho-pédologiques que l'on peut rencontrer dans les six régions sahéliennes étudiées. D'emblée, une distinction s'impose, c'est celle qui oppose d'une part les régions "dunaires" aux sols sableux profonds d'origine éolienne, formés sur des ergs récents, au relief faiblement ondulé, d'autre part les régions "cuirassées" où les terrains s'organisent suivant une toposéquence qui comprend dans les parties hautes des terrains non cultivables sur cuirasse (lithosols) auxquels succède un glacis plus ou moins long à pente faible (1 à 3 %) comprenant généralement des terrains squelettiques gravillonnaires dans la partie haute, des terrains sableux plus profonds à réserve en eau moyenne dans la partie intermédiaire se prolongeant par des terrains sablo-argileux plus profonds, à bonne réserve en eau qui sont les plus cultivés. En aval de ces glacis, on trouve généralement des bas-fonds aux sols plus lourds (vertisols) dont la mise en valeur varie suivant leur régime hydrologique et la pression démographique (cf. figure I.6).

Si on se réfère aux six régions que nous avons étudiées, on s'aperçoit que la répartition géographique de ces deux grands types de milieu physique est assez tranchée. On a des régions comme Maradi, le Guidimaka, le Pays Sérér, où les terrains d'origine dunaire dominant largement et d'autres comme le Yatenga, ou la région de Kita au Mali, dans lesquelles l'organisation des terrains se fait essentiellement suivant des toposéquences allant des plateaux cuirassés aux bas-fonds. Il existe cependant des régions comme l'Oudalan où coexistent les deux types d'unités morphopédologiques (cf. figure I.7 et tableau I.3).

Figure I.6 - Toposéquence de milieu cuirassé au Yatenga



Source : Serpantié, Tezenas du Moncel, Valentijn 1992.

Qu'est-ce qui fait que l'économie de l'eau et l'efficacité des pluies, c'est-à-dire la part des précipitations disponibles pour la croissance des plantes, ne sont pas les mêmes suivant ces deux grands types de milieu ?

Les sols d'origine dunaire, classés pour la plupart dans la catégorie des sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés, ont une texture essentiellement sableuse. Ces sols, contrairement à la perception spontanée que l'on peut en avoir lorsqu'on est peu familier des zones arides, ont un bon comportement hydrique.

Leur texture sableuse et leur topographie plane favorisent l'infiltration des précipitations. Le ruissellement y est exceptionnel et l'érosion hydrique très faible. Leur grande profondeur permet une bonne capacité de stockage en eau malgré une faible réserve utile par cm de sol (généralement inférieure à 1 mm). Ainsi, un sol sableux ayant une réserve utile de 0,8 mm/cm peut stocker 160 mm sur 2 mètres de profondeur, correspondant à la tranche de sol pouvant être exploitée par l'enracinement d'une culture de mil.

Figure I.7 - Les grands types de milieu morphopédologique au Sahel

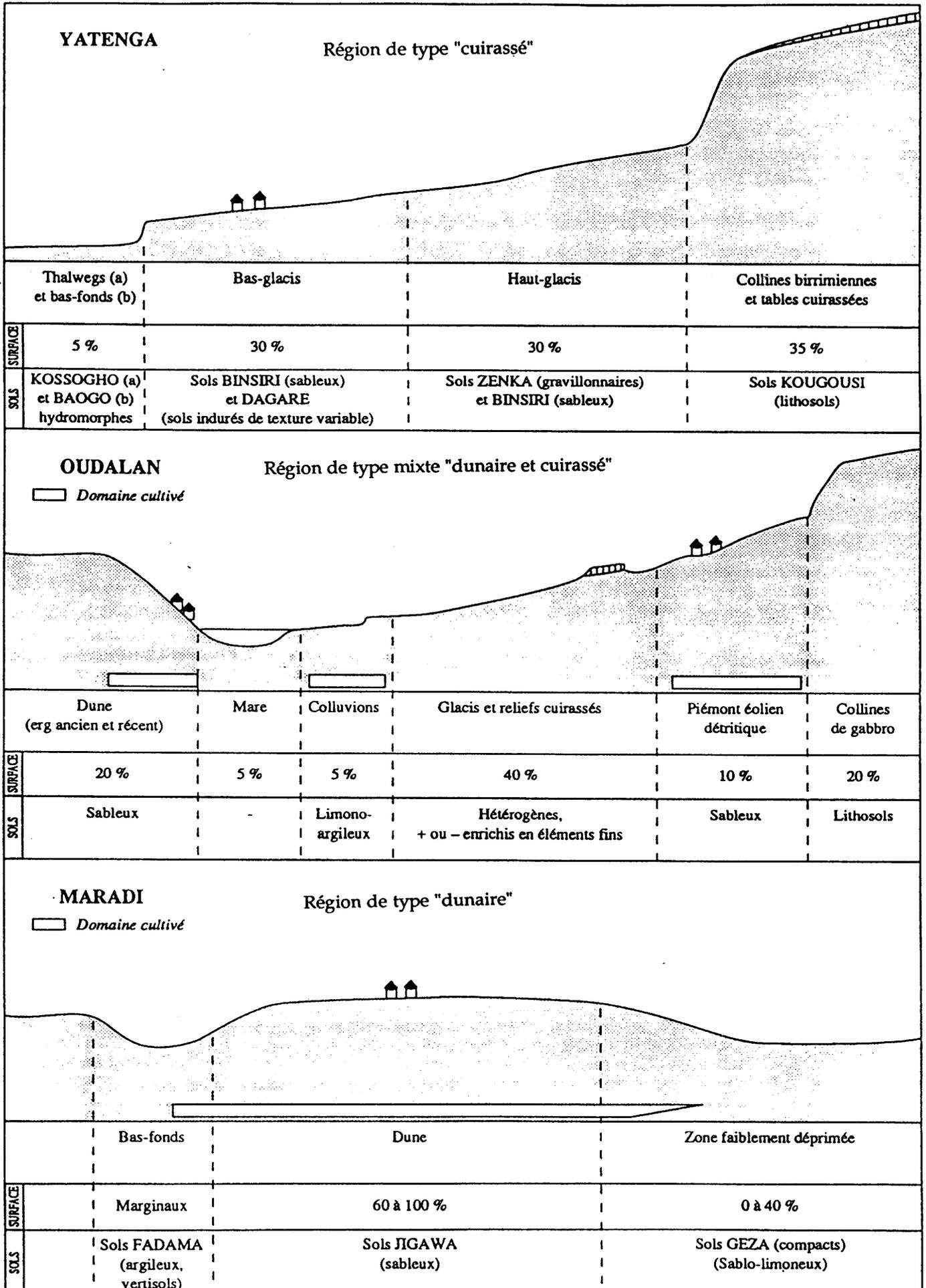


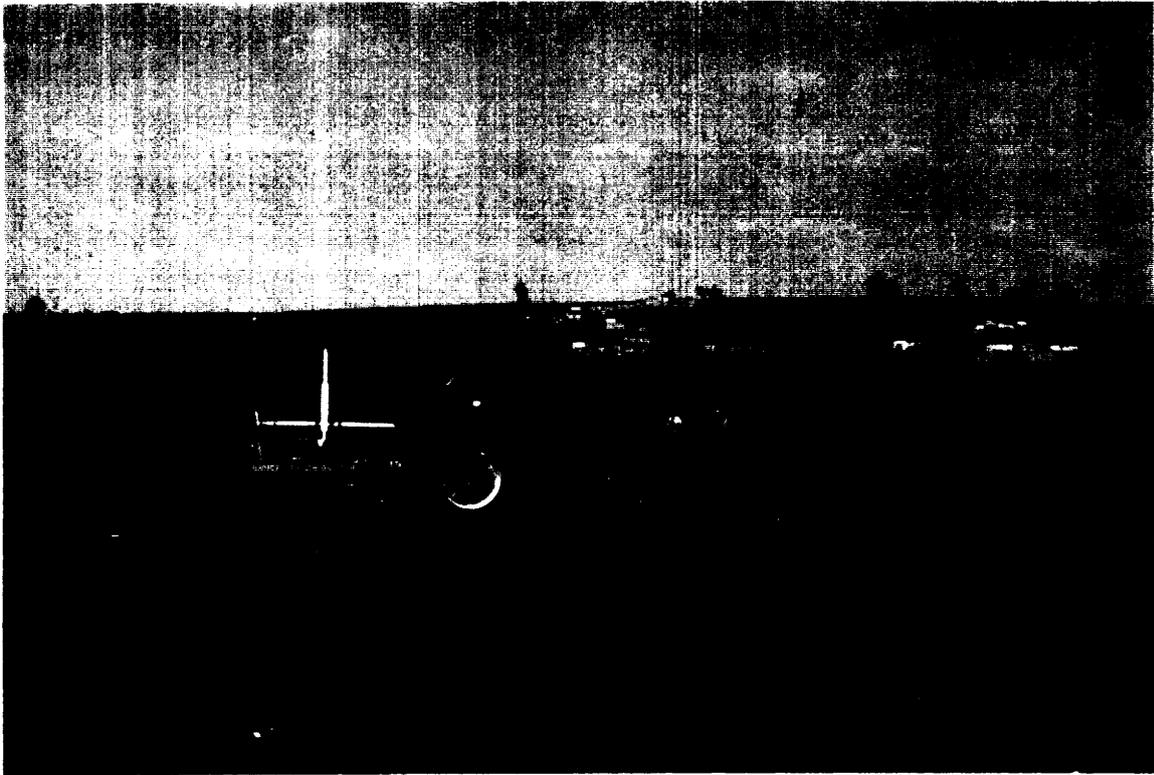
Tableau I.3 - Caractéristiques principales des sols des deux grands types de milieu sahélien

MARADI - Milieu dunaire			
NOM VERNACULAIRE	JIGAWA	GEZA	FADAMA
Type pédologique	Sols ferrugineux tropicaux sur sable (erg ancien)	Sols ferrugineux sur placages argilo-sableux	Sols hydromorphes et vertisols
Texture	Sableuse	Sableuse à sablo-argileuse	Sablo-argileuse à argileuse
S%	93	89	78
L%	4	2	4
A %	2	9	14
Fertilité chimique	Très faible	Faible	Moyenne
Taux MO (%)	0,3	0,4	
CEC (meq/100 g)	1,1	1,3	
P total (‰)	0,06	0,16	
Comportement hydrique	Bonne perméabilité Stockage de l'eau en profondeur Restitution facile	Battanche : faible perméabilité et ruissellement	En sec : fente de retrait En humide : engorgement

Source : PARE, 1979

YATENGA - Milieu cuirassé					
NOM VERNACULAIRE	ZENKA	BINSIRI OU BISGROU	DAGARE	KOSSOGHO	BAOGO
Type pédologique	Sols peu évolués d'érosion	Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés		Sols hydromorphes	
Texture	Gravillonnaire	Sableuse	Variable de sablo-limoneuse à sablo-argileuse enrichissement en éléments fins en surface		Limono-argileuse
S%	75 (1)	74			51
L%	15 (1)	17			33
A %	10 (1)	9			16
Fertilité chimique	Très faible	Faible		Moyenne	
Taux MO (%)	1,1	1,15		1,2	
CEC (meq/100 g)	4,7	5,7		8,1	
P total (‰)	0,27	0,28		0,35	
Comportement hydrique	Faible capacité de stockage	Bonne perméabilité Capacité de stockage dépendant de la profondeur	Induration en sec Phénomène de battance prononcé	Bonne capacité de stockage, bénéficie d'apports d'eau par ruissellement	Engorgement et submersion temporaire
Erosion	Forte, en nappe		Ravinement + décapage superficiel plages stériles (zippeles)	Faible à moyenne	Nulle. Phénomène de colluvionnement (éléments fins)

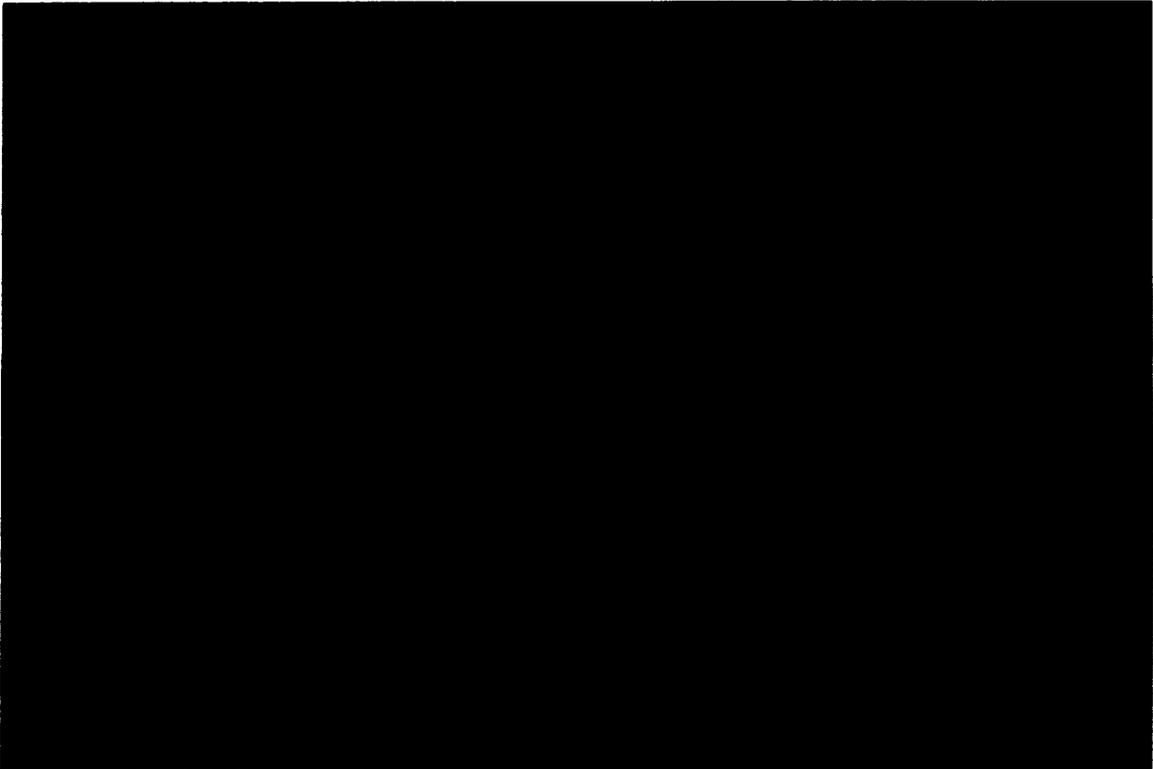
Source : BOULET, 1968 ; MARCHAL, 1983



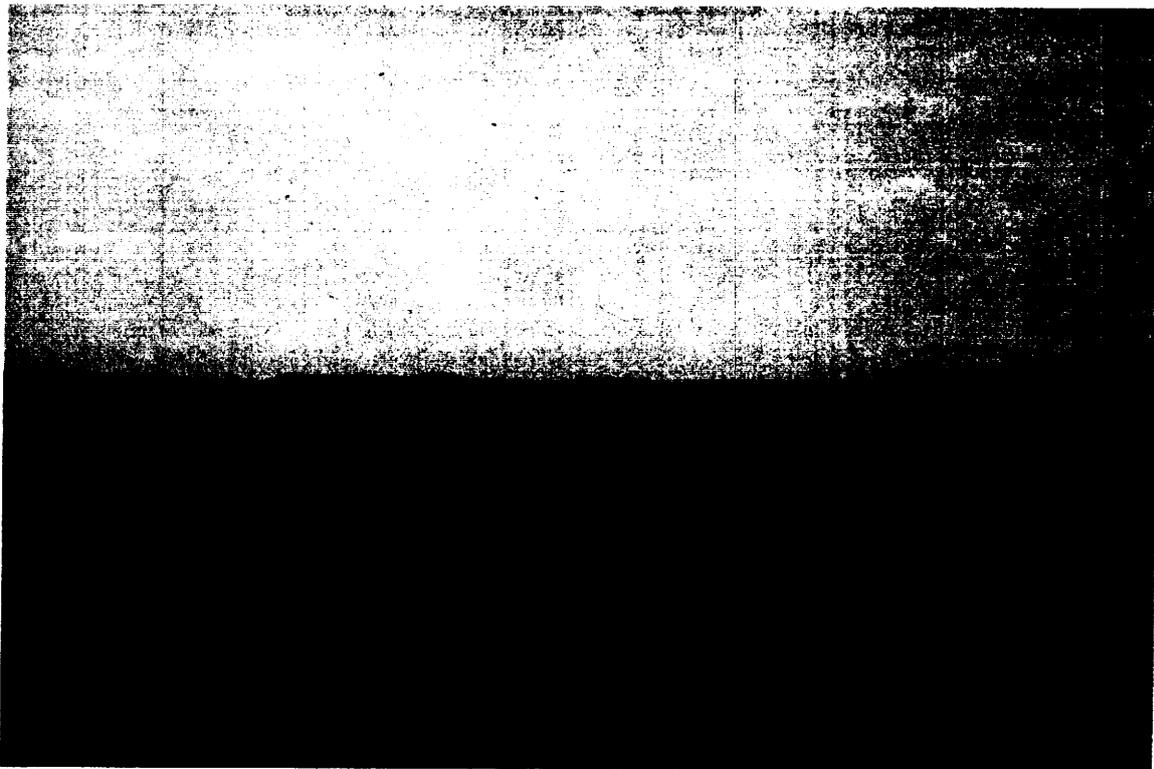
*1 - Paysage agricole en zone semi-aride au Maroc (région de la Chaouia)*



*2 - Paysage agricole en zone aride au Maroc (Région de Benguerir)*



*3 - Paysage agricole, en milieu dunaire, dans la région de Thiès au Sénégal*



*4 - Paysage agricole, en milieu cuirassé, dans la région de Filingué au Niger*

Cette capacité de stockage s'avère donc largement suffisante compte tenu du rythme et de l'intensité des précipitations au Sahel. D'autre part, à la différence des sols à texture plus fine, dans les sols sableux les pertes en eau par évaporation directe du sol sont faibles du fait de leur porosité grossière et l'eau stockée est en grande partie disponible pour les cultures par suite d'une humidité au point de flétrissement très basse. En quelque sorte, les sols sableux se comportent comme des "pièges à eau", tout en mettant la quasi totalité de cette eau à la disposition des plantes.

Enfin, ces sols sont généralement meubles à l'état sec, ce qui réduit ou même rend inutile la préparation du sol avant l'installation des cultures, favorisant ainsi les semis précoces y compris les semis en sec.

A côté de ces sols à texture très sableuse, on trouve dans les zones de type dunaire des sols également sableux mais comportant une fraction un peu plus importante d'argile et de limon (aux environs de 10 %, cf. tableau I.3). Cette différence texturale, apparemment minime, modifie sensiblement leur comportement. En particulier, ils sont cohérents à l'état sec, ce qui nécessite de les travailler avant le semis, de plus ils sont "battants" et la croûte de battance qui se forme en surface favorise le ruissellement.

Aussi, on comprend pourquoi dans les régions de type dunaire, les agriculteurs mettent en culture en priorité les sols les plus sableux, les "jigawa" plutôt que les "gueza" à Maradi, les "dior" plutôt que les "deck" dans le pays Sérér. Ce n'est que lorsque la pression foncière devient trop forte que les agriculteurs se mettent à cultiver les seconds au détriment des parcours auxquels ils étaient auparavant dévolus.

Dans les zones de type cuirassé on a, suivant la toposéquence, une assez grande diversité des sols, depuis les lithosols des plateaux ferrallitiques jusqu'aux vertisols des bas-fonds en passant par toute la gradation des sols ferrugineux des glacis.

Si l'on met à part les bas-fonds, sur lesquels nous reviendrons par la suite, les cultures pluviales sont généralement localisées sur les bas et moyens glacis où les sols sont plus profonds et plus fertiles que dans les hauts de glacis.

Ces sols sont de texture sablo-limoneuse à sablo-argileuse. Cette texture, ainsi que leur pente, détermine très directement leur comportement hydrique.

Sous l'impact des gouttes de pluie, ces sols, du fait de leur fraction limoneuse, ont tendance à se déstructurer en surface. La croûte de battance qui en résulte et la pente du terrain favorisent le ruissellement des eaux de pluie qui peut atteindre 40 % des précipitations. Dans des zones où la pluviométrie est à peine suffisante pour satisfaire aux besoins en eau des cultures, cette perte par ruissellement constitue une cause majeure de baisse des rendements et accroît l'aridité édaphique des zones concernées (Dugué, 1989).



5 - Dégénération de l'état de surface du sol par suite du ruissellement, sur glacis en milieu cuirassé (Dallol-Bosso, Niger)



6 - Pratique traditionnelle de paillage pour la régénération d'un sol dégradé (Dallol-Bosso, Niger).

Cette dégradation des états de surface peut aller jusqu'à la stérilisation du sol par suite du colmatage de l'horizon superficiel entraînant un fort ralentissement de la circulation verticale de l'air et de l'eau et une baisse de l'activité biologique du sol (Serpantié, 1988). Le résultat final d'une telle évolution est l'apparition de "zipellé", c'est-à-dire de plaques de sol nu, sans végétation, qualifiées par Marchal (1983) de "lèpre du Yatenga". Heureusement, les pratiques des agriculteurs (le "zaï") et les travaux de Dugué ont montré que cette dégradation n'est pas irréversible.

Il apparaît que les caractéristiques morpho-pédologiques des deux grands types de milieu physique que l'on trouve au Sahel, les milieux dunaires et les milieux cuirassés, influent considérablement sur la dynamique et la valorisation des eaux pluviales. Alors que les premiers permettent une bonne efficacité des précipitations <sup>(1)</sup>, les seconds peuvent accentuer l'aridité climatique par suite du ruissellement. En schématisant, on peut dire qu'au Sahel, on a deux grands types de terrains, ceux où les eaux s'infiltrent et ceux où les eaux ruissellent. On verra par la suite que cette distinction induit de la part des agriculteurs des pratiques fort différentes et qu'elle est fondamentale dans l'élaboration des stratégies d'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures et de lutte contre l'aridité.

Dans les deux grands types de milieu physique que nous venons de distinguer, on trouve des bas-fonds où la dynamique de l'eau et les modes de mise en valeur sont sensiblement différents.

Dans les zones dunaires, on trouve deux types de bas-fonds. Les premiers sont constitués par des dépressions, généralement de dimension limitée, où l'accumulation d'éléments fins par suite du ruissellement permet la formation au moment de l'hivernage de mares semi-permanentes. Ces mares sont utilisées pour l'abreuvement des troupeaux. Quand la pression foncier s'accroît, les agriculteurs peuvent y pratiquer des cultures de décrue ou des cultures de contre-saison, ce qui peut provoquer des conflits entre pasteurs, et agriculteurs.

Le second type de bas-fonds correspond aux vallées sèches ou à écoulement temporaire, telles que les *goulbi* de la région de Maradi ou les *dallol* de la région de Fillingué au Niger. Ces zones sont propices aux cultures irriguées de contre-saison quand la nappe phréatique n'est pas trop profonde.

Dans les milieux cuirassés, les glacis formés en aval des plateaux cuirassés se prolongent par des bas-fonds dont la morphologie et le fonctionnement hydrologique ont été décrits en détail par Raunet (1985). Ces bas-fonds, assez peu encaissés dans le paysage, sont constitués de matériaux colluviaux-alluviaux provenant de l'érosion des bassins-versants. Suivant l'intensité des écoulements,

---

(1) Les précipitations efficaces, telles que les définit la FAO, correspondent aux pluies moins les pertes par ruissellement et percolation en profondeur.

ces matériaux sont soit sablo-gravillonnaires soit argilo-limoneux. Par suite du ruissellement et des écoulements hypodermiques en provenance des versants, ils se remplissent en saison des pluies. La persistance de la nappe d'inondation dépend des caractéristiques des couches sous-jacentes et en particulier de la richesse et du type d'argile qu'elles contiennent, ces caractéristiques étant liées à la nature de la roche mère.

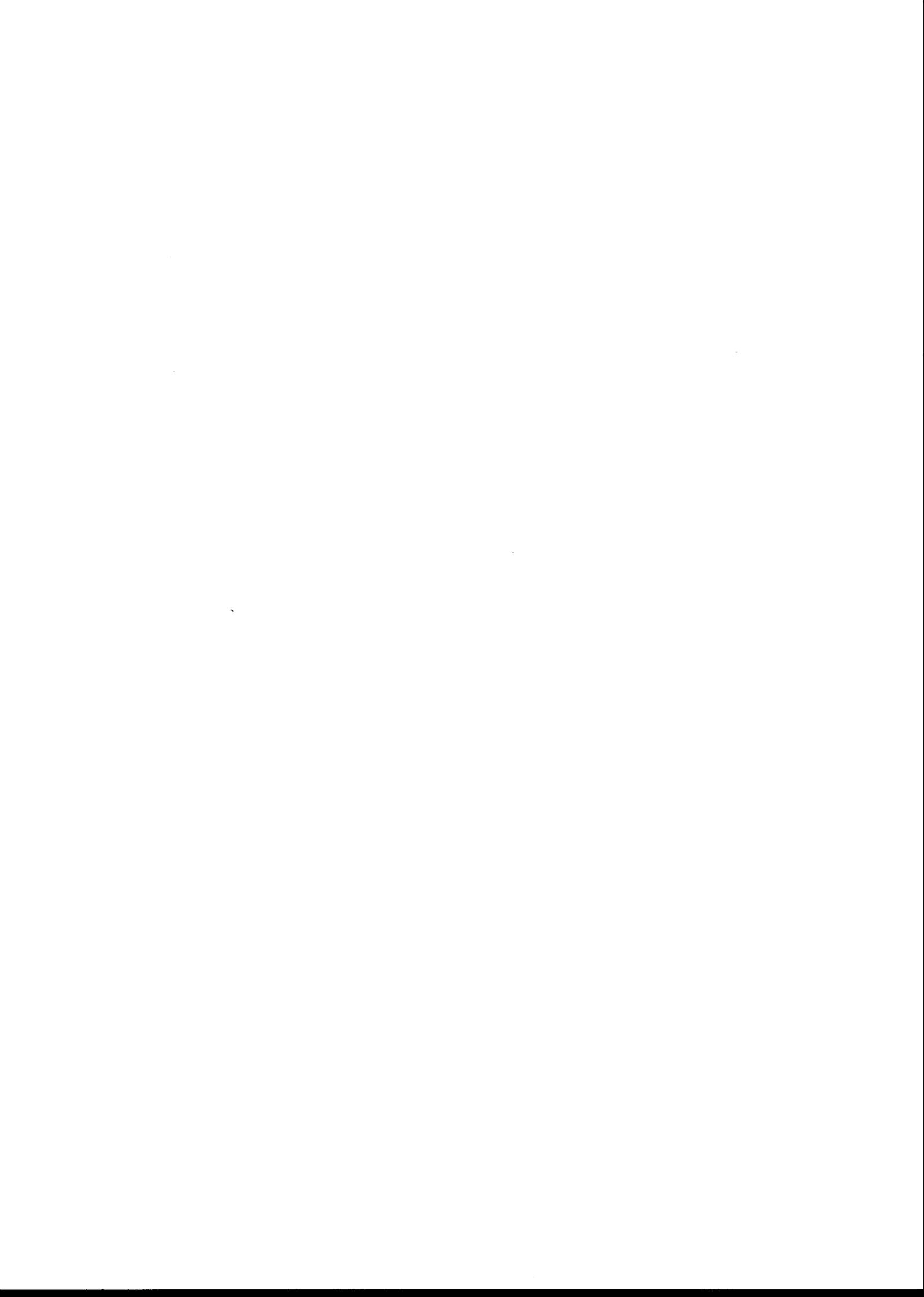
Comme dans les milieux dunaires, ces bas-fonds présentent une nappe phréatique de profondeur variable. C'est l'existence de cette nappe qui est à l'origine de formations végétales particulières où les ligneux sont largement représentés (*Acacia nilotica*, *seyal*, *faidherbia*) faisant de ces bas-fonds des réserves en bois et en fourrage.

La présence de ces bas-fonds, leur importance, les possibilités de mise en valeur qu'ils offrent, vont moduler sensiblement le jugement que l'on pourra porter sur les caractéristiques du milieu en matière d'adaptation des systèmes de production à l'aridité.

En effet, une des stratégies d'adaptation adoptée par les agriculteurs sahéliens consiste à diversifier leurs ressources. De ce point de vue, les bas-fonds offrent des possibilités fort intéressantes. En effet, ils permettent non seulement de diversifier les productions mais aussi de fournir en morte saison, en saison sèche, du travail, des revenus et des compléments alimentaires que les populations sahéliennes s'efforcent habituellement de trouver dans les migrations saisonnières vers les villes et les pays du Sud.

Dans les milieux cuirassés, lorsque la sécheresse a ruiné les cultures pluviales de glakis, la mise en culture des bas-fonds constitue un recours de plus en plus utilisé (Dugué, 1989 ; Milleville, 1992). Dans ces situations, cette culture d'impluvium apparaît comme un moyen important pour s'adapter aux aléas du climat.

Un autre rôle essentiel des bas-fonds, c'est la possibilité d'intensification qu'ils offrent par le développement des cultures irriguées de contre-saison. Cette possibilité est très variable suivant la nature des bas-fonds et leur régime hydrologique mais elle peut être importante notamment dans vallées sèches des milieux dunaires. C'est elle qui explique, par exemple, la densité de population tout à fait exceptionnelle (350 hab/km<sup>2</sup>) de la région de Kano au Nord-Nigéria que la pluviométrie moyenne, de l'ordre de 650 mm ne peut seule justifier (Mortimore, 1991).



*L'homme n'est pas dans la Nature,  
il est dans la Civilisation...*

*Toute aide aux agriculteurs doit être fondée sur une  
connaissance approfondie et intime des situations locales,  
et sur une volonté de respect des usages locaux ;  
certes, ceux-ci ne sont pas intangibles,  
encore faut-il les avoir bien compris,  
et, avant d'envisager leur modification,  
se demander longuement si leur justification  
ne nous aurait pas échappé.*

Pierre Gourou

---

DEUXIEME PARTIE

**SYSTEMES DE CULTURE ET PRATIQUES PAYSANNES  
FACE A L'ARIDITE ET AUX ALEAS CLIMATIQUES**

---



## Introduction

Face aux contraintes pédo-climatiques des régions arides et semi-arides du Maroc occidental et du Sahel, les agriculteurs de ces régions ont mis au point, tout au long de leur histoire, des modes d'exploitation agricole du milieu visant à s'adapter à ces contraintes et, en particulier, à minimiser les aléas climatiques propres à l'aridité.

Dans les recherches que nous avons entreprises en vue d'améliorer ces modes d'exploitation, nous avons toujours considéré qu'au préalable il était nécessaire d'analyser les pratiques adoptées par les sociétés rurales pour la mise en valeur de leur milieu et d'explicitier leurs stratégies, notamment vis-à-vis de l'aléa climatique et de la sécheresse, afin de valoriser tout le savoir empirique accumulé par ces sociétés (21b).

Le concept, qu'en tant qu'agronome nous avons privilégié pour étudier les modes d'exploitation agricole du milieu, est celui de système de culture. Ce concept est particulièrement adapté pour rendre compte des modalités d'organisation et de gestion des productions végétales cultivées à l'échelle des terroirs exploités par les communautés paysannes (35). Il se caractérise par la nature des espèces cultivées, leur répartition et association dans l'espace, leur succession dans le temps, ainsi que par les techniques culturales utilisées. Ce sont donc ces caractéristiques que nous nous sommes efforcé de décrire et d'analyser au Maroc occidental et au Sahel.

Mais, si le système de culture a été, dans ces deux régions, notre objet central d'étude, plusieurs raisons nous ont conduit à élargir notre analyse aux systèmes de production et aux systèmes agraires.

Tout d'abord, les systèmes de culture ne dépendent pas seulement des contraintes pédoclimatiques. Ils sont également fonction des caractéristiques particulières des systèmes de production et systèmes agraires des régions considérées, notamment en ce qui concerne l'accès aux moyens de production (terre, main d'œuvre, capital). En particulier, le niveau d'équipement dont disposent les agriculteurs joue un rôle important dans la conduite des cultures et la capacité de maîtriser les contraintes du milieu.

Par ailleurs, lorsque l'on analyse les pratiques et stratégies d'adaptation des agriculteurs aux aléas climatiques, on constate que certaines concernent très directement la conduite des cultures, d'autres, par contre, intéressent le fonctionnement des systèmes de production et que de nombreuses interactions existent entre les différents niveaux d'organisation de la production dans la lutte contre l'aridité.

Plusieurs enquêtes et études comparées effectuées au Maroc et au Sahel nous ont permis de décrire les systèmes agricoles <sup>(1)</sup> de ces régions et d'analyser la logique des pratiques des agriculteurs (14, 37). Nous nous limiterons ici à souligner les caractéristiques principales des systèmes de culture du Sahel et des zones arides marocaines en mettant l'accent sur les pratiques antialéatoires et les stratégies adoptées par les agriculteurs au niveau de ces systèmes de culture, mais aussi des systèmes de production pour s'adapter à l'aridité de leur milieu.

## **I - Aridité et systèmes de culture dans le Maroc occidental**

### **1.1 - Des successions culturales diversifiées suivant les terrains et l'aridité**

Les systèmes de culture des zones semi-arides et arides du Maroc occidental sont, comme pour l'ensemble des zones de culture pluviale au Maghreb, basées sur la culture des céréales d'hiver (blé dur, blé tendre et orge) associées dans des rotations de type biennal avec des légumineuses à graines (fève, pois chiche, petits pois, lentille), du maïs ou une jachère.

La gamme des cultures qui participent à ces successions biennales a tendance à se réduire suivant le gradient d'aridité croissante Nord-Sud. Comme nous l'avons déjà noté, le passage de l'étage semi-aride à l'étage aride correspond à une limite culturelle importante. En effet, au Sud de cette limite, on note la quasi-disparition du maïs et des légumineuses à graines du fait de l'accentuation de l'aridité édaphique due à un changement assez rapide des conditions pédo-climatiques. Il en résulte une modification sensible des systèmes de culture et, d'une façon plus générale, de l'économie des exploitations.

Le passage du semi-aride à l'aride se traduit, en particulier, par un changement dans la nature et la proportion des céréales cultivées. Dans le semi-aride, le blé dur, culture vivrière particulièrement appréciée, est traditionnellement plus cultivée que le blé tendre, culture de rente pratiquée surtout par les grands exploitants. Ce dernier a cependant gagné beaucoup de terrain ces dernières années du fait du développement des échanges marchands, mais aussi du soutien apporté à cette spéculation par l'Etat en vue de réduire le déficit céréalier du pays, le blé tendre étant considéré comme potentiellement plus productif que le blé dur grâce aux recherches importantes dont il a fait l'objet à l'échelle internationale et au Maroc en vue de son amélioration variétale.

---

(1) Nous désignons par systèmes agricoles l'ensemble des différents niveaux d'organisation de la production agricole, des systèmes de culture aux systèmes agraires, en passant par les systèmes d'élevage et de production (35).

L'orge, céréale bien adaptée aux sols peu profonds, occupe près du tiers de la sole céréalière de la zone semi-aride. Quant au maïs, il est surtout cultivé sur la frange océanique de la zone.

En zone aride, la part des céréales dans l'assolement s'accroît par suite de la régression ou de la disparition des autres cultures. L'orge, du fait de sa rusticité et de son caractère plurifonctionnel, devient la céréale dominante, le blé dur régresse fortement, son cycle plus long étant peu adapté à la brièveté de la saison pluvieuse ; par contre, le blé tendre se maintient grâce à la possibilité d'utiliser des variétés plus précoces.

Les successions culturales sont, bien entendu, influencées par l'évolution de la nature et de l'importance respective des cultures au fur et à mesure de l'accentuation de l'aridité. Mais, à l'échelle locale, ces successions sont aussi déterminées par la nature du sol et le type d'exploitation (cf. tableau II.1).

En zone semi-aride, les successions culturales sont nettement différentes suivant que l'on se trouve sur vertisol (*tirs*) sur sol calcimagnésique (*biad*) ou sur sol brun steppique (*harch*).

Le blé dur est cultivé de préférence sur vertisol ; l'importante réserve utile de ces sols permet en effet le stockage des pluies d'hiver favorable au bon déroulement du cycle végétatif relativement long des variétés traditionnelles de blé dur (115 à 130 jours). Cette culture de blé dur bénéficie généralement d'un bon précédent appelé "bernicha" qui peut être une culture de maïs ou de fève. La qualité de ce type de précédent est d'abord due au fait qu'il s'agit d'une culture sarclée, laissant un sol propre et permettant, dans certaines conditions, des reports d'eau d'une campagne à l'autre. Par ailleurs, les légumineuses présentent l'intérêt d'enrichir le sol en azote si la pluviométrie n'est pas trop défavorable et si les pieds ne sont pas arrachés à la récolte.

La jachère occupe une place marginale dans les systèmes de culture sur *tirs*. En effet, quand elle n'est pas travaillée, cas le plus fréquent, elle constitue un précédent salissant ; en outre le démarrage de la végétation étant tardif sur ces sols lourds, sa productivité en début de saison est faible, or un des intérêts de la jachère est précisément de fournir le plus tôt possible du fourrage vert aux troupeaux après la longue saison sèche estivale et au moment des mises bas.

Sur les sols plus légers, moins profonds (*biad*), le blé dur cède la place au blé tendre et surtout à l'orge associée à des légumineuses (petits pois, lentille), parfois au maïs, assez souvent à la jachère. Celle-ci a essentiellement un rôle fourrager, indispensable à l'alimentation des animaux durant l'hiver, aussi est-elle pratiquée dans la plupart des exploitations, même dans les petites manquant de terre.

Tableau II.1 - Successions culturales types suivant le climat et les sols des zones semi-arides et arides du Maroc Occidental

Régions		Systèmes de culture producteurs de grains			Système fourrager
Zone semi-aride basse chaouia Nord de la haute Chaouia	Type de sols (appellation vernaculaire)	Vertisols (tirs) . Argilo à argil. limoneux . P = 40 à 100 cm . Ru de 55 à 140 mm . peu ou pas caillouteux	Rendzine (biad) et brun calcaire . Arg. sabl. à arg. limoneux . p 40 à 60 cm . Ru de 50 à 80 mm . moyennement caillouteux	Brun steppique (harch) Brun calc. squelettique . Agril. limoneux . P 20 à 40 cm . Ru de 30 à 50 mm . très caillouteux	Localisation des habitants  (généralement sur biad)
	Cultures	Blé dur et tendre maïs, fève, lentille petits-pois plus rarement orge, pas de jachère	Orge, blé (surtout blé tendre) jachère, petit-pois lentille-rarement fève et maïs	Orge, blés, jachère petits-pois plus rarement lentille	Orge "aglass" jachère paturée
	Successions culturales	Maïs /blé légumineuses/blé	Jachère/orge pp./blé blé/orge	Jachère/céréales (orge) légumineuses/blés blés/orge	Orge fourragère/jachère
Zone aride Beni Meskine Rehamna Bahira	Type de sols	Sols à texture sableuse limités à la haute vallée de l'Oued Bouchane (Sud-Ouest du Massif des Remamna)	Brun méditer. dégradé et brun isohumique (hassia et biad) . arg. sableux à limoneux . P = 20 cm RU 80 mm . caillouteux	lithosols (harch) . très peu profonds . très caillouteux . très faible R. U.	Près des habitations mais pas de façon aussi systématique qu'en semi-aride
	Cultures	Céréales orge. B. T., B.D. un peu de maïs et de fève-jachère	Orge, blé tendre en proportion plus élevée qu'en chaouia, blé dur, jachère	Orge, jachère	Orge "aglass"
Successions culturales	Blé/orge Maïs ou fève/B.T. Jachère/blé ou orge	Orge/blé Jachère/orge ou blé Blé/orge	Orge/orge Orge/jachère suivant la pluviométrie	Orge/orge	

Dans les grandes exploitations, on trouve assez fréquemment des successions céréales-jachère même sur sols profonds, de bonne qualité. Dans ce cas, la jachère peut être travaillée en vue de garder le sol propre et d'assurer un report d'eau d'une campagne à l'autre. Mais, le plus souvent, la jachère demeure une sole fourragère et sa présence sur de bons sols dans les grandes exploitations traduit, à la fois, le choix d'une certaine extensification et les difficultés qu'ont ces exploitations à pratiquer des cultures sarclées, exigeantes en main d'œuvre, sur de grandes surfaces. Pour bénéficier, cependant, des avantages de ces cultures, comme précédent aux céréales, certains grands exploitants, notamment en Chaouïa, louent pour un an une partie de leurs terres à des petits exploitants avec obligation d'y pratiquer une culture sarclée, une "bernicha" (El Hailouch, 1982).

En zone aride, du fait de la plus faible gamme des cultures possibles, les successions sont moins complexes et moins régulières. L'orge peut se succéder à lui-même, plus rarement le blé dur, jamais le blé tendre. Et l'on a assez fréquemment des successions paille sur paille. La jachère est importante, mais sa superficie fluctue sensiblement d'une année à l'autre en fonction de la date d'arrivée des pluies : plus elle est tardive, moins les agriculteurs ont de temps pour ensemer leurs terres et plus la jachère est étendue. Son rôle est également fourrager, mais l'existence plus fréquente de terrains de parcours en zone aride rend cette fonction moins essentielle qu'en zone semi-aride (Papy, Lelièvre, 1979).

Dans les deux zones, à proximité des exploitations, on trouve une succession plus ou moins continue d'orge fourragère appelée "aglass". Cette orge, semée tôt, généralement en sec, à forte densité (jusqu'à 2 qx/ha), bénéficie d'une bonne partie du fumier de l'exploitation, favorisant un tallage dense et une croissance précoce. Elle est destinée à être pâturée (déprimage) le plus tôt possible à l'automne, fournissant ainsi aux animaux le premier fourrage vert après la sécheresse estivale. Elle sera ensuite relayée, dans le calendrier fourrager, par la jachère.

## **1.2 - Des itinéraires techniques à dominante extensive**

Les itinéraires techniques pratiqués, c'est-à-dire les modes de conduite des cultures, ont tendance à se simplifier avec l'accentuation de l'aridité. Cette simplification s'explique par le souci, en zone aride, d'installer les cultures le plus précocement possible en réduisant les façons préparatoires au minimum, et d'alléger les frais de culture lorsque les aléas pluviométriques sont importants.

En plus de l'aridité, d'autres facteurs influent sur la diversité des itinéraires techniques comme le type d'exploitation, son degré de mécanisation ou la plus ou moins grande précocité des pluies, comme on peut le voir sur le tableau II.2.

Le recours au tracteur et à la mécanisation permet d'améliorer la préparation du sol, mais son principal avantage est de rendre possible une installation précoce des cultures grâce à un travail du sol plus rapide en début de saison effectué éventuellement en sec. Cet avantage est déterminant en zone aride, mais même en zone semi-aride, le raccourcissement de la période d'installation des cultures est important afin de valoriser au mieux les jours de travaux disponibles à l'automne et éviter en année pluvieuse un trop grand retard des semis.

D'une façon générale, la préparation des sols est assez sommaire. Une partie non négligeable des céréales est semée "sur le tapis", c'est-à-dire directement sur le sol non encore travaillé. C'est après le semis, pour enfouir les graines, créer un lit de semences et détruire les mauvaises herbes qui auraient déjà poussé, qu'aura lieu la première façon culturale, passage d'araire ou de petite charrue en culture attelée, de covercrop en culture mécanisée. Cette façon de faire est très fréquente en zone aride où, comme nous l'avons vu, la précocité du semis est particulièrement recherchée, mais elle est également assez courante en zone semi-aride après un précédent de type *bernicha* ayant laissé un sol ameubli.

La préparation du sol avant semis devient plus systématique après un précédent de type *hassida*, tel que la jachère pâturée qui laisse un sol tassé et riche en graines de mauvaises herbes. Elle est également plus fréquente en zone semi-aride où les semis des blés se font généralement après la deuxième pluie, à un moment où les mauvaises herbes ont déjà levé et où il est donc nécessaire de les détruire avant d'installer la culture.

L'aridité influe également sur les doses et les dates de semis pratiqués par les agriculteurs. En zone aride, les doses sont plus faibles afin d'adapter la densité du peuplement végétal aux disponibilités en eau plus réduites.

L'échelonnement des semis pratiqué en zone semi-aride où les orges à cycle court précèdent les blés dur et tendre à cycle plus long, paraît à première vue surprenant, car il accroît les risques de stress hydrique des blés en fin de cycle. L'analyse détaillée de l'ensemble des contraintes qui pèsent sur les décisions des agriculteurs concernant la conduite de leurs cultures et de leurs animaux, montre qu'une telle pratique est finalement cohérente par rapport à cet ensemble de contraintes (Jouve, Papy, 1983).

Tableau II.2 - Itinéraires techniques les plus fréquents pour la culture des céréales en zone semi-aride du Maroc occidental

Culture	Conditions de culture			Itinéraires techniques					Récolte	
	Zone	Exploitation	Régime des pluies	Précédent	Séquence d'installation	Semis dose kg/ha	Période	Fertilisation		Désherbage
Orge Fourragère	SA	V	V	Orge A jachère	0 - SV - Pch/A	150-200 120-130	Période (octobre)	Fumier	0	En partie ou totalité pâturée
	A	E <sub>1</sub> E <sub>2</sub> V	N " " V	Blé " Blé	Pch/A - SV - Pch/A CC - SV - CC 0 - SV - Pch/A/CC	80-120 " 80-90	Précoce (oct-nov.)	0 " 0	0 " 0	Déprimage et récolte à la faucille
Blé dur et Blé tendre	S.A.	E <sub>1</sub> " E <sub>2</sub> "	N " T	Bermicha Hassida	0 - SV - Pch/A Pch/A - SV - Pch/A 0 - SV - Pch/A	100-150 120-150	Saison (nov) tardif (déc)	0/engrais " "	manuel " "	Faucille " "
	A	E <sub>2</sub> " E <sub>3</sub> "	N " T	Bermicha Hassida	0 - SV - Pch/CC CC - SV - Pch/CC (H) 0 - SV - CC (H)	120-150 150	idem	engrais 1 à 1,5 q (14-28-14)	herbicide (2-4-0) " "	Faucille ou moissonneuse batteuse suivant la récolte
		E <sub>1</sub> E <sub>2</sub> E <sub>3</sub>	V " "	Bermicha Hassida (jachère)	CC - SV - CC Ch 3d/SP-CC-SV-CC(H) (printemps-été)	150-200 200	Saison (nov)	engrais 1,5 à 2 qx	idem	Moisson-bat.
		E <sub>1</sub> E <sub>2</sub> E <sub>3</sub>	N T N V	Hassida Hassida Hassida	A - SV - A 0 - SV - A A/CC - SV - A/CC 0 - SV - CC Ch 30/Chi-SV-CC (H)	80-120 " 80-120 100-120	oct-nov. déc-janv. idem nov.	0 " 0 0/engrais	Manuel " man/Heb. Herbicide	Faucille " Faucille/mois-bat. Moisson.batt.

Zone S.A. : semi-aride A : aride  
 Exploitation E1 : exploitation utilisant la traction attelée  
 E2 : Traction attelée + traction mécanique louée  
 E3 : traction mécanique possédée  
 V : indifférent  
 Régime des pluies N Normal avec 1° pluies en octobre  
 T tardif avec 1° pluies en décembre  
 Précédent Bermicha : légumineuses à graine, maïs ou jachère travaillée  
 Hassida : céréale ou jachère pâturée

Séquence technique PCH : petite charrue attelée A : araire  
 CH3D : charrue 3 disques, SP : stubble-plow, Chi : chisel  
 CC : cover-crop. H : herse  
 SV : semis à la volée  
 ex : 0 - SV - PCH/CC (H) = pas de préparation préalable au semis - celui-ci est fait à la volée - recouvrement à l'aide de la petite charrue attelée cas le plus fréquent ou du cover-crop - passage non systématique d'une herse.

Pour le reste de l'itinéraire technique, on retiendra que la fertilisation organique est limitée aux parcelles proches des exploitations et bénéficie surtout au maïs et à l'orge "aglass". Les engrais minéraux sont encore peu utilisés surtout en zone aride et l'emploi d'herbicide peu fréquent ; l'utilisation des jachères comme fourrage explique la réticence de certains agriculteurs à les utiliser sur les céréales en rotation avec une jachère.

### **1.3 - Modalités d'adaptation des systèmes de culture aux aléas climatiques**

Cette description rapide et assez schématique des systèmes de culture pratiqués par les agriculteurs des zones aride et semi-aride du Maroc occidental résulte d'enquêtes effectuées entre 1975 et 1981. Ces enquêtes ont été poursuivies dans les années 80 par une équipe de chercheurs de l'IAV Hassan II en vue, notamment, d'évaluer les coûts de production des céréales (Zagdouni et al., 1986). Leurs travaux montrent que si certains changements sont intervenus dans la proportion des cultures et les itinéraires pratiqués par les agriculteurs, ces changements correspondent plus à une évolution et une extension de certaines techniques (travail du sol en sec, utilisation d'herbicides, etc...) qu'à une modification radicale des systèmes de culture pratiqués auparavant. Par ailleurs, l'analyse des comportements des agriculteurs vis-à-vis des aléas climatiques et économiques confirme tout à fait les pratiques antialéatoires qu'avaient mises en évidence les enquêtes antérieures (Benatya et al., 1991).

Quelles sont ces pratiques ? A quels mécanismes d'adaptation et de régulation vis-à-vis des aléas correspondent-elles ? Quelles stratégies révèlent-elles de la part des agriculteurs ? Ce sont ces questions auxquelles nous allons essayer de répondre maintenant.

L'analyse des systèmes de culture adoptés en zones aride et semi-aride révèle, tout d'abord, un excellent savoir-faire des paysans en ce qui concerne l'adaptation des cultures et de leurs successions aux contraintes pédo-climatiques du milieu. La distribution des espèces à l'échelle régionale en fournit une bonne illustration, de même que l'utilisation très diversifiée des terroirs à l'échelle locale (El Hailouch, 1982). Cette diversité, en permettant de tamponner par les comportements différents des sols, les irrégularités de la pluviométrie, est délibérément recherchée. Cette recherche d'une minimisation des risques par une diversification des terrains de culture explique que, lors des partages successoraux, chaque héritier exige une portion des différents terrains de l'exploitation, de même qu'elle permet de comprendre les réticences des agriculteurs à tout remembrement de leurs parcelles qui leur ferait perdre le bénéfice de cette diversité.

Ces comportements qui attestent de la part des agriculteurs d'une bonne connaissance des interactions sol-climat-végétation, sont en contradiction avec

les plans de développement et les recommandations techniques uniformes ou donnant une priorité excessive à telle ou telle production, comme cela a été le cas ces dernières années avec le blé tendre.

Un autre enseignement que l'on peut tirer de l'analyse des pratiques des agriculteurs en matière d'adaptation de leurs cultures à l'aridité, c'est l'importance qu'ils accordent, particulièrement en zone aride, à la précocité des semis, et en même temps, la difficulté qu'ils ont à l'assurer. Ce constat que nous avons formulé lors d'une communication sur "les voies d'amélioration des rendements céréaliers en zones semi-aride et aride" (17) nous avait conduit à faire les commentaires suivants :

"Ce qui ressort avec le plus de netteté à la fois de l'expérience des agriculteurs et des résultats des expérimentations d'aridiculture, c'est l'importance capitale du placement du cycle cultural par rapport aux précipitations. D'une façon générale les semi précoces donnent de meilleurs rendements que les semis tardifs. Certaines années (1975, 1977) ces derniers peuvent même aboutir à des rendements nuls.

On comprend aisément que, compte tenu de la brièveté de la saison pluvieuse et de la fréquence élevée des sécheresses de printemps, il soit avantageux de faire coïncider le cycle cultural avec la période pluvieuse. On limite ainsi le déficit hydrique en fin de cycle qui peut compromettre la formation des épis. On réduit les pertes par évaporation directe du sol en début de période pluvieuse, enfin on diminue les risques d'échaudage dûs au *chergui* qui sont d'autant plus élevés que le cycle cultural est tardif.

Une question se pose alors : si les semis précoces sont si bénéfiques pour les rendements, pourquoi sont-ils si peu pratiqués par les agriculteurs ? Pourquoi voit-on des céréales semées plus de deux mois après le début des pluies :?

Deux causes essentielles expliquent ce retard des semis : d'une part, la faible efficacité des attelages et le nombre limité de tracteurs entraînant un étalement des semis sur 1 à 2 mois, d'autre part, le souci des agriculteurs de détruire les mauvaises herbes avant l'installation des blés, ce qui les amène à attendre la levée des adventices avant d'installer leur culture.

A vrai dire, ce décalage entre l'arrivée des pluies et le semis des blés n'est pas totalement perdu puisqu'il est souvent mis à profit pour semer les orges moins vulnérables à la concurrence des mauvaises herbes.

Ce semis plus précoce des orges par rapport aux blés explique en partie que, contrairement à la zone sub-humide, les orges soient généralement plus productives que les blés en zones arides. On trouve là une confirmation supplémentaire de l'intérêt des semis précoces. Cette pratique des agriculteurs d'attendre la levée des mauvaises herbes pour pouvoir les détruire avant l'installation des blés met aussi en évidence l'importance accordée à la lutte contre les adventices en même temps que la méconnaissance des possibilités offertes par les herbicides (ou la difficulté de s'en procurer).

Deux raisons concourent à rendre particulièrement dangereuse la concurrence des mauvaises herbes en zones semi-aride et aride ce sont, d'une part, les disponibilités limitées en eau, d'autre part, le stock élevé de graines d'adventices dans le sol du fait de l'absence ou de la rareté de plantes sarclées en rotation avec les jachères et de la pratique de la jachère fourragère.

Une autre caractéristique intéressante à souligner en ce qui concerne l'adaptation à l'aridité est la plurifonctionnalité de la plupart des cultures, spécialement des céréales dont la paille tout autant que le grain est recherchée par les agriculteurs. Cette plurifonctionnalité des productions végétales est un trait courant des systèmes de culture vivriers traditionnels, mais elle prend en zone aride une signification particulière dans la mesure où la complémentarité de ces fonctions permet d'atténuer les effets du déficit hydrique. Ainsi, en ce qui concerne les céréales, le rapport paille/grain est très variable suivant la pluviométrie de l'année. En année sèche, la production de grain pourra être quasi nulle mais l'exploitation de la paille comme fourrage permettra d'atténuer le manque à gagner dû à la sécheresse. C'est pour conserver cette possibilité que les agriculteurs des zones arides sont peu enclins à adopter les variétés améliorées à paille courte (Ouattar et al., 1989).

Cette plurifonctionnalité des céréales, sorte d'assurance contre les aléas pluviométriques, présente cependant des inconvénients sur le plan de la conduite des cultures et de leur productivité au point que l'on a pu se demander s'il ne serait pas souhaitable de mieux dissocier dans la culture des céréales la fonction production de grain de la fonction fourragère (Papy et al., 1979).

A vrai dire, un tel débat peut être élargi à l'utilisation des terres. En effet, l'extension des céréales en zones arides par suite de l'accroissement de la pression foncière et du recours grandissant à la mécanisation, s'est faite au détriment des parcours. Or, la question reste posée de savoir si ceux-ci ne sont pas mieux adaptés, économiquement et écologiquement, que les céréales pour valoriser les milieux arides. C'est en fait la vocation de ces milieux qui est ainsi posée, mais il est difficile de revenir en arrière lorsque le tracteur a détruit les parcours et les formations végétales qui les constituaient.

Si l'analyse des systèmes de culture des zones semi-arides et arides marocaines met en évidence une bonne connaissance des contraintes pédo-climatiques de ces zones par les agriculteurs et l'adoption de pratiques d'adaptation assez complexes, elle montre aussi qu'ils subissent plus qu'ils ne surmontent ces contraintes. Les corrélations établies entre pluviométrie et rendement en zones arides (Papy, 1979) attestent de cette étroite dépendance de la production végétale au climat et en définitive de la faible "artificialisation" du milieu. La fréquence des semis directs, le nombre limité de façons culturales pour installer les cultures (moins de deux en moyenne par ha), la faiblesse ou l'absence de fertilisation minérale et de traitement phytosanitaire, attestent de

cette faible artificialisation. Si l'on considère les investissements en capital et en travail par unité de surface, force est de constater que l'on a affaire à un mode d'exploitation du milieu très extensif en zone aride, un peu moins en zone semi-aride. Quelles en sont les raisons ?

On peut évidemment évoquer le manque d'équipement de la majorité des exploitations agricoles de ces zones, la rareté du crédit, l'encadrement technique inadapté, les insuffisances de la recherche, bref le fait que pendant longtemps ces zones ne faisant pas partie du "Maroc utile" ont été défavorisées au profit des périmètres irrigués et du "bour favorable", c'est-à-dire des zones d'agriculture pluviale plus arrosées du Nord du pays. Mais ces raisons, pour réelles qu'elles soient, ne suffisent pas à expliquer les comportements des agriculteurs. En fait, il apparaît que dans les conditions de production très aléatoires des zones arides, leur stratégie de base consiste à minimiser les risques, en minimisant les coûts de production. Plutôt que de chercher à maîtriser les contraintes du milieu par des investissements en capital et en travail, ils cherchent, au contraire, à réduire ces investissements afin de limiter les conséquences d'un échec toujours possible de leurs cultures. Leur stratégie relève plus d'une logique de cueillette que de la recherche d'une productivité maximum de leur terre. Ils préfèrent la sécurité à l'obtention hypothétique de revenus élevés.

Ce comportement n'est pas seulement celui des petits exploitants que la précarité des moyens et la faiblesse des ressources permettraient de comprendre, mais c'est aussi celui de beaucoup de grands exploitants, en particulier de ceux qui ont adopté le système céréale-jachère, choisissant ainsi délibérément l'extensif afin de réduire les immobilisations en capital (équipement) nécessaires à une diversification de leur production. Une telle attitude se traduit par le fait que la productivité globale des terres possédées par ces grands exploitants évaluée en zone semi-aride (El Hailouch, 1982) s'est révélée être du même ordre (13 quintaux d'équivalent orge par ha) que celle des petits et moyens exploitants. Notons au passage qu'un tel résultat remet en cause la distinction couramment faite entre secteur moderne représenté par les grandes exploitations mécanisées et secteur traditionnel comprenant les petites et moyennes exploitations familiales.

Ce choix de l'extensif explique le faible niveau des rendements et le fait qu'ils n'aient guère progressé durant la période 1965-1985 (Jouve A.M., 1980). Cette situation est préoccupante dans un pays où la forte croissance démographique (2,6 % par an) a généré un déficit céréalier qui, depuis 1960, n'a cessé de croître pour atteindre près de 3 millions de tonnes par an dans les années 80. Situation d'autant plus préoccupante que près de la moitié des superficies cultivées en céréales au Maroc se trouvent en zones aride et semi-aride (2,5 millions d'hectares).

#### 1.4 - L'adaptation des systèmes de production

Les pratiques d'adaptation à l'aridité et aux aléas climatiques qui l'accompagnent ne se situent pas seulement au niveau des systèmes de culture mais elles concernent aussi le fonctionnement global des exploitations et de leur système de production. Parmi ces pratiques, il faut tout d'abord citer la diversité des productions. Ainsi, la possibilité de cultiver à la fois des cultures d'hiver (céréales, légumineuses) et des cultures de printemps (maïs) permet de s'adapter à l'irrégularité interannuelle des pluies en reportant, en cas d'arrivée tardive des pluies, une partie des semis d'automne, au printemps. De plus, cela permet d'échelonner les dépenses et les recettes ce qui facilite la gestion de la trésorerie des exploitations. Malheureusement, les possibilités de diversification des cultures se réduisent avec l'aridité.

Par contre, quelle que soit l'intensité de cette aridité, l'association de l'agriculture et de l'élevage est toujours possible et constitue un des principaux moyens dont disposent les agriculteurs pour faire face aux aléas climatiques et économiques. Le caractère antialéatoire de cette association résulte de différents mécanismes.

C'est tout d'abord grâce à l'élevage que l'on peut valoriser les sous-produits des cultures et, en année de sécheresse, compenser le manque à gagner dû à une médiocre récolte de grain. Par ailleurs, le bétail constitue une épargne et un capital sur pied qui peut être mobilisé en année de disette pour acheter des céréales et assurer les frais nécessaires à la mise en culture des terres lors de la campagne suivante. Inversement, en bonne année, son effectif pourra être augmenté et certains animaux engraisés pour la vente. L'élevage joue donc un rôle de tampon vis-à-vis des fluctuations de la production végétale. Lorsque, pour passer le cap de mauvaises années, les exploitants sont condamnés à recourir à la décapitalisation, c'est toujours par le bétail que celle-ci commence. Elle peut se poursuivre par la vente de terre, décapitalisation beaucoup plus lourde de conséquences car souvent irréversible et favorisant la concentration foncière. C'est pour éviter cette concentration que le gouvernement marocain a suspendu les transactions foncières durant les années de sécheresse.

Le stockage du grain dans les "matmoras" (greniers creusés dans le sol) était autrefois une pratique courante pour faire face aux caprices du climat et se prémunir contre les vols et les pillages. La monétarisation des échanges et le développement de l'économie marchande ont fait très largement régresser cette pratique ; désormais c'est le bétail qui assure cette fonction de "réserve" mobilisable en cas de mauvaises années.

Un autre avantage du bétail est sa mobilité qui autorise des pratiques "d'évitement" de la sécheresse par le transfert des animaux vers des zones non affectées par la sécheresse. La transhumance ovine, très pratiquée en zone aride, participe de cette stratégie.

L'adaptation des systèmes de production aux aléas climatiques se fait par la diversification non seulement des productions mais aussi des revenus. Les études de fonctionnement d'exploitations faites en Chaouïa (El Hailouch, 1982) ont montré que cette pratique était ancienne et concernait tous les types d'exploitation suivant des modalités différentes. Dans les petites exploitations, c'est la vente de la force de travail, soit sur place comme salarié ou "khammes", soit lors des migrations saisonnières qui assure les revenus complémentaires nécessaires à leur survie. Dans les moyennes, les activités annexes correspondent au petit commerce local et aux différents services (forgeron, menuisier, etc...) indispensables à la vie de toute communauté rurale. Quant aux grandes exploitations, elles complètent leurs revenus par des activités de travaux à façon, de transport ou de commerce de bétail. A ces activités annexes, il faut ajouter les revenus provenant de la migration prolongée d'un ou de plusieurs membres de la famille.

Le cumul de ces différentes sources de revenus est parfois supérieur à celui provenant de la production agricole proprement dite. Cette situation de plus en plus fréquente doit nous amener à ne plus considérer les seuls revenus agricoles dans les prévisions de reproduction des exploitations et à relativiser la notion de seuil de viabilité.

Enfin, peuvent être considérées comme pratiques contrealéatoires les différents contrats d'association concernant la terre et le bétail où le preneur rémunère le propriétaire du capital en fonction des résultats obtenus, et en lui donnant une part de la récolte ou du coût du troupeau. Cette forme d'indexation de la rémunération du capital emprunté est incontestablement un moyen d'atténuer les risques économiques dus aux aléas climatiques, d'où la réticence des paysans à louer la terre à prix fixe comme la loi normalement les y oblige.

Il est intéressant de noter que ces différentes pratiques contrealéatoires sont très similaires à celles enregistrées en Tunisie dans la région semi-aride de Zaghouan qui a fait l'objet d'une étude de la part de chercheurs de l'INRA de Tunisie et de l'INA Paris Grignon (Elloumi M. et al., 1981). Bien que cette région bénéficie d'une plus grande possibilité de diversification de la production grâce à l'irrigation et aux plantations fruitières, les comportements des agriculteurs face aux aléas climatiques ne sont pas sensiblement différents de ceux que nous avons notés au Maroc dans des régions situées dans le même étage bio-climatique, comme la Chaouïa. Cela tend à prouver qu'à l'échelle du Maghreb, la relative homogénéité des conditions de production en zones semi-aride et aride fait que les mécanismes d'adaptation et de régulation des systèmes de production aux aléas climatiques sont du même type.

## II - Pratiques et stratégies contrealéatoires au Sahel

### 2.1 - L'adaptation des systèmes de culture à l'aridité

La plupart des études récentes consacrées aux systèmes de culture sahéliens (Dugué, 1989 ; Garin, 1990 ; Le Gal, 1987 ; Milleville, 1991) mettent toutes l'accent sur l'évolution rapide de ces systèmes sous les effets combinés de la sécheresse, de la croissance démographique et des changements des politiques économiques et de développement rural.

Aussi est-il difficile, dans l'analyse des pratiques des agriculteurs qui déterminent le fonctionnement de leurs systèmes de culture, de dissocier ce qui relève de l'adaptation aux aléas climatiques des autres facteurs de transformation et d'évolution de ces systèmes. C'est pourtant ce que nous avons tenté de faire dans l'étude sur "l'évolution des systèmes de production sahéliens et leur adaptation à la sécheresse" (27). Dans cette étude, nous avons comparé les systèmes de cultures pratiqués dans six régions du Sahel ayant des caractéristiques pédo-climatiques relativement contrastées (cf. fig. I.2) et c'est précisément en mettant à profit la diversité de ces situations que nous avons pu identifier un certain nombre de pratiques antialéatoires spécifiques aux systèmes de culture sahéliens.

Notre étude a été orientée vers l'analyse des effets de la sécheresse. Mais on peut considérer que la péjoration des conditions climatiques due à la sécheresse a des effets comparables, sur les pratiques des agriculteurs, à l'accentuation de l'aridité suivant le gradient pluviométrique Sud-Nord, si bien que sans confondre les deux phénomènes, l'analyse des effets de l'un nous renseigne sur les conséquences de l'autre.

Les principales pratiques d'adaptation à l'aridité enregistrées à l'échelle des systèmes de culture sont les suivantes :

#### *a - Diversification des cultures et des terrains*

L'aridité comme la sécheresse réduit la gamme des cultures possibles. En particulier, l'accentuation de l'aridité se manifeste par un abandon des cultures d'origine soudanienne (maïs, coton, manioc), mais aussi par la régression des légumineuses ; de l'arachide d'abord puis du niébé, si bien que dans les régions les plus arides (Oudalan, Nord de Maradi) ou sévèrement frappées par la sécheresse, on note une simplification de l'assolement et une quasi-monoculture de céréales (mil, sorgho). Une telle évolution n'est pas sans conséquence sur

l'économie des unités de production dans la mesure où elle les prive des revenus monétaires procurés habituellement par des cultures de vente comme l'arachide ou le maïs. Ce sont alors les céréales qui sont commercialisées, ce qui accroît les problèmes de soudure alimentaire en hivernage.

En dépit de cette tendance à la simplification de l'assolement, la diversification des productions végétales est un objectif recherché par les agriculteurs. Pour cela, ils mettent à profit la diversité de leur milieu. Les sols sableux sont le domaine du mil, associé ou non à l'arachide au niébé et au sorgho. Sur les sols plus lourds, on trouvera de préférence du sorgho, de même que dans les bas-fonds qui peuvent aussi être cultivés en niébé, riz ou maraîchage suivant la nature de leur régime hydrologique.

Cette recherche d'une diversification des cultures de façon à mettre à profit les différents types de terrains cultivables et ainsi répartir les risques d'une pluviométrie irrégulière dans le temps et dans l'espace, se retrouve aussi dans le choix des variétés. Il est fréquent de rencontrer dans les villages plus de cinq variétés de sorgho ou de niébé se différenciant, entre autres, par leur précocité. Cette diversité du matériel végétal offre aux agriculteurs la possibilité de choisir la variété la plus adaptée au climat de l'année et en particulier à la plus ou moins grande précocité des pluies. Une telle diversité est un trait commun à beaucoup d'agricultures traditionnelles. Elle conduit à s'interroger sur la notion de "variété locale" utilisée comme référence dans les essais d'amélioration variétale. Par ailleurs, elle est antagoniste avec les recommandations des services de vulgarisation qui, le plus souvent, ne proposent aux agriculteurs qu'une seule variété améliorée par culture.

Les fluctuations pluviométriques conduisent non seulement les agriculteurs sahéliens à diversifier leurs terrains de culture mais aussi à modifier l'importance accordée à tel ou tel de ces terrains suivant la variation de la pluviométrie. Ainsi, dans certains villages de la région de Maradi, la pluviométrie favorable des années 50 a favorisé la mise en culture des sols "gueza". Par contre, les sécheresses des décennies suivantes ont provoqué un repli vers les sols "jigawa" plus sableux. Inversement, au Yatenga ou dans l'Oudalan, l'accentuation de l'aridité a entraîné la mise en culture des bas-fonds et des terrains bénéficiant d'un apport hydrique dû au ruissellement des impluviums amonts.



*7 - Semis direct de mil sur sol sableux (Sénégal)*



*8 - Semis du mil, avec semoir et traction attelée, dès les premières pluies en Pays Sérère au Sénégal*

### *b - Simplification du travail du sol*

Sauf dans le cas de la remise en culture d'une ancienne jachère dont le défrichage peut être relativement exigeant en travail, la préparation du sol est en général assez sommaire au Sahel, et l'on peut se demander pourquoi, en dépit des résultats de la recherche montrant l'intérêt agronomique du labour (Nicou et al., 1992) et des recommandations des services de vulgarisation, le travail du sol avant le semis est-il aussi rare en zone sahélienne ? Comment expliquer un tel état de fait ?

On peut, bien entendu, évoquer l'insuffisance des moyens de traction surtout quand la sécheresse a conduit les agriculteurs à vendre leurs attelages. Mais ce n'est pas la raison essentielle. Dans les sols sableux d'origine dunaire, les plus cultivés, il se trouve que la plupart des justifications agronomiques du labour sont absentes : la structure de ces sols se dégradant peu, sa régénération n'est pas une nécessité, il n'y a pas de résidus de culture ou de mauvaises herbes à enfouir en début de campagne, et l'usage d'engrais de fond est très limité. Il existe cependant, notamment dans les milieux cuirassés, des sols sablo-limoneux dont la structure se dégrade sous l'effet des pluies et du piétinement du sol par les animaux. Dans ce cas, le travail du sol préalable au semis apparaît tout à fait justifié. Or, même dans cette situation, le travail du sol préalable au semis est rarement pratiqué par les agriculteurs.

Parmi les raisons expliquant ce choix, il y en a une qui est déterminante : c'est le souci de ne pas retarder l'installation des cultures. En effet, la faiblesse des attelages et la cohésion des sols à l'état sec, nécessitent souvent d'attendre les premières pluies pour travailler les parcelles, ce qui entraîne un décalage important des semis. Face à l'alternative semis précoce sans préparation du sol ou travail du sol et semis plus tardif les agriculteurs choisissent, dans leur grande majorité, la deuxième solution, surtout dans les zones les plus arides.

Il y a cependant des exceptions qui, indirectement, confirment la logique des agriculteurs qui refusent le labour. La région de Kita au Mali est une de ces exceptions. C'est une région où la pluviométrie est relativement élevée et la saison des pluies suffisamment longue pour ne pas nécessiter de semis précoces. Les sols qui bénéficient du labour sont plutôt de texture sablo-limoneuse (Konou) et l'installation plus tardive des cultures sur ces sols rend nécessaire la destruction des mauvaises herbes avant le semis. Par ailleurs, grâce aux revenus provenant des cultures de vente (maïs), une partie des exploitations a pu s'équiper en traction attelée. Ce sont les mêmes raisons qui expliquent l'adoption à grande échelle du labour dans la zone de la CMDT au Mali-Sud.

Le cas du Pays Sérér est également intéressant car c'est une région où l'intérêt du labour a été clairement démontré par la recherche (Charreau et al., 1971) et où, grâce aux actions des structures de développement et aux revenus de l'arachide, la traction animale a été très largement adoptée (85 % des unités de

production la possède). Mais les agriculteurs, au lieu d'adopter la traction bovine qui leur était recommandée pour labourer leur terre, ont opté pour la traction équine plus rapide afin de semer et de sarcler plus tôt et plus vite leurs cultures. En faisant ce choix, ils ont montré où était pour eux la priorité et, résultat remarquable, ils ont réussi au cours des vingt dernières années, malgré la baisse de la pluviométrie, à augmenter leurs rendements (Garin, 1990).

En conclusion, il apparaît qu'au Sahel, le travail du sol préalable au semis n'est pas, pour les agriculteurs, une priorité et il n'est pas toujours une nécessité.

### *c - Précocité des semis*

Hormis dans des régions comme Kita, qui sont d'ailleurs plus soudaniennes que sahéliennes, la précocité des semis, spécialement du mil, est très recherchée au Sahel. Dès les premières pluies, fussent-elles en avril, les agriculteurs se hâtent de semer le plus de superficie possible, mobilisant pour cela toute la main d'œuvre disponible dans l'exploitation. La raison principale d'une telle pratique est la même qu'en zone aride marocaine, à savoir faire coïncider au mieux le cycle cultural et la période des pluies que les agriculteurs savent courte.

S'y ajoutent d'autres raisons, entre autres, le souci d'étaler la période de sarclage, période de pointe de travaux et d'étaler également les récoltes afin de réduire la période de soudure alimentaire. Le risque encouru avec des semis trop précoces est de devoir resemmer si le retour des pluies se fait trop attendre. Ce risque est élevé (27) et les resemis fréquents au Sahel, alors qu'ils sont exceptionnels au Maghreb. Cette différence de pratique s'explique par le faible investissement que représente le semis du mil : 1 à 2 jours de travail par ha, 3 à 5 kg de semence quand il en faut 80 au Maroc pour un semis d'orge. C'est aussi l'importance de la quantité semée (50 à 80 kg/ha) qui explique que l'installation de l'arachide ne se fait que lorsque la saison des pluies est bien installée et n'intervient donc qu'après le semis du mil.

Une autre pratique assez surprenante et spécifique aux régions sahéliennes où la pression foncière n'est pas trop forte, consiste à semer plus de surface en céréales (mil, sorgho) que l'on pourra en sarcler. Dans certaines régions (Dallol-Bosso) où existent une compétition pour la terre et des conflits fonciers, cette façon de faire peut s'expliquer par le souci de marquer par l'usage un droit de propriété précaire ou contesté, mais le plus souvent, il s'agit d'une pratique de nature contrealéatoire. Suivant la répartition des pluies, qui peut être très variable d'un endroit à l'autre (1), l'agriculteur choisira les parcelles où il va

---

(1) En 1991, la pluviométrie enregistrée par 5 pluviomètres sur le territoire d'un village de la région de Fillingué au Niger a varié de 240 mm à 500 mm.

mobiliser sa force de travail et celle de sa famille pour désherber ses cultures, le désherbage manuel représentant un investissement en travail 20 à 30 fois supérieur à celui du semis. Par cette pratique, les agriculteurs cherchent à valoriser leur force de travail plutôt que la terre, et il n'est pas surprenant de constater qu'elle est surtout adoptée dans les villages où la pression foncière n'est pas trop forte. Par ailleurs, l'abandon d'une parcelle n'est pas pour autant une perte économique totale pour l'agriculteur puisqu'il pourra, en fin de saison, la faire pâturer par ses animaux et lui faire jouer le rôle d'une jachère fourragère.

#### *d - L'association de cultures*

Celle-ci constitue également une pratique contrealéatoire très répandue au Sahel, du fait des nombreux avantages qu'elle présente : en associant sur le même champ, des espèces aux cycles de développement différents, on réduit les conséquences d'un stress hydrique durant la période de culture en faisant en sorte que la baisse de production de l'espèce la plus affectée par le stress puisse être partiellement compensée par le développement des autres espèces qui lui sont associées. Par ailleurs, cette pratique limite les attaques parasitaires (surtout sur niébé), réduit les charges en travail et peut améliorer la fertilité des sols lorsque des légumineuses (arachide, niébé) participent à l'association. Il en résulte que l'association des cultures se traduit assez souvent par une augmentation de la productivité de la terre et du travail (Institut du Sahel, 1975).

Le caractère contrealéatoire de cette pratique s'est trouvé confirmé par l'extension des cultures associées lors des périodes de sécheresse dans des régions comme le Yatenga ou Maradi.

L'association de cultures concerne principalement le mil, le sorgho, le niébé et l'arachide et peut prendre des formes très différentes. La proportion respective de chaque espèce, la structure et la densité du peuplement, varient en effet suivant les terrains, l'éloignement des parcelles et le climat de l'année. La mise en place des espèces est souvent échelonnée de même que la récolte.

On peut même trouver, associées au sein des mêmes poquets, plusieurs variétés d'une même espèce comme l'usage en a été noté au Guidimaka (Mauritanie). Ces différentes formes d'associations culturelles montrent clairement le souci des agriculteurs de tamponner la variabilité pluviométrique en cours de saison de culture par un développement échelonné et décalé des espèces cultivées. Il en résulte bien entendu un échelonnement de la maturation de la culture qui n'est pas gênant en culture manuelle, pour laquelle la récolte peut se faire de façon sélective lors de passages successifs.



9 - Association de culture : mil - niébé dans le département de Maradi au Niger



10 - Culture intensive du mil dans la première auréole des villages (Maradi, Niger)

Les bénéfiques potentiels d'une telle pratique sont tels que l'on peut se demander pourquoi elle n'est pas plus répandue. En fait, la culture associée n'est pas ou peu pratiquée dans deux situations bien précises :

- tout d'abord, dans des régions, comme l'Oudalan, où l'aridité est trop accusée pour permettre un développement significatif des légumineuses (arachide, niébé), c'est alors la monoculture de céréales qui prédomine : mil sur les sols sableux, sorgho sur les sols plus lourds ;
- ensuite, dans les régions où le développement de la traction attelée a permis la mécanisation des travaux cultureux, mécanisation peu compatible avec les associations de cultures. Il se trouve aussi que ce sont des régions où le climat, moins aride a permis le développement des cultures de rente et de la mécanisation et réduit l'intérêt contrealéatoire de la culture associée.

## 2.2 - Extensification ou intensification

A première vue, l'adaptation des systèmes de culture sahéliens à l'aridité et à la sécheresse semble se faire principalement par le choix de l'extensification dont témoignent la réduction de la gamme des cultures ou la simplification des itinéraires techniques. Comme au Maroc, il apparaît en effet que les agriculteurs du Sahel cherchent à minimiser les risques climatiques en réduisant les investissements en travail et en capital, allant, comme en Oudalan, jusqu'à les réduire au minimum en pratiquant la cueillette de Fonio sauvage (*Panicum laetum*) ou de bulbes de nénuphar (*Nymphaea lotus*) (Milleville, 1992).

Mais à y regarder de plus près, la réalité apparaît plus complexe par suite de l'interaction entre trois facteurs essentiels de la mise en valeur du milieu, à savoir : l'aridité, la densité d'occupation du sol et la nature des terrains.

Les situations qui en résultent sont relativement diversifiées du fait de la variation de ces facteurs aux différentes échelles d'espace et de temps et de la non correspondance, fréquente en Afrique sub-saharienne, de la densité de population et du potentiel agricole du milieu.

En effet, par suite des vicissitudes de l'histoire et des endémies, certaines zones potentiellement fertiles sont relativement peu occupées (Ouest-Sénégal, Sud-Est Mali) tandis que d'autres de fertilité plus médiocre sont densément peuplées (plateau Mossi). Ce degré très variable de saturation foncière génère des migrations de population (sorte d'ajustements spontanés, parfois conflictuels, de l'occupation de l'espace) et une dynamique des systèmes de production beaucoup plus rapide que celle que l'on constate dans des pays où la saturation de l'espace est plus homogène et plus ancienne comme au Maroc.

Il en résulte qu'au Sahel, l'extensif coexiste avec l'intensif (1) et cela à différentes échelles, que ce soit celle de la région, du village ou de l'unité de production.

A l'échelle régionale, l'étude que nous avons faite des agrosystèmes villageois du Département de Maradi (32) en fournit une bonne illustration. En effet, dans cette vaste région (38.500 km<sup>2</sup>), il se trouve que l'amplitude de variation des trois facteurs qui déterminent les modes d'exploitation du milieu est particulièrement accusée: la pluviométrie varie de 650 mm au Sud à 350 mm au Nord, c'est-à-dire que l'on va de l'étage soudanien, à la limite nord des cultures dans l'étage sahélien, la densité de population varie de 10 à 100 hab/km<sup>2</sup>; enfin, on trouve à la fois des sols dunaires très sableux (jigawa), des sols sablo-limoneux (gueza) et des bas-fonds (fadama).

La typologie des agrosystèmes que nous avons établie dans cette région montre très clairement que l'intensification de l'exploitation du milieu est très étroitement liée à la densité de population et que celle-ci varie suivant l'aridité du climat, mais aussi le type de terrains, les sols sableux dunaires du fait de leur bon comportement hydrique (cf. première partie) étant les plus anciennement, les plus intensément colonisés. Cette étude est en assez bonne conformité avec la thèse d'Ester Roserup qui lie l'intensification à la densité de population. En effet, au fur et à mesure que la pression foncière augmente, on assiste à toute une série de transformations de l'exploitation du milieu qui vont dans le sens de l'intensification : structuration de l'espace, intégration de l'agriculture et de l'élevage, modification de la gestion de la fertilité des sols (34) , protection voire plantation de ligneux, mise en valeur des bas-fonds et début de clôture des champs. Il se trouve que les analyses de M. Mortimore sur l'effet de la densité de population sur les modes d'exploitation du milieu au Nord-Nigéria prolongent très opportunément les analyses faites à Maradi dans la mesure où elles concernent des zones semi-arides de densité allant de 100 à 350 hab/km<sup>2</sup>. Elles montrent que l'augmentation de la densité de population s'est accompagnée, et a été permise, par une forte intensification des systèmes de production, évolution qu'il a décrite de façon détaillée dans son livre "Adapting to drought, farmers, famines an desertification in West Africa".

Ces différentes études montrent qu'en ce qui concerne le Sahel, et d'une façon plus générale dans toute l'Afrique sub-saharienne, la densité de population est un déterminant essentiel de la dynamique des modes d'exploitation du milieu à l'échelle régionale et que l'étude de cette dynamique en terme de système agraire fournit une clé de lecture particulièrement pertinente pour évaluer les possibilités et les nécessités de l'intensification agricole et juger de la propension des populations à s'engager dans des projets visant cette intensification(26) .

---

(1) Intensif apprécié à la fois par un investissement capital-travail plus important à l'hectare mais aussi par une productivité plus élevée de la terre.

A l'échelle des territoires villageois, on note également dans de nombreuses régions sahéniennes la coexistence de l'extensif et de l'intensif. La forme que prend cette coexistence est différente suivant les deux grands types de milieu, dunaire et cuirassé, distingués précédemment.

Dans les milieux dunaire, comme à Maradi, l'espace cultivé à l'échelle du village est structuré en auréoles concentriques par rapport au lieu d'habitation. A proximité de celui-ci, les premières auréoles sont cultivées de façon intensive : semis à forte densité, sarclages précoces et fréquents, bon entretien de la fertilité du sol par l'apport de fumier, de résidus de case et grâce au parage.

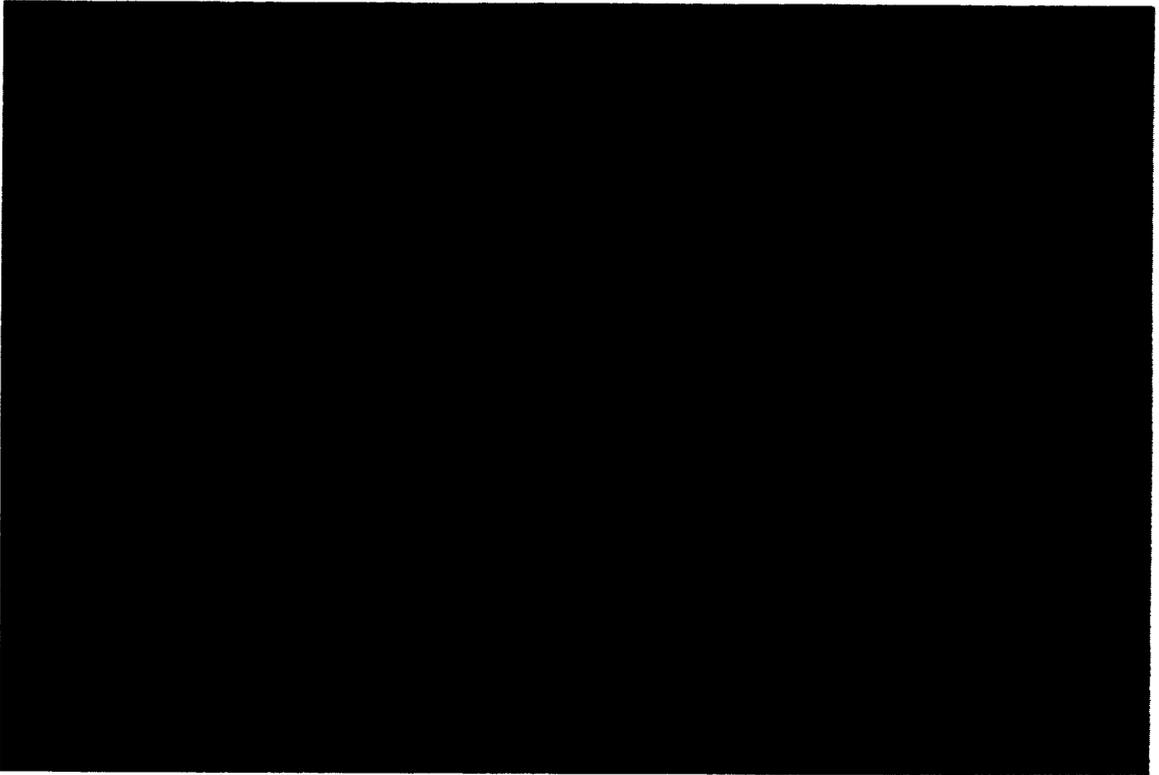
A l'inverse, la culture est extensive dans les auréoles les plus éloignées et en particulier les sarclages sont nettement moins soignés. C'est généralement dans ces auréoles que l'on trouve des champs abandonnés faute de temps pour les sarcler.

En définitive, dans ce type de situation, c'est l'éloignement plus que les différences de terrain qui constitue le facteur essentiel de structuration de l'espace et de différenciation des systèmes de culture au sein du territoire villageois (34). Les systèmes intensifs sont près des habitations, les systèmes extensifs en sont éloignés.

Dans une étude faite à Maradi (Doumoro, 1987), nous avons pu vérifier que c'était l'éloignement des parcelles qui était le facteur le plus discriminant de la variabilité des rendements, confirmant ainsi des observations faites antérieurement dans la même région (Raynaud, 1980).

Cette structuration en auréoles et le caractère plus ou moins contrasté entre extensif et intensif varie dans les milieux dunaire suivant la densité d'occupation du sol. Elle est peu marquée là où la densité de population est faible (10 à 20 hab/km<sup>2</sup>), l'exploitation du sol étant plus anarchique et globalement extensive, même près des habitations. De même, cette différenciation est moins nette dans les zones d'occupation ancienne à forte densité de population (> 80 hab/km<sup>2</sup>), la saturation foncière ayant en grande partie homogénéisé les modes d'exploitation du milieu et les systèmes de culture (Garin et al., 1990).

Cette coexistence au sein des villages, de cultures intensives évoluant, progressivement, avec l'éloignement, vers des cultures extensives, est riche d'enseignements en matière de développement agricole. Elle montre, tout d'abord, que les agriculteurs sahéniens connaissent des techniques d'intensification et savent les mettre en œuvre. Les systèmes de culture qui en résultent sont reproductibles (sustainable) et sont souvent des systèmes de culture continue montrant que la jachère, si elle est utile, n'est pas une nécessité, ni une fatalité en Afrique de l'Ouest comme certains ont pu le penser (36).



11 - *Structuration auréolaire des territoires villageois à Maradi. Extension de la zone de culture au détriment des brousses périphériques*



12 - *Partie centrale d'un village à Maradi. Zone d'habitation et première auréole.*

En outre, l'analyse des conditions permettant cette culture intensive nous renseigne sur les contraintes à surmonter pour étendre, sur de plus grandes surfaces, ces pratiques intensives. Ces contraintes sont de deux types : tout d'abord, la disponibilité limitée en main d'œuvre et surtout sa faible productivité en agriculture manuelle, ensuite les difficultés d'assurer une gestion de la fertilité comparable à celle des champs de première auréole par manque de fertilisants organiques et minéraux. L'identification de ces contraintes indique clairement les priorités à adopter en matière d'intensification agricole (32).

Ceci étant, le passage à l'intensif n'est pas automatique dans la mesure où, nous l'avons vu, l'extensif est une stratégie délibérée face aux aléas climatiques, de même que la coexistence de l'extensif et de l'intensif.

Par ailleurs, l'acquisition des moyens permettant l'amélioration de la productivité du travail (traction attelée) et de la fertilisation des terres (engrais, élevage) suppose un surplus monétaire difficile à obtenir en zone aride sahélienne par suite du recul des cultures de vente (arachide principalement) et de la diminution des ventes de bétail sahéliens vers les pays côtiers.

En zone cuirassée, on retrouve aussi cette dualité au sein des villages entre extensif et intensif. On trouve l'intensif dans les bas-fonds mis en valeur, et les terrains de bas de glacis où sont localisées habituellement les habitations. Le domaine de la culture extensive quant à lui se situe sur les haut-glacis, éventuellement sur les plateaux.

Si la différence de terrain suivant la toposéquence détermine la répartition entre extensif et intensif dans ce type de milieu, l'éloignement y contribue également. En effet, comme dans les milieux dunaires, l'éloignement signifie l'allongement du temps de déplacement donc du temps de culture, la difficulté d'assurer une bonne surveillance des champs vis-à-vis des divagations d'animaux et prédateurs de toute sorte et l'accentuation des problèmes de transport (fumier, récolte). On a là une contrainte forte de l'agriculture sahélienne que la traction animale n'a que très localement atténuée (27).

A l'échelle des unités de production, et compte tenu de la propension des agriculteurs à avoir des champs répartis sur les différents terrains et auréoles du village, on va retrouver cette coexistence entre l'extensif et l'intensif. Cependant, on note généralement une plus grande concentration des champs des lignages dominants et des vieux à proximité des lieux d'habitation, tandis que les jeunes et les nouveaux arrivants cultivent des parcelles plus éloignées. A cette différenciation sociale correspond aussi une différenciation en moyens de production (force de travail, équipement, fumure organique) qui peut accentuer l'effet de l'éloignement sur le caractère plus ou moins extensif de l'exploitation des terres.

Finalement, la question qui se pose lorsqu'on étudie la diversité et l'évolution des systèmes de production sahéliens en fonction de l'aridité et de la densité de population, est de savoir si l'accroissement de cette densité conduit inexorablement à une crise de ces systèmes par suite d'une surexploitation du milieu entraînant sa dégradation et la baisse de sa productivité ou si, au contraire, cet accroissement va susciter de nouveaux comportements, de nouveaux modes d'exploitation du milieu accroissant sa productivité.

Le premier scénario que nous qualifierons de pessimiste est celui qui est le plus fréquemment formulé. Il correspond effectivement à un certain nombre de situations que l'on peut observer sur le terrain (Dugué 1989, Raynaut 1980) résumées dans le schéma général ci-joint (fig. II.1).

Mais le pire n'est jamais sur, même au Sahel. Dans des régions aux potentialités limitées et à forte densité de population (Pays Dogon au Mali, Nord-Ouest du Cameroun), des sociétés rurales sahéliennes ont su, par leurs propres moyens, élaborer des systèmes intensifs et durables montrant que la notion de saturation foncière, leitmotiv du scénario pessimiste, est une notion éminemment relative.

Ces exemples rejoignent les analyses faites par Mortimore au Nord du Nigéria montrant que les populations Haoussa de la région de Kano ont su trouver les voies et moyens d'une intensification agricole de leur terre permettant des densités de population supérieures à 300 hab/km<sup>2</sup>. Ces situations, conformément à la théorie de Boserup, représentent-elles la voie d'avenir de l'agriculture sahélienne ou est-ce le scénario pessimiste qui prévaudra ? Question à laquelle il est bien difficile de répondre.

La coexistence de l'extensif et de l'intensif à toutes les échelles d'exploitation du milieu manifeste déjà que certaines modalités de l'intensification sont connues des agriculteurs. Elle montre aussi que si la densité de population est une condition nécessaire, elle n'est pas suffisante. Nous avons vu que cette intensification demande des moyens matériels et financiers afin d'accroître la productivité du travail et de la terre. Elle nécessite aussi, comme a pu le montrer le formidable accroissement de la productivité agricole au sein de la CEE, des débouchés garantis et rémunérateurs pour les produits agricoles. Au Nord-Nigéria, l'existence de transferts économiques ville-campagne, la possibilité de produire des cultures de rente (légumineuses, maïs, maraîchage) et de les commercialiser sans difficulté ont permis l'accumulation nécessaire à l'intensification. Ces possibilités et opportunités existent-elles dans l'ensemble du Sahel ? C'est moins sûr.

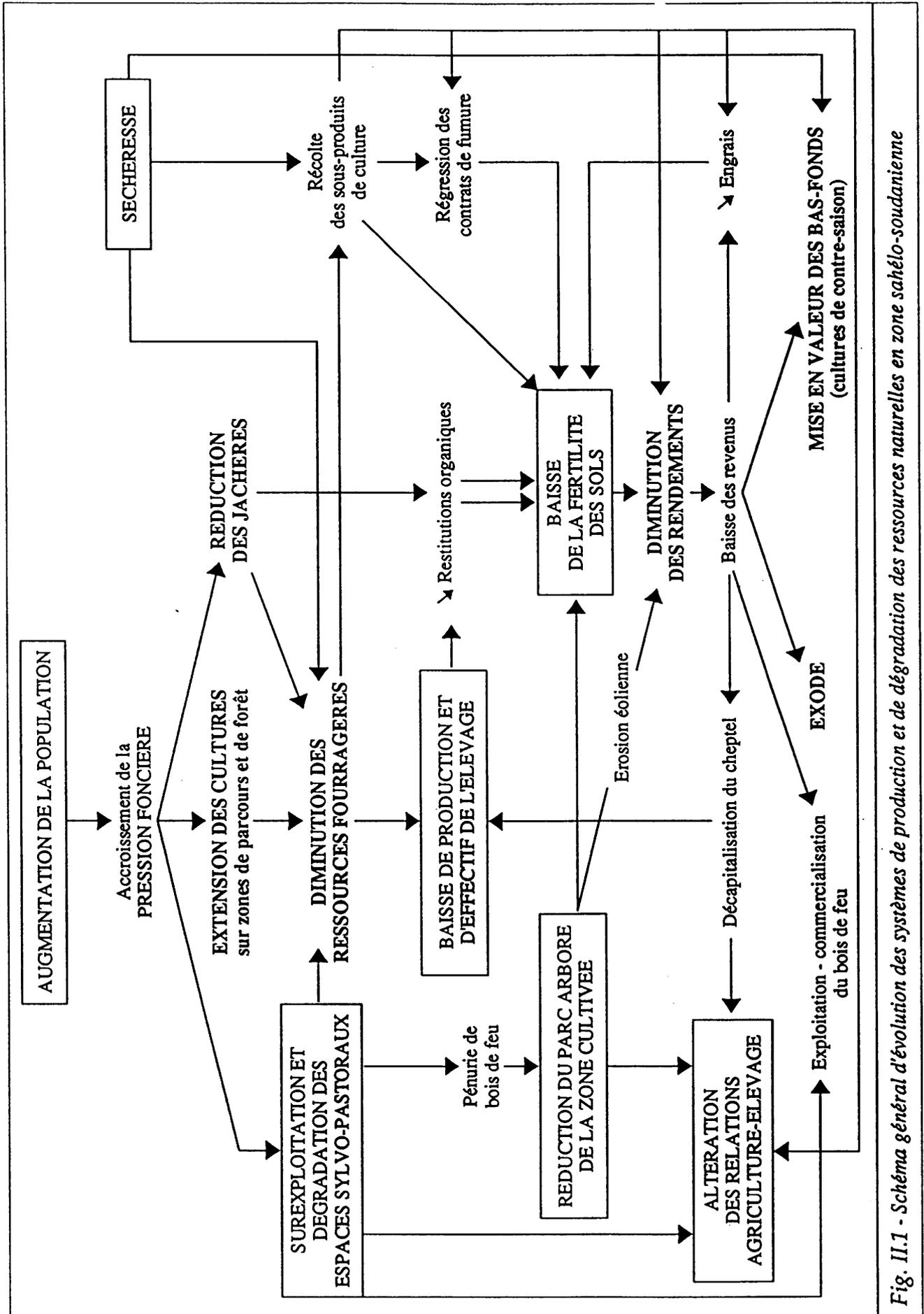


Fig. II.1 - Schéma général d'évolution des systèmes de production et de dégradation des ressources naturelles en zone sahélo-soudanienne

En définitive, on peut penser que le scénario pessimiste correspond à une phase de transition où la rapidité de croissance de la population et la faiblesse des moyens matériels, technologiques et financiers dont disposent les sociétés rurales sahéniennes ne leur ont pas permis de modifier suffisamment vite leurs systèmes de production et d'adopter de nouveaux modes d'exploitation du milieu plus productifs, plus respectueux de l'environnement.

Cette phase de transition va-t-elle déboucher sur une intensification durable ou sur une dégradation généralisée du milieu et de ses ressources ? La première condition de l'intensification, à savoir la densité de population, est en voie d'être satisfaite dans de nombreuses régions du Sahel. Reste à satisfaire les autres et en particulier la capacité pour les régions concernées de générer un surplus pour financer les moyens nécessaires à l'intensification (équipement, fertilisants, etc...). Cette condition ne dépend malheureusement pas des seules possibilités des communautés rurales mais aussi et surtout des politiques de prix et de marché qui seront adoptées dans les pays de la région et qui sont fortement dépendantes des institutions financières internationales.

### **2.3 - Stratégies d'adaptation aux aléas climatiques : diversité, mobilité, pluriactivité**

L'analyse des pratiques des agriculteurs sahéniens permet de mettre en évidence des stratégies générales d'adaptation à l'aridité et aux aléas climatiques. Plus qu'à des choix délibérés, prévus à l'avance, cette notion de stratégie correspond à des comportements assez globaux qui caractérisent les façons dont les populations sahéniennes réagissent à l'aléa. L'étude comparative des systèmes de production sahéniens (27) nous a permis de mettre en évidence ces stratégies et de les décrire dans un article intitulé "Sécheresse au Sahel et stratégies paysannes" reproduit en annexe (28).

Aussi, nous nous limiterons à les rappeler brièvement, d'autant plus que certaines d'entre elles relèvent de mécanismes contrealéatoires déjà décrits pour le Maghreb.

"Diversification et mobilité constituent les caractéristiques essentielles de la stratégie des agriculteurs du Sahel en vue de réduire les effets néfastes des aléas climatiques mais aussi économiques et politiques inhérents à la région".

La diversification se manifeste, nous l'avons vu, au niveau de la conduite des cultures par une valorisation de la diversité du matériel végétal (variétés et espèces) et des terrains qui se traduit par une diversité de systèmes de culture. Ainsi, à l'échelle des territoires villagés, on trouve associées culture continue

intensive avec culture extensive et jachère longue, cultures pluviales et cultures de contre-saison, cultures de bas-fonds et cultures de plateau, etc...

L'association de l'agriculture et de l'élevage, comme au Maghreb, offre également des possibilités de diversification de l'exploitation du milieu par la valorisation des zones non cultivées (parcours, bas-fonds) et de diversification des revenus. Bien que l'élevage au Sahel ait été tout autant frappé par la sécheresse que les cultures, et parfois de façon plus durable, son association à l'agriculture constitue un moyen privilégié pour tamponner les aléas climatiques. Cependant, les modalités de cette association sont différentes de celles du Maghreb dans la mesure où traditionnellement au Sahel, les fonctions d'éleveurs et d'agriculteurs ont été assurées par des groupes ethniques différents ceux-ci ayant cependant de fortes relations de dépendance et de complémentarité (27). Un des effets de la sécheresse a été de provoquer un changement dans ces relations, changement que l'on peut résumer en disant que "les agriculteurs ont tendance à devenir éleveurs, tandis que les éleveurs ont été contraints de devenir agriculteurs".

Cette évolution est lourde de conséquences, positives et négatives, pour le fonctionnement des exploitations agricoles et plus généralement pour la reproduction du système agraire régional (28).

La diversification des revenus se fait aussi par l'exploitation directe des ressources naturelles et en particulier du bois de feu, pratique couramment utilisée au Sahel pour compléter les revenus provenant des cultures et des animaux. En période de disette, cette exploitation du bois est plus intensive et peut compromettre le renouvellement des ressources ligneuses.

Ce renouvellement est également menacé par une exploitation minière des formations forestières par des exploitants d'origine citadine, peu soucieux de la conservation de la ressource et cela en dépit des réglementations édictées mais généralement peu respectées. Par contre, l'organisation de l'exploitation de cette ressource par et au profit des communautés villageoises peut non seulement garantir son renouvellement, mais encore fournir des revenus monétaires aux agriculteurs, revenus qui peuvent générer une dynamique nouvelle de tout leur système de production comme on a pu le constater au Niger dans le cas du Projet de Gestion des Terroirs de Filingué (Seydou, 1991).

En plus de cette exploitation des ressources naturelles, la diversification des revenus est, comme au Maghreb, recherchée dans l'exercice d'activités commerciales et artisanales. Mais c'est surtout par l'exode saisonnier ou de longue durée que les populations rurales sahéliennes ont jusqu'ici complété leurs revenus. La crise économique, les troubles politiques qui frappent nombre

de pays africains et les limitations drastiques des migrations vers l'Europe ont réduit cette source de revenus.

Il n'en reste pas moins que la mobilité, celle des hommes, mais aussi des troupeaux et des cultures, demeure un des traits dominants des stratégies d'adaptation aux aléas climatiques au Sahel.

Du fait du fort gradient d'aridité Nord-Sud, de l'existence de solidarités ou de complémentarités ethniques tout au long de ce gradient (les Haoussa du Niger et du Nigéria en fournissent un bon exemple) et surtout de l'inégale saturation foncière à l'échelle régionale, la mobilité au Sahel est beaucoup plus importante qu'au Maghreb. C'est elle notamment qui a permis de limiter sensiblement les effets de la sécheresse de 83-84 qui était pourtant une des plus sévères que la région ait connue depuis le début du siècle.

Mais ces stratégies d'adaptation aux aléas sont à analyser dans le cadre de la dynamique générale des sociétés rurales sahéliennes marquée, entre autres, par une individualisation des comportements et un affaiblissement des solidarités traditionnelles, solidarités qui, avec la mobilité, avaient réussi à limiter les effets des aléas climatiques et de la sécheresse (28).

*La connaissance scientifique est toujours  
la réforme d'une illusion*

Bachelard

---

TROISIEME PARTIE

**STRATEGIES DE LUTTE CONTRE L'ARIDITE  
VOIES ET MOYENS D'AMELIORATION DE  
L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES CULTURES**

---



## Introduction

L'analyse des pratiques des agriculteurs confrontés à l'aridité nous a montré tout le savoir-faire et l'expérience qu'ils ont accumulés pour s'adapter aux conséquences d'une pluviométrie limitée et aléatoire. En dépit de cette expérience, l'aridité demeure une contrainte forte, plus contournée que surmontée, et qui constitue un handicap majeur au développement agricole du Maghreb comme du Sahel.

Aussi est-il intéressant de s'interroger sur ce que la science et la technologie peuvent apporter pour réduire cet handicap. Si l'on se réfère à la définition "senso strictu" de l'aridité caractérisée comme un déficit pluviométrique par rapport aux besoins en eau de la végétation naturelle et cultivée, la lutte contre l'aridité va avoir pour premier objectif de limiter ce déficit et d'en atténuer les effets sur la production végétale. En tant qu'agronome, notre contribution à ce type de recherche a évidemment concerné surtout la végétation cultivée.

Pour améliorer l'alimentation hydrique des cultures en zones arides, il existe deux grandes voies :

- soit, en culture pluviale, valoriser au mieux les précipitations en cherchant à maximiser la production utile par rapport à la quantité d'eau disponible.
- soit recourir à l'irrigation afin de compenser, partiellement ou totalement, le déficit hydrique des cultures.

Notre itinéraire professionnel nous a donné l'occasion d'explorer ces deux grandes voies de lutte contre l'aridité au Maghreb et au Sahel. Cela nous a conduit à étudier des situations et des problématiques relativement diversifiées mais que nous pouvons ordonner et résumer autour des questions suivantes :

- quels sont les moyens les plus appropriés pour améliorer l'alimentation hydrique des cultures pluviales ? Quelles stratégies peut-on proposer pour cela, en fonction de la spécificité de chaque grand type de situation agro-écologique au Maghreb et au Sahel ?
- pourquoi, au cours des dernières décennies, l'irrigation s'est-elle rapidement développée au Maroc alors qu'au Sahel et plus généralement en Afrique sub-saharienne, le recours à l'irrigation s'est avéré très problématique et a conduit à plus d'échecs que de réussites ? En d'autres termes, à partir de l'analyse comparée de ces deux régions, quelles sont les conditions qui permettent la réussite de l'irrigation comme moyen de lutte contre l'aridité et instrument d'intensification agricole ?

## I - Amélioration culturale et amélioration variétale

Ces deux types d'amélioration peuvent concourir à une meilleure valorisation des eaux de pluie mais, avant de voir leur rôle respectif dans les stratégies d'adaptation des systèmes de culture à l'aridité, il nous paraît utile d'examiner leurs relations réciproques et de dissiper certaines illusions concernant, notamment, l'amélioration variétale.

En effet, dans la présentation qui est habituellement faite au grand public des possibilités d'amélioration des rendements et aussi dans l'esprit de beaucoup de "décideurs", l'amélioration variétale apparaît comme la voie royale en même temps que le symbole de l'intensification agricole. L'impact médiatique de la "révolution verte" et la renommée internationale de certains de ses initiateurs dont le Prix Nobel, N. Borlaug, ne sont pas étrangers à cette façon de considérer le progrès agricole. Pourtant, la réalité est toute autre, ce qui conduit à se demander:

- pourquoi l'amélioration variétale dispose-t-elle d'un tel crédit (au propre comme au figuré) auprès du public, des décideurs mais aussi dans les institutions de recherche agronomique ?
- quelle est son efficacité réelle dans l'amélioration des rendements ?

La réponse à la première question est probablement à rechercher dans la propension à extrapoler, sans précautions suffisantes, les résultats obtenus par la recherche en station. Dans certains programmes de vulgarisation ou de développement agricole, on attend de l'adoption des variétés sélectionnées par les paysans un accroissement de rendement comparable à celui enregistré en station. Certes, même les moins agronomes des responsables de ces programmes sont conscients de ce que les choses ne se passent pas tout à fait comme cela, mais feignent de le croire lorsqu'ils assimilent intensification et utilisation de variétés sélectionnées.

Quant aux institutions de recherche, spécialement celles à vocation régionale ou internationale, si elles accordent tant de crédits à l'amélioration variétale, c'est peut-être parce que celle-ci, à la différence des améliorations culturales, débouche sur des produits concrets, labellisables, éventuellement commercialisables et donc plus gratifiants pour les chercheurs et leurs institutions.

Mais la question principale est celle de l'efficacité réelle de l'amélioration variétale. Question difficile et largement débattue. La remarquable synthèse faite par P.J. Matlon (1985) du programme d'amélioration du sorgho et du mil réalisé par l'ICRISAT <sup>(1)</sup> au Burkina Faso apporte à cette question des éléments de réponse d'autant plus intéressants qu'ils ont une portée assez générale.

---

(1) ICRISAT : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

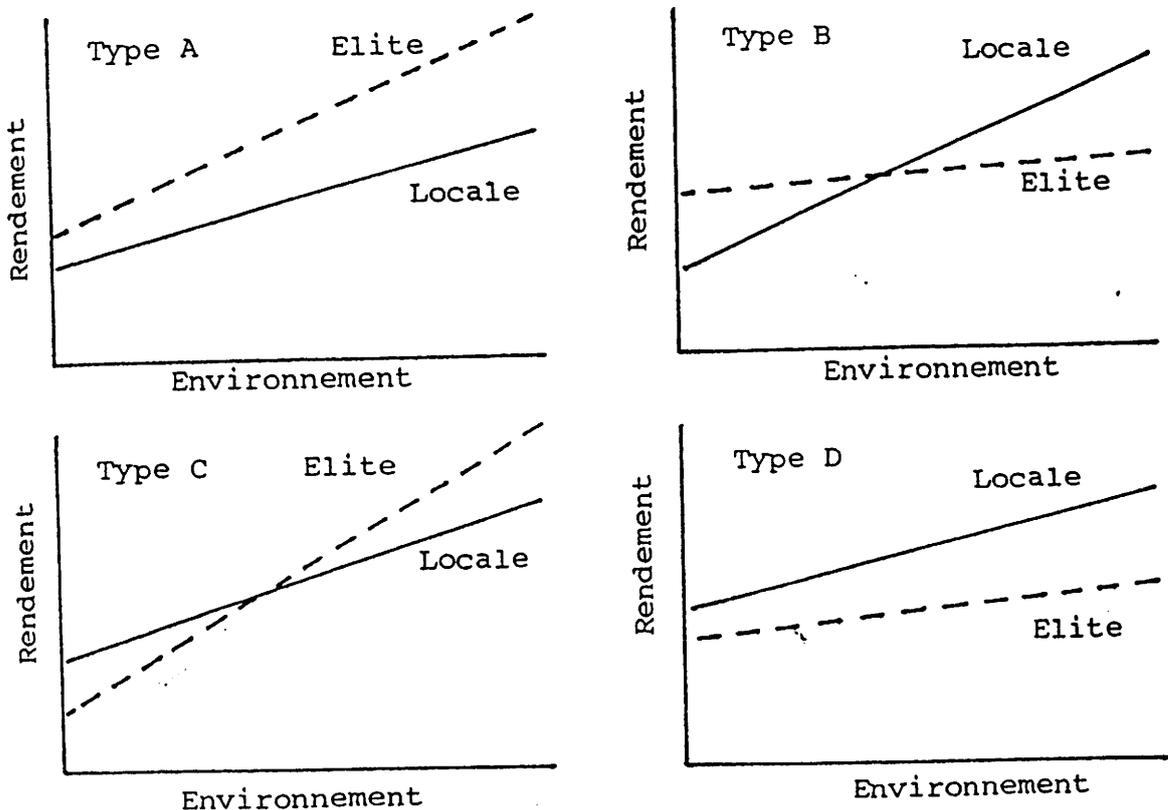
Matlon rappelle tout d'abord que la réussite de la "révolution verte" dans les zones semi-arides d'Asie, par l'introduction de variétés sélectionnées de riz et de blé, a été obtenue dans des conditions de milieu physique et d'environnement économique, ainsi que dans des systèmes de production, très différents de ceux existant en Afrique de l'Ouest. En particulier, les variétés à haut rendement n'ont exprimé leur potentiel qu'avec des quantités importantes d'engrais et grâce au recours à l'irrigation favorisant leur adoption surtout par les grandes exploitations.

Il souligne la nécessité de sélectionner les variétés en fonction des différents types de milieu et de systèmes de culture et note à ce sujet qu'en Afrique de l'Ouest, "l'objectif des paysans consiste à réduire le risque global de production en exploitant les micro-variabilités des types de sol. Cette variabilité est liée tant à la disposition sur les toposéquences qu'à la distance des lieux d'habitation et à la disponibilité en matière organique... Il en résulte qu'on rencontre une grande diversité de systèmes de culture à faibles intrants basés sur le sorgho et le mil, même au sein d'une même zone agro-climatique".

L'écart entre les rendements en station et ceux obtenus en milieu paysan se situe entre 40 à 60 %, traduisant des différences de milieu physique et de techniques importantes.

Pour mieux évaluer le comportement respectif des variétés sélectionnées et des variétés locales, P.J. Matlon a comparé leurs performances suivant différentes conditions "d'environnement", c'est-à-dire de milieu physique et de techniques. Quatre types de relations peuvent être observés (Figure III.1 ci-après).

Figure III.1 - Quatre relations de stabilité entre cultivars élites et locaux à travers divers environnements



Il apparaît que dans la majorité des cas, ce sont les relations de type C ou D qui dominent, c'est-à-dire que dans des conditions environnementales défavorables correspondant aux conditions de culture en milieu paysan, les variétés sélectionnées sont moins performantes que les variétés locales. Ce résultat explique que *"sur les 7000 introductions de sorgho criblés par l'ICRISAT au Burkina, seules deux variétés se sont montrées généralement supérieures dans les conditions paysannes ; sur quelques 3000 entrées de mil criblés, aucune variété n'a été trouvée supérieure (aux variétés locales) au niveau du champ"*.

A partir d'un tel bilan plusieurs recommandations sont formulées :

- ne plus avoir comme objectif prioritaire à la sélection variétale, la recherche de rendements élevés dans des conditions de bon environnement, mais rechercher plutôt une adaptation aux conditions réelles de culture (précocité, résistance aux maladies, vigueur au stade plantule, etc...) permettant une plus grande stabilité des rendements ;
- tester les variétés en station à différents niveaux d'intensification culturale et valoriser le capital génétique existant dans les variétés indigènes.

Mais l'enseignement qui nous paraît le plus important et qui vérifie de nombreux résultats obtenus par ailleurs, est que l'expression du potentiel élevé des variétés sélectionnées suppose une amélioration préalable des conditions techniques de production, c'est-à-dire des itinéraires techniques des cultures. En d'autres termes, tant que l'on se situe dans la partie gauche (I) du graphique C (Figure III.1), l'amélioration culturale doit précéder l'amélioration variétale. Lorsque les conditions de culture se sont améliorées, les deux peuvent être conduites simultanément et deviennent alors synergiques.

Nos travaux de recherche ayant surtout porté sur l'amélioration culturale, on pourrait considérer comme partiales les conclusions précédentes si elles n'étaient confirmées par de nombreux auteurs (Dugué, 1989 ; Ouattar et al., 1989) et très largement admises par les améliorateurs eux-mêmes.

## **2 - L'adaptation à l'aridité des cultures pluviales au Maroc**

### **2.1 - Pluviométrie et rendements**

L'influence de la pluviométrie sur les rendements a donné lieu à de nombreuses études au Maroc. Ces études ont surtout concerné les céréales, principales cultures du pays qui occupent près des 2/3 de la superficie agricole utile en zones semi-aride et aride (72 % en 1991).

Pour l'étage aride, Papy (1989) a montré qu'il existait une corrélation positive entre les rendements du blé dur et de l'orge et la pluviométrie totale de la saison de culture, confirmant ainsi les études antérieures faites par Naciri. Cette corrélation est moins nette en zone semi-aride où il apparaît que la répartition intra-saisonnière des pluies joue un rôle déterminant sur le niveau des rendements.

Par ailleurs, il a mis en évidence une forte corrélation entre le peuplement épis et le rendement, dans les deux zones. Enfin, en zone aride, peuplement épis et rendement sont étroitement dépendants de la pluviométrie de mars qui correspond à la période de floraison des céréales. Ce dernier résultat confirme l'importance accordée, par les agriculteurs, aux pluies de mars qu'ils considèrent comme des "pluies d'or" dont dépend la réussite de la récolte.

Ces relations ont été établies sur une dizaine d'années, entre 1966 et 1976. Pour actualiser ces données et vérifier la permanence des relations pluviométrie-rendement, nous avons calculé les coefficients de corrélation et les droites de régression entre la pluviométrie de la saison de culture (septembre à mai) et le rendement moyen des céréales d'hiver (blé dur, blé tendre et orge) pour la période suivante (1975-1991). Nous avons utilisé pour cela les données statistiques de deux provinces, Marrakech et Settat, représentatives, respectivement, des zones aride et semi-aride et ayant des pluviométries moyennes sur la période voisines de celles des régions R3 et R4 analysées par Papy.

Tableau III.1 - Corrélation entre pluviométrie de septembre à mai (P en mm) et rendements des céréales (R en q/ha).

Régions	Pluviométrie normale	Espèces	Coefficient r	Régression $R = a P + b$	Série Sources
Semi-aride R3	290 mm	Orge Blé dur	0,78 ** 0,74 *	$R = 0,03 P + 1,35$ $R = 0,02 P + 2,92$	1966-75 10 ans - Papy
Settat	290 mm	Céréales d'hiver	0,65 **	$R = 0,039 P - 1,68$	1975-91 17 ans
Aride R4	240 mm	Orge	0,74 *	$R = 0,03 P + 4,26$	1967-75 8 ans - Papy
Marrakech	208 mm	Céréales d'hiver	0,80 ***	$R = 0,05 P - 2,44$	1975-91 17 ans

\* significatif à 0,05    \*\* 0,01    \*\*\* 0,001

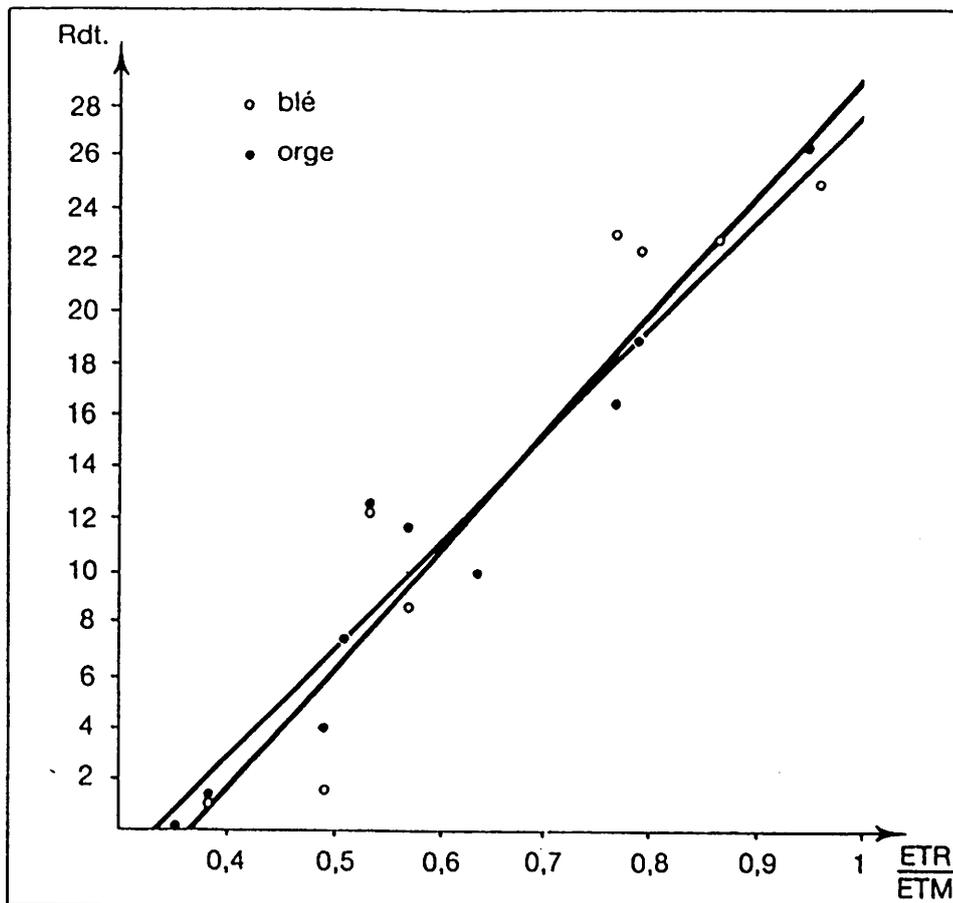
Les résultats figurant sur le tableau III.1 confirment la forte corrélation entre pluviométrie et rendement en zone aride. Il est intéressant de noter que Papy n'avait pu mettre en évidence une corrélation significative entre pluviométrie et rendement pour la région de Settat (R2) au cours de la période 1966-75 dont la pluviométrie moyenne avait été proche de 400 mm. Par contre, pour la période suivante (1975-91) durant laquelle la pluviométrie moyenne est tombé à 290 mm, cette corrélation a pu être établie. Cette différence montre bien que l'effet de la pluviométrie sur le rendement est d'autant plus déterminante que l'aridité s'accroît.

Mais la relation pluviométrie de la période de culture-rendement est une relation grossière, qui n'intègre pas, entre autres, les variations de l'évapotranspiration (ETP).

Pour essayer d'affiner cette relation, nous avons, à partir des résultats obtenus dans les essais d'aridoculture (15) et en utilisant le modèle de bilan hydrique mis au point par Forest (1980), calculé la relation entre le rendement du blé et de l'orge et le déficit hydrique cumulé au cours du cycle.

Il est apparu, pour le blé comme pour l'orge, une relation linéaire significative entre le déficit hydrique (ETR/ETM) et le rendement en grain (Figure III.2).

Fig. III.2 : Relation rendement - ETR/ETM.



Ces résultats signifient qu'aux fluctuations de la pluviométrie propres aux zones arides, correspond une fluctuation des rendements qui semble donner raison à ceux qui subordonnent la réussite ou l'échec de leurs cultures aux caprices du ciel. Mais est-ce une fatalité ? Et si c'est le cas, ne peut-on pas améliorer la relation pluviométrie-rendement en cherchant à rendre plus efficaces, pour les productions végétales, les pluies qui tombent en zone aride ? C'est ce que nous allons examiner maintenant.

## 2.2 - Les techniques d'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures

Après avoir dissipé l'illusion d'un accroissement automatique des rendements en substituant aux variétés locales des variétés dites améliorées, il nous faut en dissiper une deuxième qui concerne l'amélioration culturale. Cette deuxième illusion est celle qui consiste à penser que les problèmes posés par l'aridité maghrébine peuvent être résolus par un simple transfert de technologie en provenance des pays et régions arides plus avancés techniquement. Pendant un temps, on a pensé, en effet, que l'adoption des techniques de "dry-farming" mises au point dans les plaines centrales des Etats-Unis permettrait d'améliorer les rendements des céréales au Maroc. Il s'est avéré que ces techniques, notamment le travail du sol en sec au chisel et le mulch de paille, étaient non seulement inadaptées aux systèmes de production marocains (vaine pâture, traction animale encore importante) mais aussi aux conditions pédo-climatiques maghrébines. En effet, les techniques de "dry-farming" ont été élaborées pour des régions où il pleut durant la saison chaude, tandis que les cultures se développent durant la saison froide ; en conséquence, ces techniques visent à stocker dans le sol les précipitations estivales afin de les transférer à la saison froide et sèche. Au Maroc, et au Maghreb, les conditions d'aridité sont tout autres et tout autres aussi les moyens de lutter contre l'aridité.

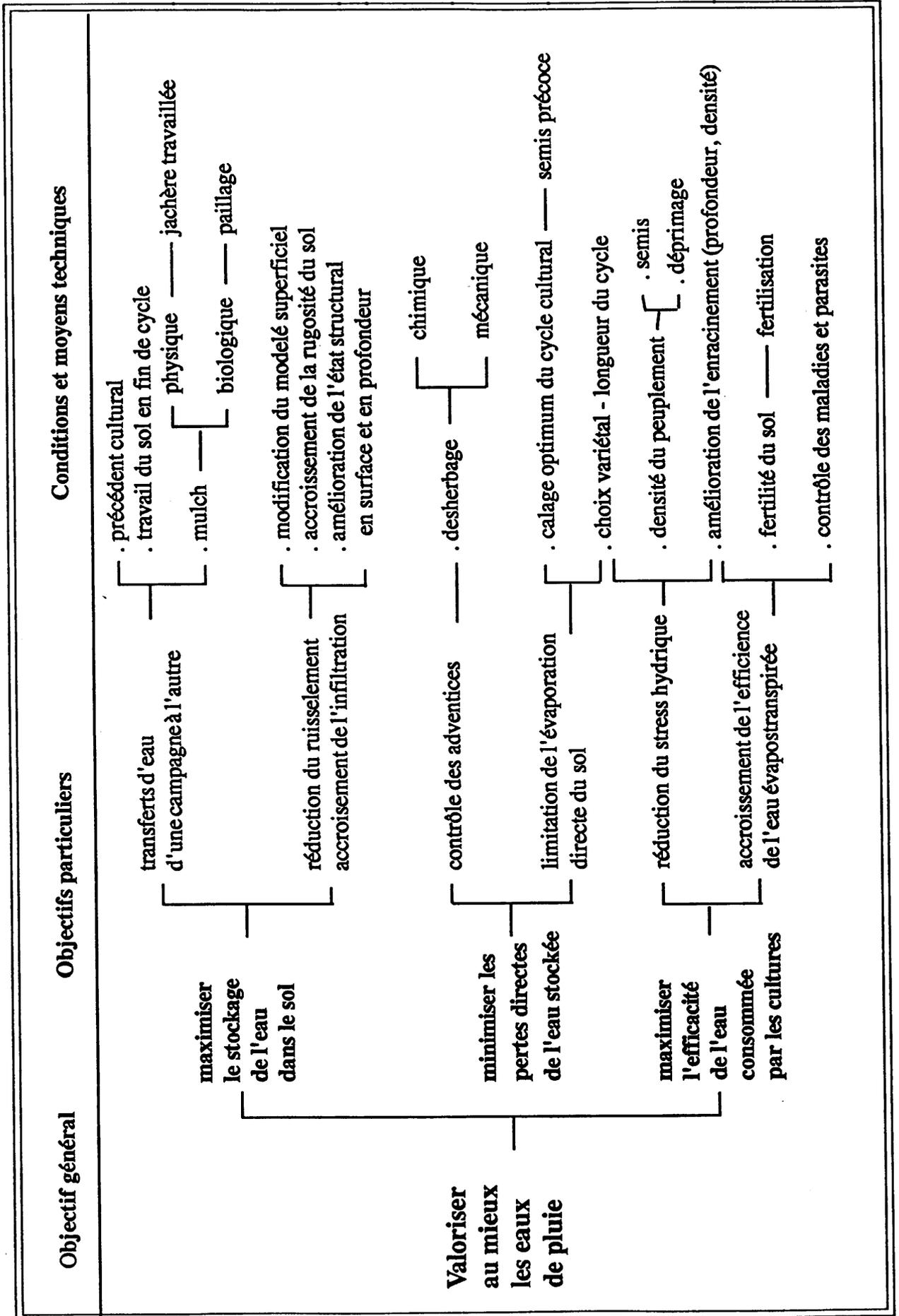
Cette croyance dans les vertus du système de "dry-farming" sans examen critique des conditions de son application n'est pas nouvelle. Voici, rapporté par M. Sebillotte (1991), ce qu'en disait Salmon, dès 1953 :

*"L'expression "dry farming" dans le sens général employé dans les premières années du siècle présent, était un mot tout puissant et des articles le concernant apparurent dans la presse quotidienne et dans les journaux agricoles. Le dry farming était présenté comme une formule magique pour la production en conditions sèches grâce à un système de techniques culturales minutieuses. La production devait réussir en combinant les miracles de la "capillarité" et du "mulch de terre". Le mulch de terre devait éviter les pertes d'eau du sol par évaporation et la capillarité permettait à l'eau stockée en profondeur d'atteindre les racines des cultures. On n'avait aucune idée de la quantité d'eau réelle nécessaire pour la production d'une culture, ni de l'eau qu'elle pouvait absorber dans le sol ni de celle que celui-ci pouvait conserver..."*

Aussi, plutôt que de chercher à transposer des solutions techniques élaborées ailleurs, nous avons recherché, à partir de l'analyse des pratiques des agriculteurs et d'expérimentations d'aridoculture effectuées en milieu paysan, quels étaient les moyens techniques les plus appropriés pour améliorer l'alimentation en eau des cultures (17, 18).

Ces différents moyens et les options techniques qui leur correspondent sont représentés sur la figure III.3. Nous allons examiner leur opportunité et leur faisabilité dans les conditions de culture des zones aride et semi-aride du Maroc occidental.

Fig. III.3 - Lutte contre l'aridité au Maghreb par les techniques culturales  
(en culture pluviale)



En l'absence d'irrigation et de maîtrise des pluies, l'objectif principal va être d'améliorer l'efficacité des pluies. Trois voies peuvent être utilisées pour cela :

- maximiser le stockage de l'eau dans le sol,
- minimiser les pertes directes de l'eau stockée,
- maximiser l'efficacité de l'eau consommée par la culture.

*a - Maximiser le stockage de l'eau dans le sol*

- Effet limité du travail du sol en été

Dans les conditions de l'aridité méditerranéenne, où les précipitations estivales sont nulles, le travail du sol en été ne peut avoir comme justification, du point de vue de l'économie de l'eau, que de favoriser le transfert de l'humidité résiduelle du sol à la fin de la saison de culture précédente, jusqu'au début de la campagne agricole suivante. Pour qu'un tel objectif soit atteint, deux conditions sont nécessaires : qu'il y ait effectivement un reliquat d'humidité après la récolte de la culture précédente et que le travail du sol limite effectivement l'évaporation directe du sol avant l'installation de la culture suivante.

Pour vérifier ces conditions, des essais ont été réalisés en zone semi-aride (Ben Ahmed) et en zone aride (Ben Guerrir). Pour ces essais, on a comparé trois traitements : travail du sol en début d'été au chisel <sup>(1)</sup>, c'est-à-dire sans retourner le sol, même travail en fin d'été et travail du sol au cover-crop avant semis (Ezzamiti, 1980).

Les contrôles d'humidité du sol, d'état structural, et de végétation effectués durant ces essais ont montré que :

- il existait effectivement une certaine humidité résiduelle en fin d'été. Cette humidité est d'autant plus faible que l'aridité est forte (11 % à Ben Ahmed, 6 % à Ben Guerrir).
- le travail du sol au chisel en début d'été a entraîné une perte d'humidité du même ordre de grandeur (4 à 5 % d'humidité volumique) que l'économie d'eau procurée par le travail du sol précoce.
- l'infiltration de l'eau de pluie en début de saison des pluies n'était pas sensiblement différente suivant les traitements.
- il n'y avait pas eu de différences significatives dans l'évolution des profils hydriques au cours de la campagne entre les trois situations de travail du sol. On peut penser, comme cela a été montré par ailleurs (Hoogmoed et al., 1992), que les différences de végétation cultivée et adventice ont tamponné les différences éventuelles dans les disponibilités en eau du sol.

---

(1) Outil à dent pouvant travailler jusqu'à 25 cm de profondeur.

- enfin, les écarts de rendement constatés entre les traitements ont été limités ; ceux qui se sont révélés favorables au travail du sol au chisel sont davantage dûs à son effet bénéfique sur la préparation du lit de semence et la réussite de la levée, ainsi que sur l'efficacité des façons superficielles qui ont accompagné le chisel, en matière de destruction des mauvaises herbes.

Ces résultats montrent que l'intérêt d'un travail précoce et profond du sol réside plus dans l'obtention de bonnes conditions de levée et d'un bon peuplement pieds, que dans un hypothétique transfert d'eau d'une campagne à l'autre.

Par ailleurs, quand bien même cette technique de travail du sol en début d'été se serait avérée efficace, son adoption par les agriculteurs serait difficile à obtenir car elle priverait leurs troupeaux du pâturage des chaumes qui joue un rôle non négligeable dans le calendrier alimentaire du bétail.

Si les cultures sarclées sont considérées par les agriculteurs comme de bons précédents à blé, désignés sous le terme générique de "bernicha", ce n'est pas tant parce qu'elles permettent un transfert d'eau d'une campagne à l'autre, mais plutôt parce qu'elles laissent un sol propre, ameubli, ce qui permet de réduire les façons culturales pour l'installation de la culture suivante, tout en diminuant la pression des mauvaises herbes.

- Le mulch, une technique efficace, mais difficilement applicable

L'autre moyen de stocker et transférer de l'eau d'une campagne à l'autre est de recourir à la technique du mulch. Celui-ci peut être assuré par les pailles et résidus de récolte laissés sur le champ après la récolte. Des observations ponctuelles nous ont montré que, dans les conditions marocaines, ce mulch pouvait avoir un effet bénéfique sur l'économie de l'eau et l'alimentation hydrique de la culture suivante, mais que sa mise en œuvre est difficilement compatible avec le fonctionnement des systèmes de production des zones arides et semi-arides marocaines où la paille consommée sur place ou récoltée est un élément essentiel de la ration alimentaire des troupeaux en saison sèche.

Par ailleurs, après la récolte, les champs étant ouverts à la vaine pâture, la pratique du mulch de paille nécessiterait la clôture des parcelles, ce qui serait contraire aux règles communes d'utilisation de l'espace et susciterait certainement des conflits. Pour toutes ces raisons, nous n'avons pas considéré cette technique comme réaliste et nous ne l'avons pas introduite dans les essais d'aridoculture effectués en milieu paysan.

• Intérêt et limites de la jachère travaillée

La jachère travaillée est, par contre, une pratique utilisée pour assurer le transfert d'eau d'une campagne à l'autre. La conservation et le transfert des eaux de pluie dans le sol sont assurés par la réalisation, à partir du printemps et après chaque période pluvieuse, de façons culturales empêchant le développement des mauvaises herbes et créant une porosité grossière dans les horizons de surface du sol qui jouent ainsi un rôle de mulch, mais cette fois-ci physique et non plus biologique.

C'est une pratique qui nécessite de l'équipement et de la surface, aussi n'est-elle utilisée que dans quelques grandes exploitations. Son adoption par les petites et moyennes exploitations des zones arides et semi-arides marocaines se heurte à une autre difficulté qui est que, dans ces exploitations, la jachère a surtout une fonction fourragère, incompatible avec la fonction de stockage d'eau recherchée dans la jachère travaillée (36).

L'observation et l'analyse de la pratique de la jachère travaillée dans de grandes exploitations nous a permis de préciser les conditions agronomiques dans lesquelles cette jachère peut effectivement contribuer à l'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures. Parmi ces conditions, détaillées par ailleurs(18), il y en a deux qui apparaissent déterminantes :

- un sol profond ayant une réserve utile importante non seulement pour stocker les pluies durant l'année de jachère, mais aussi pour ne pas être saturée par les premières pluies d'automne de la campagne suivante, ce qui effacerait tout le bénéfice du report d'eau ;
- une pluviométrie déficitaire dans l'année qui suit la jachère. Cette condition est généralement assurée en zone aride, pas toujours en zone semi-aride où les pluies d'automne et d'hiver peuvent être suffisantes pour reconstituer la réserve en eau du sol en début de cycle, le déficit hydrique se manifestant plus tard au printemps et en début d'été.

Ces conditions permettent de comprendre que les effets bénéfiques de la jachère travaillée sont loin d'être systématiques. Il s'agit, avant tout, d'une pratique antialéatoire dont nous avons pu observer l'efficacité, durant la campagne 1980-1981, marquée par un fort déficit pluviométrique, mais seulement sur les sols profonds (vertisols) des zones semi-arides.

• Limiter le ruissellement

L'autre façon de maximiser le stockage de l'eau dans le sol consiste à réduire les pertes par ruissellement en améliorant l'infiltration des eaux de pluie. Différents moyens peuvent être utilisés pour cela :

- modifier la pente du sol par la création de terrasses, de banquettes ou en pratiquant des cultures en rideau ;

- accroître la rugosité du sol par le travail du sol ou la modification du modelé superficiel des parcelles (billons, buttes, etc...) ;
- améliorer l'état structural du sol en surface et en profondeur afin d'augmenter la vitesse d'infiltration de l'eau.

Les sols des zone aride et semi-aride du Maroc occidental ont en général une topographie plane ou sub-horizontale. On trouve, cependant, des sols en pente sur les bords de l'Oum er Rbia ou dans le massif des Djebilet mais ces sols caillouteux peu profonds ne sont guère cultivés.

Par ailleurs, les principaux sols des plaines atlantiques du Maroc ont une bonne stabilité structurale (particulièrement les sols calcimagnésiques) associée à une forte activité structurale dans le cas des vertisols. Seuls les sols alluviaux de la Bahira ont une structure fragile et sont sensibles à la battance, du fait de leur texture limono-argileuse.

Ce sont ces conditions particulières (sol plat, bonne structure) qui expliquent que dans les essais effectués pour analyser l'effet du travail du sol sur l'économie de l'eau (Ezzamitti, 1980), l'infiltration et le stockage des pluies n'étaient pas sensiblement différents suivant que le sol avait été travaillé ou pas et cela en dépit de fortes précipitations en début de saison de culture (123 mm en octobre 1979).

En conséquence, dans la plus grande partie des zones arides du Maroc occidental, le ruissellement ne constitue pas un problème important nécessitant des interventions particulières. La situation est tout autre dans les zones arides du versant méditerranéen du Rif (vallée du Nekor par exemple) ou sur les contreforts sahariens du Haut-Atlas.

#### *b - Minimiser les pertes directes de l'eau stockée*

- Une priorité : le contrôle des adventices

Une partie de l'eau stockée dans le sol n'est pas utilisée par les cultures du fait, soit de percolations en profondeur au-delà de la tranche de sol exploitée par les racines, soit de la concurrence de la végétation adventice, soit enfin de l'évaporation directe du sol.

Il n'est pas facile de réduire les pertes d'eau en profondeur, si ce n'est en cherchant à améliorer la profondeur d'enracinement, mais celle-ci est souvent limitée par des obstacles physiques difficilement surmontables (encroûtement calcaire dans les sols calcimagnésiques, substrat rocheux dans les lithosols).

La réduction de la concurrence des mauvaises herbes est un objectif plus facilement réalisable et en même temps tout à fait prioritaire en zone aride. Les paysans en sont bien convaincus qui combinent différents moyens pour assurer

le contrôle des adventices : succession culturale, travail du sol, désherbage manuel et chimique.

En dépit de ces efforts, nos enquêtes ont mis en évidence que ce contrôle était loin d'être optimum et cela pour plusieurs raisons :

- la présence dans les rotations de jachère fourragère, précédent salissant, accroît la pression des adventices sur les cultures de céréales qui lui succèdent. De plus, il a été noté (Benatya et al., 1991) que pour ne pas réduire la productivité fourragère de ces jachères, certains agriculteurs de Chaouia limitaient volontairement l'emploi d'herbicide. On retrouve dans cette pratique la contradiction déjà signalée entre production de grain et production fourragère, mais cette fois-ci au niveau de la conduite du système de culture ;
- la destruction des mauvaises herbes par le travail du sol au moment de l'installation de la culture n'a d'efficacité que si celui-ci intervient après la levée des mauvaises herbes. Il sera donc de peu d'intérêt pour les semis précoces (15, 16). C'est ce qui explique que les agriculteurs sèment d'abord l'orge qui, grâce à sa bonne capacité de tallage, résiste mieux que le blé à la concurrence des adventices en début de cycle. Le blé sera semé après la levée des mauvaises herbes de façon à pouvoir les détruire au moment de l'installation de la culture. Mais, même dans ce cas, la faiblesse des moyens matériels de beaucoup d'agriculteurs et le souci d'installer le plus vite possible leurs cultures, les conduisent à réduire les façons culturales préparatoires (cf. tableau II.1), ce qui affecte la qualité du contrôle des adventices.

La lutte contre les mauvaises herbes est ensuite assurée par des désherbages manuels et chimiques pour les céréales, par des binages sarclages pour les cultures en ligne comme les fèves, les petits pois ou le maïs.

Il résulte de ces différentes pratiques que le contrôle des adventices est très variable suivant les types d'exploitation (El Hailouch, 1982), les systèmes de culture et l'intensité de l'aridité (14).

Il apparaît également que les techniques utilisées par les agriculteurs pour contrôler les mauvaises herbes se traduisent par des contradictions vis-à-vis d'une gestion optimum des ressources pluviométriques ; c'est le cas notamment de l'antagonisme entre le contrôle des adventices par le travail du sol en début de cycle et l'installation précoce des cultures.

Aussi, plus que l'amélioration de telle ou telle technique prise isolément, c'est l'ensemble de l'itinéraire technique qu'il faut considérer si l'on veut concilier contrôle des adventices et optimisation de la ressource pluviométrique.

- Réduire les pertes directes en eau du sol

La limitation de l'évaporation directe à partir de la surface du sol pendant la campagne, constitue le troisième moyen de minimiser les pertes de l'eau stockée dans le sol. Pour les cultures d'automne, ces pertes seront d'autant plus faibles que le cycle cultural coïncidera avec la période pluvieuse et donc que le semis sera précoce. Pour les cultures de printemps, la limitation de l'évaporation directe de l'eau dans le sol nécessitera le travail du sol éventuellement à plusieurs reprises, jusqu'au moment de l'installation de la culture. Mais là aussi, les agriculteurs sont confrontés à des objectifs contradictoires : d'une part, détruire dès le début de la saison pluvieuse les adventices afin de stocker le maximum d'eau l'hiver pour en faire bénéficier les cultures de printemps ; d'autre part, utiliser la première pousse d'herbe pour la nourriture du bétail. C'est généralement une situation de compromis qui est adoptée où l'on ne travaille le sol qu'à partir de janvier après le pâturage des terres à l'automne.

*c - Optimiser l'efficacité de l'eau consommée par les cultures*

- Améliorer le positionnement des cycles culturaux

L'objectif est ici d'obtenir le meilleur rapport entre la production utile et la quantité d'eau évapotranspirée par la culture.

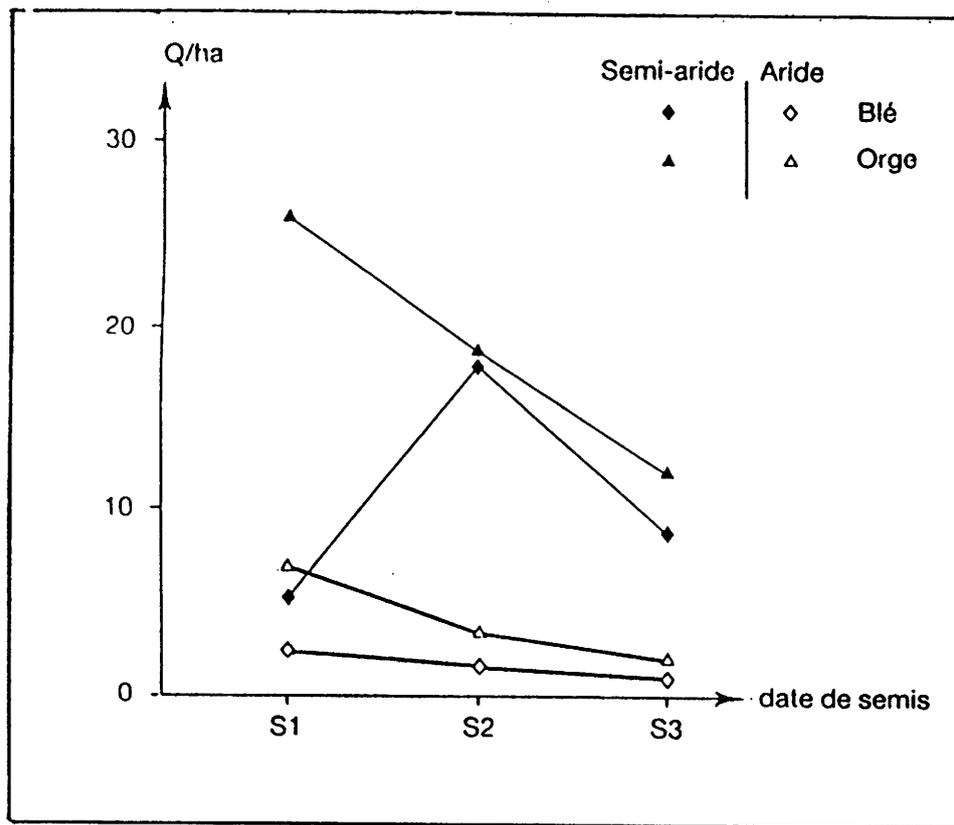
La relation que nous avons établie entre rendement des céréales et déficit hydrique cumulé sur la durée du cycle montre clairement que c'est ce dernier qui est la cause principale de la baisse des rendements en zone aride. Si l'on analyse plus en détail tout au long de la campagne agricole, l'évolution respective des précipitations et des besoins en eau des céréales, on s'aperçoit que le déficit hydrique est quasi-systématique en fin de cycle (13). Il est évidemment plus précoce et plus intense en zone aride qu'en zone semi-aride. Il est également d'autant plus accusé que le cycle cultural est tardif et décalé vers l'été.

Or, l'analyse des pratiques des agriculteurs nous a montré que les semis des cultures d'automne peuvent s'étaler sur plus de deux mois et s'achèvent généralement en décembre, voire en janvier dans le cas d'une arrivée tardive des pluies. Compte tenu de cette situation, nous avons fait l'hypothèse que pour réduire la durée et l'intensité du déficit hydrique et augmenter les rendements, il fallait améliorer la superposition du cycle cultural et de la période pluvieuse en avançant la date de semis. Les expérimentations entreprises en milieu paysan dans l'ensemble des zones arides et semi-arides du Maroc occidental, de 1975 à 1979, qui comparaient différents itinéraires techniques pour la conduite des céréales, nous ont permis de vérifier le bien fondé de cette hypothèse (15, 16)..

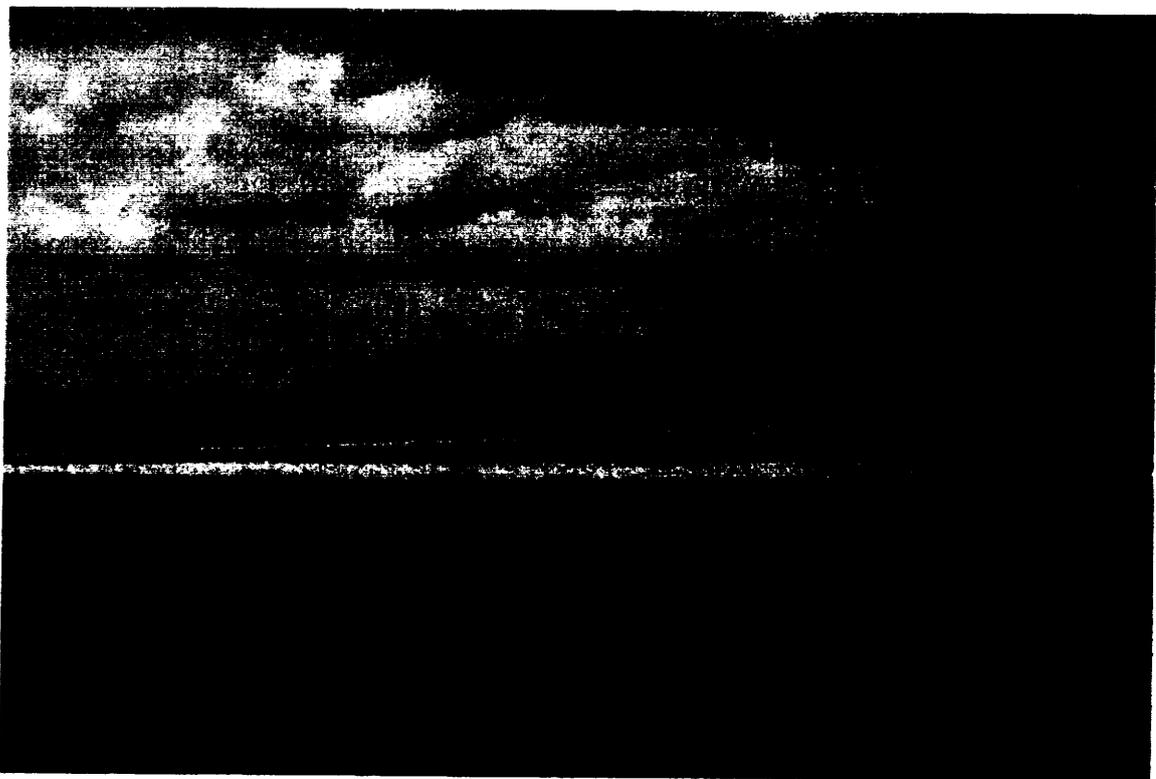
Pour étudier de façon plus précise l'effet de la date de semis sur le rendement du blé tendre et de l'orge, des essais plus analytiques ont été réalisés durant la campagne 1979-1980. Ces essais ont donné lieu à un suivi du milieu et de la végétation qui nous ont permis d'analyser l'élaboration du rendement de ces deux céréales en fonction du décalage de la date de semis (22).

Alors que les essais d'itinéraires techniques ne nous avaient fournis que des références, contingentes des conditions de leur obtention, les essais analytiques nous ont permis d'expliquer l'effet de la date de semis sur les rendements et nous ont fourni la possibilité d'extrapoler dans le temps et dans l'espace les résultats obtenus (23).

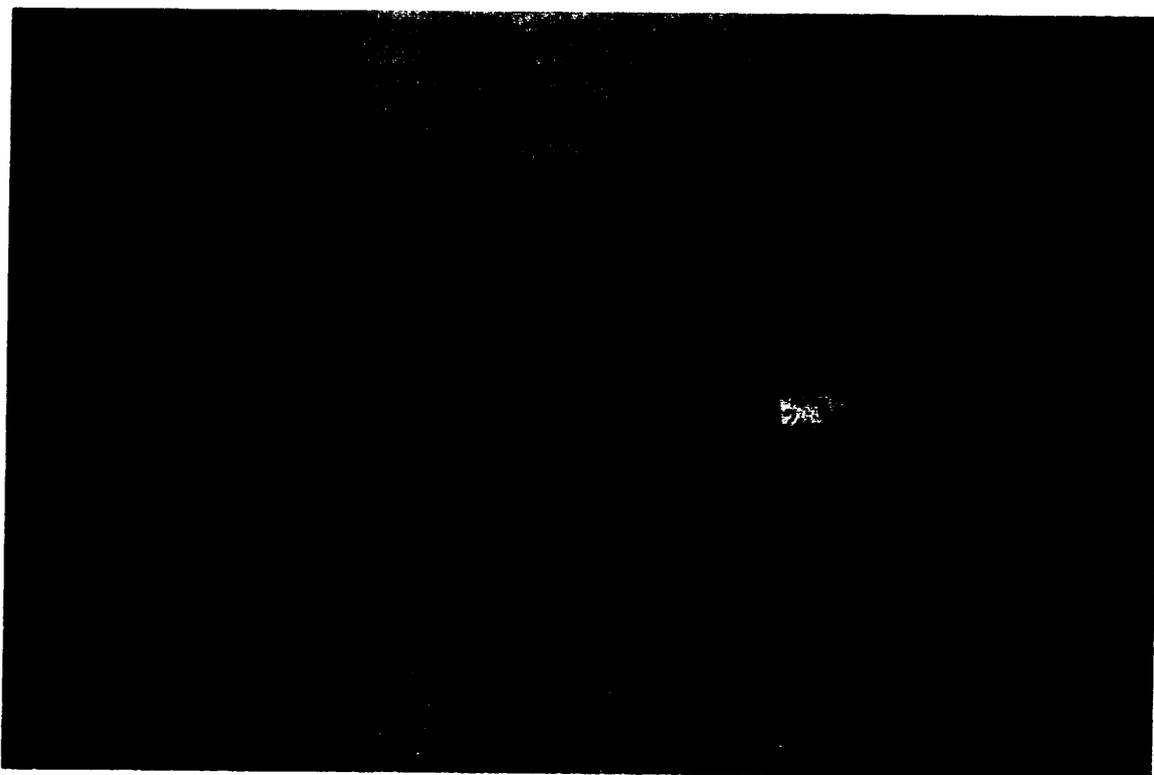
Fig. III.4 - Rendement en grain en fonction des dates de semis



On a représenté sur la figure III.4 les rendements en grain obtenus en 1979-1980 en fonction des dates de semis, pour les deux céréales et dans les deux zones. Ces résultats, obtenus au cours d'une campagne dont la pluviométrie a été très proche de la normale, sont riches d'enseignement :



13 - Orge pâturée par le bétail, suite à la sécheresse (zone aride, Benguerir, Maroc).



14 - Effet de la date de semis sur le rendement de l'orge en zone aride (essais aridoculture, Benguerir, Maroc).

- Ils illustrent, tout d'abord, la forte différence de productivité existant entre la zone semi-aride ( $P_{79-80} = 376$  mm) et la zone aride ( $P_{79-80} = 240$  mm).
- Ils montrent que le retard de la date de semis entraîne une diminution significative du rendement de l'orge dans les deux zones, mais l'effet de ce retard est nettement plus marqué en zone aride où l'apparition du déficit hydrique est plus précoce, résultat tout à fait conforme à l'hypothèse initiale. Pour le blé, on obtient des résultats similaires avec, cependant, une exception notoire concernant le semis précoce en zone semi-aride qui a abouti à un rendement médiocre.

Ce résultat est dû à :

- un faible pourcentage de levée, résultant de la grande vulnérabilité des semis précoces de blé aux attaques de prédateurs (fourmis, oiseaux) ;
- un mauvais coefficient de tallage épi dû à la concurrence des mauvaises herbes nettement plus développées en semis précoce.

Il est intéressant de noter que de tels résultats justifient tout à fait les pratiques des agriculteurs qui, comme nous l'avons déjà noté, sèment en zone semi-aride l'orge avant le blé, ayant constaté que l'orge, grâce à sa plus grande capacité de tallage et à sa vigueur, résiste beaucoup plus que les blés aux prédateurs et à la concurrence des adventices. Par contre, en zone aride, ils s'efforcent de semer le plus tôt possible le blé comme l'orge, leur objectif prioritaire étant d'atténuer le déficit hydrique en fin de cycle. On a là un bel exemple de validation par l'expérimentation du savoir empirique des agriculteurs.

L'analyse de l'élaboration du rendement nous a permis également de comprendre les causes de l'infériorité des semis tardifs. Celle-ci est essentiellement due à une baisse significative du peuplement épis résultant des effets du déficit hydrique lors de la phase montaison-épiaison. D'autres composantes sont également affectées, en particulier la fertilité de l'épi et le poids moyen des grains, mais de façon moins marquée.

Il est à noter que la pression des adventices vient accentuer les conséquences de ce déficit de fin de cycle, ce qui constitue un handicap supplémentaire pour les semis précoces de blé en zone semi-aride. En zone aride, cet handicap est moins important du fait du plus faible développement des mauvaises herbes.

De nombreux autres enseignements de nature agronomique ont pu être tirés de l'interprétation de ces essais (22). En particulier, ils ont mis en évidence un phénomène déjà connu, mais auquel on n'avait peut-être pas porté

suffisamment attention, à savoir les pertes de pieds en cours de végétation. Ces pertes qui sont loin d'être négligeables, notamment en zone aride, peuvent être interprétées comme une sorte d'ajustement du peuplement végétal aux disponibilités en eau du milieu et pose de façon nouvelle la relation rendement-peuplement-pieds établie dans d'autres régions du Maroc (Fenech, Papy, 1977).

Ces essais confirment donc l'impact très important sur les rendements de la date de semis, c'est-à-dire de la position du cycle cultural par rapport à la période pluvieuse, avec toutefois des effets sensiblement différents suivant l'espèce cultivée et l'intensité de l'aridité.

- Des variétés à cycle court encore peu performantes

En dehors de la précocité des semis, d'autres moyens peuvent être utilisés pour tenter d'atténuer le déficit hydrique en fin de cycle. L'utilisation de variétés à cycle court fait partie de ceux-là. Si nous ne l'avons pas inclus dans nos essais d'aridoculture, c'est parce que, dans les années 70, il y avait peu de variétés sélectionnées à cycle court qui, dans les conditions de culture des zones semi-aride et aride, s'étaient révélées plus performantes que les variétés habituellement utilisées par les agriculteurs (variété 071 pour les orges, Nesma ou Siete cerros pour les blés tendres, Kyperounda ou Cocorit pour les blés durs).

Depuis, en dépit des travaux de la recherche agronomique, la situation ne s'est pas fondamentalement améliorée au point qu'en 1989, S. Ouattar et T. Ameziane, dans leur étude sur les céréales au Maroc, pouvaient écrire : "*En milieu semi-aride et aride, les variétés récentes à haut potentiel de production donnent des rendements faibles et similaires à ceux des anciennes variétés. Dans ces régions, caractérisées par des précipitations limitées et fortement variables, on doit chercher à stabiliser les rendements grains, les variétés modernes actuelles ne semblent pas satisfaire cette exigence*".

Par ailleurs, il faut signaler que les variétés à cycle court ont en général une production totale de bio-masse plus faible et donc produisent moins de paille, ressource sans grand intérêt dans les agricultures des pays tempérés mais tout à fait capitale en zone aride et semi-aride au Maroc.

- Limiter la dose de semis pour limiter le peuplement

Un autre moyen que nous avons expérimenté pour tenter d'atténuer le déficit hydrique en fin de cycle a été de réduire les doses de semis par rapport à celle adoptée par les agriculteurs. La question à laquelle nous souhaitons répondre en introduisant ce traitement dans nos essais était de savoir si en condition hydrique limitante il n'est pas avantageux de réduire le peuplement végétal de façon à retarder l'épuisement du stock d'eau emmagasiné dans le sol

et ainsi limiter le déficit hydrique en fin de cycle lors de la formation et du grossissement des grains.

En 1976-77, dans les essais effectués sur orge dans différentes conditions pluviométriques, aucune différence n'est apparue entre dose de semis par suite d'une forte compensation entre composantes, les faibles peuplements pieds résultant des doses de semis faibles ayant eu un tallage herbacé puis un tallage épi plus importants.

En 1977-78, des essais similaires sur blé tendre et sur orge ont confirmé la très grande capacité de compensation de l'orge vis-à-vis d'un peuplement pieds faible, capacité qui contribue à sa rusticité et à sa bonne adaptation à l'aridité. Pour le blé, la variation de la dose de semis n'a entraîné de différence de rendement que pour les semis tardifs où les doses de semis les plus fortes ont donné les rendements les plus élevés, les compensations entre composantes ayant peu joué du fait du stress hydrique intervenu dès la phase montaison-épiaison.

Des contrôles d'humidité effectués tout au long du cycle n'ont pas montré de différence quant au stockage et à la dynamique de l'eau dans le sol, ce qui est assez logique compte tenu des phénomènes de compensation intervenus en cours de cycle.

Ces résultats ne nous ont pas conduits à remettre en cause les doses de semis adoptées par les agriculteurs, ils ont, au contraire, comme pour la date de semis, confirmé la pertinence de certaines de leurs pratiques comme celle qui consiste à augmenter les doses pour les semis-tardifs de blé, sachant que le tallage sera moins bon et qu'un faible peuplement pieds initial ne pourra pas se "rattraper" par la suite.

• Améliorer l'homogénéité de la levée

Par manque d'équipement et afin de ne pas trop retarder l'installation de leurs céréales, les agriculteurs limitent les façons culturales au moment du semis. Une proportion non négligeable des champs, notamment en zone aride, sont semés à la volée sur le "tapis", c'est-à-dire sur un sol non travaillé, la semence étant, ensuite, recouverte par un passage de covercrop ou d'araire. Dans ces conditions, le taux de levée est faible (30 à 60 %) et la levée hétérogène.

Les essais comparant différents modes d'installation des céréales (El Baghati en zone aride, 1977 ; Chaffai en zone semi-aride, 1978), ont confirmé la faible efficacité des modes de semis traditionnels et ont permis d'en analyser les conséquences sur le rendement. Les peuplements pieds faibles et irréguliers sont plus sensibles à la compétition des mauvaises herbes et aboutissant à des peuplements-épis plus faibles. Or, dans les deux zones, on a pu vérifier la relation peuplement-épi, rendement mise en évidence par Papy (1978) à partir du traitement des enquêtes statistiques du Ministère de l'Agriculture (Tableau III.2).

Tableau III.2 - Corrélation entre peuplement-épi et rendement

Régions Lieu Année-Pluvio.	R2 400 mm	R3 290 mm	Semi-aride Settat 1978 - 425 mm	Aride Benguerir 1977 - 235 mm
Blé dur	0,49 n.s.	0,80 **	--	--
Blé tendre	--	--	$R = 0,11 P.E + 0,52$ $v = 0,94 ***$	
Orge	0,69 *	0,90 ***	--	$R = 0,8 P.E + 10,98$ $v = 0,95 ***$
Sources	Papy (1978)		Chafaï (1978)	El Baghati (1977)

Un diagnostic agronomique, en milieu paysan, effectué en 1985-1986 en Haute Charria, a confirmé les corrélations entre peuplement-épi et rendement d'autre part (Elbehri, 1986).

L'enfouissement irrégulier des graines, dans les semis à la volée recouverts au covercrop que pratiquent les agriculteurs, peut également provoquer une levée échelonnée, notamment quand les pluies d'automne sont faibles et mal réparties, ce qui est fréquent en zone aride. Il en résulte un développement hétérogène du peuplement végétal. En mai, une partie des pieds est à maturité tandis que l'autre n'est pas parvenue à l'épiaison. Quelle que soit la date adoptée pour la récolte, celle-ci sera en partie perdue du fait des dégâts d'oiseaux et de l'égrenage des épis trop murs si la moisson est tardive, ou par manque de maturité d'une partie de la récolte si celle-ci est précoce.

Pour remédier à ces différents inconvénients dûs aux mauvaises levées des céréales en conditions sèches, trois essais ont montré l'intérêt :

- de travailler le sol, avant le semis, éventuellement en sec, afin d'aboutir à des lits de semences plus fins,
- d'utiliser un semoir pour enfouir les graines de façon plus homogène,
- de tasser ensuite le lit de semences afin d'assurer un bon contact graines-terre permettant l'humectation des semences et leur germination même lorsque les pluies sont faibles et irrégulières.

La première condition a été obtenue grâce à l'emploi du chisel, les deux autres en utilisant un semoir combiné. Cet instrument est trop coûteux pour être adopté par les agriculteurs, mais il peut sans inconvénient être remplacé par un semoir classique à céréales, suivi d'un rouleau (15, 16) dont on ne dira jamais assez l'intérêt pour l'amélioration de la germination en conditions sèches.

• Améliorer la profondeur et la densité d'enracinement

Depuis les travaux d'Hallaire (1963), on sait que l'amélioration de la profondeur et de la densité d'enracinement accroît non seulement la réserve utile du sol mais aussi la résistance de la culture au dessèchement.

Pour tester ce moyen de réduire les effets du stress hydrique en zone aride, nous avons comparé, dans différentes situations pédo-climatiques, des préparations superficielles du sol au cover-croop avec des préparations plus profondes du sol réalisées à l'aide du chisel. L'hypothèse que nous avons faite était que ces différences de profondeur de travail du sol modifieraient l'enracinement de la culture et sa résistance au déficit hydrique.

Les résultats de nos essais ont mis en évidence, que pour l'orge comme pour le blé, le travail du sol au chisel n'a eu aucun effet sur le rendement en grain comme en paille en semis précoce, à l'exception de quelques situations en sol sec et caillouteux où le travail du sol au chisel a assuré la réussite du semis.

Par contre, en semis tardif, le travail du sol au chisel s'est traduit par une augmentation significative des rendements (de 33 à 66 % suivant les cas). L'analyse de l'élaboration du rendement a mis en évidence que cette augmentation était surtout due à une plus grande fertilité des épis (Chaffai, 1978). Les contrôles d'humidité du sol et d'enracinement ont montré que l'action bénéfique du travail profond serait plutôt due à une amélioration de l'enracinement qu'à un meilleur emmagasinement de l'eau dans sol, ce qui pour les semis tardifs vérifierait l'hypothèse de départ. Il a aussi rendu plus efficace le contrôle des adventices lors de l'installation de la culture.

Les conditions de l'expérimentation en milieu paysan ne nous ont pas permis de confirmer totalement cette hypothèse (Ezzamiti, 1980), mais certaines pratiques des agriculteurs tendent à la rendre plausible. Ainsi, dans nos enquêtes de terrain, il nous a été signalé, à plusieurs reprises, la nécessité de reprendre périodiquement par un labour, même à l'araire, les parcelles habituellement travaillées au cover-croop. En effet, cet outil, passé le plus souvent juste après les pluies, avant que le sol ne soit toujours bien ressuyé (le souci de semer le plus vite possible primant tout le reste), crée une discontinuité dans le profil. Il ameublisse les quelques centimètres superficiels du sol ; par contre il tasse par son poids l'horizon immédiatement inférieur.

On trouve aussi la justification d'un enracinement dense et profond pour tamponner une alimentation hydrique irrégulière dans certaines pratiques, anciennes, des agriculteurs des vallées pré-sahariennes. Certes, le contexte est différent de celui du Maroc occidental, mais le problème est le même. Dans ces oasis de vallée où les irrigations, autrefois dépendantes des crues de l'oued, pouvaient être espacées de plusieurs semaines, et où les sols de texture limono-

argileuse se tassent facilement, les agriculteurs, toute chose égale par ailleurs, établissaient une liaison étroite entre le rendement de leurs céréales et la qualité du travail du sol. Ils effectuaient celui-ci à l'aide d'une bêche à long fer, ce travail profond et fort pénible, étant la condition d'un bon enracinement. Depuis lors, la construction de barrages pour régulariser le débit des oueds et la pénurie de main d'oeuvre ont profondément changé les données du problème.

• Le rôle controversé de l'azote

L'eau stockée dans le sol et disponible pour les cultures peut avoir une efficacité <sup>(1)</sup> différente suivant les conditions de croissance et de développement de la culture et en particulier suivant les conditions d'alimentation minérale et les conditions phyto-sanitaires.

Parmi les éléments minéraux majeurs, l'azote est celui qui peut le plus affecter l'efficacité de l'eau. En tant que facteur de croissance, il peut l'affecter de façon positive en augmentant la production de matière sèche et en améliorant le rendement photosynthétique du couvert végétal. Mais en condition d'alimentation hydrique limitante, il peut, au contraire, avoir un effet négatif en favorisant une croissance rapide de la culture entraînant un épuisement prématuré des réserves en eau du sol, ce qui accentue le stress hydrique lors des phases d'épiaison et de maturation en fin de cycle. Aussi, son rôle est-il très controversé en zone aride.

Les essais exploratoires d'itinéraires techniques effectués durant les campagnes 1976-77 et 77-78 en zones aride et semi-aride, n'ont pas permis de mettre en évidence un effet significatif de la dose d'azote (70 unités/ha) sur le rendement en grain. Par contre, l'apport d'azote s'est traduit, dans une partie des essais, par une augmentation significative de la production de paille sans que cette augmentation n'affecte la production de grain.

Des essais plus analytiques effectués en 1979-80 (El Haouta, 1980), au cours d'une année où la pluviométrie a été proche de la normale, ont permis de préciser l'action de la fertilisation azotée. En zone semi-aride ( $P = 390$  mm), l'apport de 67 unités d'azote par hectare a entraîné une augmentation significative du rendement en grain et en paille par rapport au témoin sans engrais (Figure III.5). Mais ce sont les apports précoces (soit toute la dose au semis, soit moitié au semis et moitié au tallage) qui ont eu le plus d'effet. L'effet bénéfique de ces apports précoces, s'est manifesté au niveau du peuplement-épi tandis que l'effet de la dose d'azote a concerné surtout la fertilité de l'épi.

En zone aride, l'insuffisance des pluies ( $P = 226$  mm) et un semis tardif ont abouti à un rendement nul. Dans ces conditions, la fertilisation azotée, quel que

---

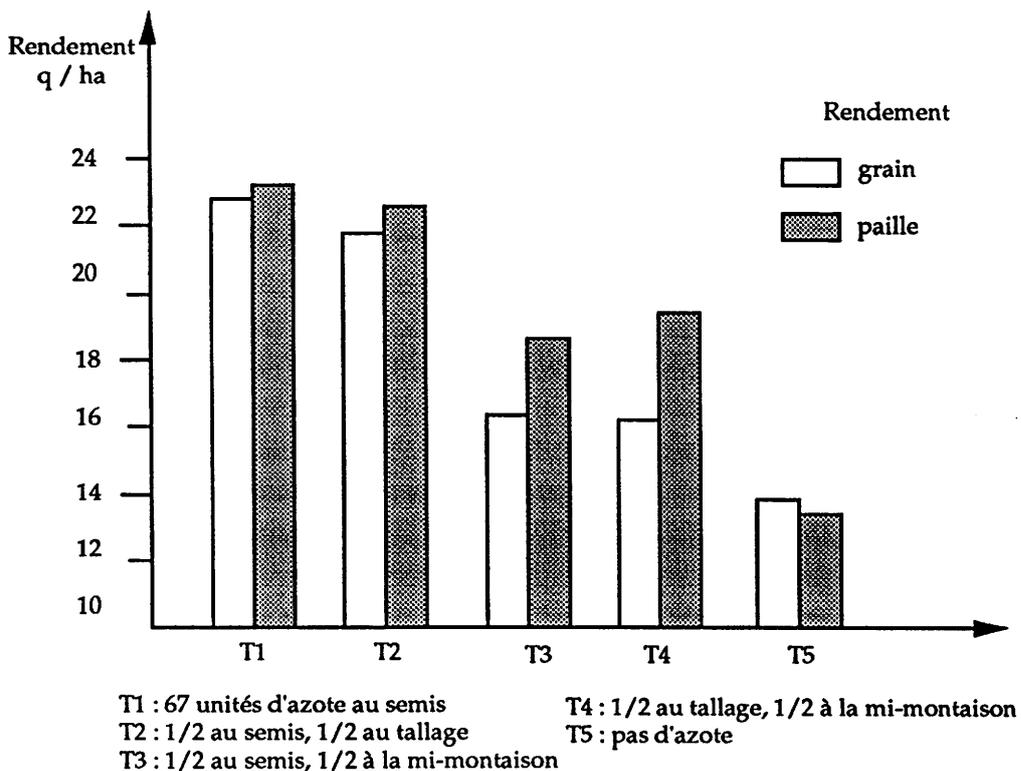
(1) L'efficacité de l'eau consommée est évaluée par le rapport entre la consommation en eau de la culture (ETR) et sa production exprimée généralement en matière sèche (Maertens et al., 1978).

soit le mode d'apport, a non seulement eu aucun effet mais a correspondu à une perte d'argent.

Ces résultats, même partiels, confirment la très forte dépendance de l'efficacité de la fertilisation azotée aux conditions pluviométriques. Ils conduisent, de ce fait, à raisonner de façon différente l'apport d'azote suivant le degré d'aridité. En zone semi-aride (P compris entre 300 et 400 mm), la réponse des céréales à l'apport d'azote généralement positive, autorise l'emploi de doses modérées (30 à 70 unités par hectare). Cependant, même dans cette zone, du fait des aléas pluviométriques, la fertilisation azotée relève du pari, d'autant que les apports doivent être précoces et donc se faire avant que l'on sache quelle va être la pluviométrie de la saison de culture.

En zone aride, indépendamment des effets négatifs de l'azote sur le rendement en grain (qui reste cependant exceptionnel avec des doses d'azote limitées) la faiblesse générale des précipitations et leur forte fluctuation rendent peu efficace sur le plan agronomique et non rentable sur le plan économique l'apport d'azote aux céréales. Un tel résultat justifie, en partie, le choix de l'extensif que font les agriculteurs de cette zone, pour s'adapter aux risques climatiques.

Figure III.5 - Effet de la doze et du mode d'apport d'azote sur le rendement en grain et en paille du blé tendre en zone semi-aride (El Haouta, 1980).



• Lutter contre les maladies et ravageurs de cultures

Bien que l'aridité du climat limite en principe, le développement de certaines maladies, notamment les helminthosporioses et les rouilles, la culture des céréales en zones aride et semi-aride n'est pas à l'abri de maladies et ravageurs qui affectent l'efficacité de l'eau évapotranspirée, et réduisent le rendement final.

Parmi les premières, il faut citer les maladies cryptogamiques comme les septorioses (*Septoria tritici* et *nodorum*) qui s'attaquent au feuillage et diminuent la capacité photosynthétique du couvert végétal. Le stress hydrique favorise le développement de champignons du sol, notamment le *fusarium culmorum*, qui provoque la pourriture des racines et du collet, entraînant une perte de pieds à la levée. Dans des essais faits en Chaouia, Lyamani (1986) a observé que ce type de maladie pouvait entraîner une baisse de rendement en grains de 65 %.

Parmi les ravageurs, la cécidomyie est un des plus nocifs pour les blés en zones semi-aride et aride. Ce parasite causé par des mouches du genre *Maytiola spp*, s'attaque surtout aux jeunes plantules et affecte le tallage herbacé des cultures. Les pertes de rendement peuvent atteindre 40 %. Les autres prédateurs pouvant provoquer des dégâts sur céréales sont les moineaux et les fourmis.

Le programme de recherche que nous avons entrepris en matière d'amélioration de la culture des céréales en zones aride et semi-aride n'a pas inclu, pour des raisons de temps et de compétence, des expérimentations sur les moyens de lutte contre ces maladies et prédateurs. Cependant, dans les suivis de parcelles des agriculteurs et des essais, les états du milieu et de la végétation ont fait l'objet d'observations systématiques, lesquels ont permis d'enregistrer les conditions phytosanitaires des cultures et d'étudier les interactions entre les techniques culturales et la pression des maladies et parasites.

C'est ainsi qu'il est apparu que, si les semis précoces permettent une meilleure superposition du cycle naturel et de la période des pluies, ils sont, par contre, plus sensibles que les semis de saison et tardifs à un certain nombre de maladies et prédateurs.

Comme le montre le tableau III.3, les semis précoces sont plus sensibles aux attaques de cécidomyie. Le taux d'infestation peut atteindre près de la moitié des pieds. Ces attaques entraînent la disparition d'un certain nombre de pieds ; sur ceux qui résistent, on constate, suite à la destruction du brin-maître, un développement des talles secondaires qui augmente le coefficient de tallage herbacé des pieds attaqués par rapport aux pieds sains.

Tableau III.3 - Effet de la date de semis sur les attaques de *Cecidomyie* et conséquences sur le tallage herbacé du blé tendre Nesma 149

	Semis précoce	Semis tardif	Zone, année	Source
<b>% de pieds attaqués</b>	46,3	11,25	semi-aride, 1978	M. Azzouzi
<b>CTH</b>				
<b>pieds attaqués</b>	4,5	3,9		
<b>pieds sains</b>	3,1	3,9		
<b>% de pieds attaqués</b>	44,2	26,6	semi-aride, 1980	A. Ezzamitti
<b>CTH</b>				
<b>pieds attaqués</b>	2,9	2		
<b>pieds sains</b>	3,4	2,8		

CTH : coefficient de tallage herbacé

Les semis précoces se sont révélés également plus vulnérables aux prédateurs que les semis de saison ou tardifs. Certains semis précoces, notamment ceux réalisés en sec avant l'arrivée des pluies, ont subi des sévères attaques de fourmis. Quant aux oiseaux, ils peuvent provoquer des dégâts sur les semis précoces, soit juste après la levée, soit avant la récolte du fait de la plus grande précocité de la maturation des épis. Ces risques phytosanitaires, ajoutés à la plus grande difficulté de contrôler les mauvaises herbes, expliquent un certain nombre d'échecs rencontrés dans la mise en place des semis précoces (Ezzamitti, 1980). Cette vulnérabilité constitue un réel obstacle à l'adoption des semis précoces, heureusement elle s'atténue avec l'extension de ce type de semis qui entraîne la dilution de certaines attaques.

L'analyse que nous venons de faire des différentes techniques de lutte contre l'aridité, en vue d'améliorer l'alimentation hydrique des cultures, a permis d'explorer un certain nombre de possibilités. Elle a mis en évidence, que, du fait des interactions entre techniques (entre la date de semis et le désherbage par exemple), l'amélioration de la conduite des céréales doit être raisonnée de façon globale et intégrée, c'est-à-dire en terme d'itinéraire technique. C'est ce que nous allons essayer de faire maintenant.

### 2.3 - Voies et moyens d'amélioration des rendements céréaliers en zones semi-aride et aride marocaines

- Définition d'une nouvelle stratégie de culture

A partir de la valorisation des pratiques paysannes (cf. 2ème partie) et des résultats des expérimentations agronomiques qui viennent d'être présentées, il a été possible de proposer une nouvelle stratégie de culture des céréales en zones aride et semi-aride, permettant de mieux valoriser les potentialités de ces zones.

Cette nouvelle stratégie, dont les grandes lignes ont été définies, dès la fin des années 70 (16, 17), peut se formuler de la façon suivante :

- le premier objectif à rechercher est d'améliorer la coïncidence du cycle cultural avec la période pluvieuse, en avançant les dates de semis.

Sur la base des essais de dates de semis que nous avons effectués, et à partir d'une simulation des rendements correspondants à des semis précoces, de saison et tardifs, calculés sur une série de 20 années en zone semi-aride et 25 années en zone aride, on a pu évaluer les rendements moyens correspondant aux différentes positions de cycle résultant de ces trois dates de semis (tableau III.4).

Tableau III.4 - Estimation des rendements céréaliers (q/ha) en fonction de la date de semis

Zones	Semis			Rendement moyen enregistré
	précoce	de saison	tardif	
zone aride	8,4	6,8	3,7	6
zone semi-aride	14,45	14,67	7,7	9

Ces estimations font naturellement apparaître des rendements potentiels plus élevés en zone semi-aride qu'en zone aride. En ce qui concerne leur variation en fonction de la position du cycle, on constate qu'en zone aride, le rendement potentiel moyen décroît progressivement avec le décalage du cycle. En zone aride, semis précoce et semis de saison ont, à peu de chose près, la même productivité ; par contre, le semis tardif est deux fois moins productif. Ces

résultats confirment ceux obtenus dans les essais comparatifs de dates de semis échelonnés (figure III.4) : les semis précoces sont d'autant plus avantageux que le climat est aride (en zone semi-aride, on a vu que les semis précoces étaient plus handicapés par les mauvaises herbes et certaines maladies et prédateurs). Les semis tardifs, quelle que soit l'aridité, sont toujours nettement moins productifs.

La comparaison des rendements potentiels des semis précoces avec les rendements moyens enregistrés jusqu'en 1980, pour les mêmes zones, fait apparaître une marge de progrès potentiel de près de 40 % en zone aride et de 60 % en zone semi-aride. Compte-tenu des superficies consacrées aux céréales (1.060.000 hectares en zone aride, 1.510.000 ha en zone semi-aride, durant la campagne 1980-81), on voit que le manque à gagner résultant d'un trop grand étalement de la période de semis est considérable et approche les 10 millions de quintaux, soit le quart de la production moyenne du Maroc.

**Les conclusions que l'on peut tirer de ces résultats sont claires : il faut semer les céréales le plus tôt possible en zone aride et supprimer les semis tardifs en zone semi-aride.**

L'évidence de telles conclusions nous a naturellement conduit à nous interroger sur les raisons qui font que les agriculteurs étalent leurs semis. Deux raisons essentielles expliquent les semis tardifs :

La première, la plus importante, est le faible degré de mécanisation des exploitations. En 1976, on comptait un tracteur pour 277 ha SAU en zone semi-aride et un pour 851 ha SAU en zone aride. Autant dire que la majorité de l'installation des céréales, dans ces zones, se faisait à l'aide de la traction animale. Or celle-ci permet de préparer et d'emblaver 1/4 à 1/6 d'hectare par jour, suivant la nature du terrain et des opérations culturales. Pour un agriculteur qui doit ensemençer 10 ha, il lui faudra, compte-tenu des jours indisponibles du fait de la pluie et des marchés, environ deux mois pour installer ses céréales après le début des pluies ; celles-ci débutant en moyenne en octobre, cela va l'amener à semer des céréales jusqu'en décembre, en sachant très bien que ces semis tardifs vont être particulièrement exposés à la sécheresse en fin de cycle.

La deuxième raison qui conduit les agriculteurs à décaler leur semis par rapport au début de la saison des pluies est leur souci d'attendre la levée des mauvaises herbes afin de pouvoir les détruire avant l'installation des blés. A vrai dire, ce décalage entre l'arrivée des pluies et le semis des blés n'est pas totalement perdu puisqu'il est mis à profit pour semer les orges moins vulnérables à la concurrence des mauvaises herbes en début de cycle.

Il ressort de ces différents éléments que pour mettre en pratique la recommandation de base de la stratégie de culture proposée qui consiste à avancer la période de semis, il est nécessaire de recourir à la mécanisation des travaux d'installation des cultures.

En effet, grâce à la mécanisation des travaux préparatoires du sol et des semis, il est possible de réduire considérablement le temps d'installation des céréales par rapport à celui nécessaire en traction animale. En zone aride où la précocité des semis doit être particulièrement recherchée, le tracteur peut être utilisé pour préparer le sol avant l'arrivée des pluies et dans le cas où celles-ci sont tardives, pour semer en sec. En zone semi-aride, ces semis en sec sont moins nécessaires et plus risqués sur le plan phytosanitaire. Dans cette zone, la mécanisation doit surtout viser à éliminer les semis tardifs, c'est-à-dire effectués plus d'un mois après l'arrivée des pluies, sans pour autant remettre en question l'échelonnement habituel des semis (orge, puis blé dur et blé tendre).

Mais le recours à la mécanisation ne doit pas avoir comme seul objectif une installation plus précoce des céréales, il doit aussi permettre d'améliorer la qualité du lit de semence grâce à une meilleure préparation du sol et d'assurer une levée plus régulière par l'emploi du semoir et, si nécessaire, du rouleau.

**L'avancement des dates de semis n'a cependant pas que des avantages. Elle entraîne aussi certains inconvénients dont il faut chercher à se prémunir.**

Le premier de ces inconvénients est dû à la concurrence des adventices. En réalisant les travaux du sol avant ou juste après l'arrivée des pluies, c'est-à-dire à un moment où les mauvaises herbes ne sont pas encore développées, on se prive de la possibilité de les détruire par le travail du sol. Dans ces conditions, il est alors nécessaire de contrôler le développement des mauvaises herbes par des traitements herbicides effectués, généralement, à la fin du tallage ou au début de la montaison.

**Les traitements herbicides constituent donc un corollaire indispensable à l'avancement de la période des semis.**

Un autre risque des semis précoces, déjà signalé, est le développement des maladies et prédateurs en début de végétation. Ce développement est favorisé par des températures relativement élevées et la rareté de la végétation disponible. Les méthodes de lutte chimique sont coûteuses et, dans l'ensemble, peu efficaces à l'exception du traitement des semences (septorioses, charbon nu). Aussi, la résistance génétique apparaît comme un des moyens les plus appropriés pour lutter contre les maladies et ravageurs les plus nocifs, en particulier contre la cécidomyie, pour laquelle on ne dispose actuellement d'aucun moyen de lutte chimique efficace (mais il faut reconnaître que les variétés améliorées de blé, actuellement vulgarisées, Cocorit, Nesma, sont plus sensibles à ces prédateurs que les variétés traditionnelles).

Les dégâts provoqués par les moineaux au moment de la maturation qui sont souvent invoqués par les agriculteurs pour refuser les semis précoces, peuvent être considérablement atténués dès lors que ces semis se généralisent. Par contre, dans la phase de vulgarisation, la protection des récoltes des cycles précoces est à prévoir.

Ces différentes considérations sur les conséquences d'une modification du positionnement du cycle cultural des céréales, montrent clairement que la nouvelle stratégie proposée ne se limite pas à l'installation de la culture, même si cette phase est particulièrement décisive. En fait, c'est tout l'itinéraire technique de la culture qui doit être modifié.

Dès lors que le positionnement du cycle et l'obtention d'un peuplement pieds plus homogène permettent une meilleure valorisation des eaux de pluies, il devient avantageux d'utiliser des engrais, particulièrement en zone semi-aride.

Ces améliorations culturales étant réalisées, les variétés sélectionnées peuvent alors exprimer leur potentiel et leur supériorité par rapport aux variétés traditionnelles.

C'est ce que les agriculteurs ont bien compris qui ont adopté les nouvelles variétés de blé tendre et de blé dur dans les bonnes conditions de culture, mais qui, en revanche, ont conservé leurs variétés traditionnelles, notamment l'orge, lorsque ces conditions sont restées difficiles, particulièrement en zone aride.

• Conditions et modalités de mise en œuvre de la nouvelle stratégie de culture

La mécanisation de la séquence d'installation des céréales apparaît comme la condition la plus indispensable pour mettre en œuvre cette nouvelle stratégie de culture.

En 1978, lorsque les grandes lignes de cette stratégie ont été formulées, le taux de mécanisation des exploitations était encore très faible. Sur la base d'un besoin estimé à un tracteur pour 100 ha, ce taux était alors de 36 % en zone semi-aride et seulement de 12 % en zone aride.

Comme c'étaient les petites et moyennes exploitations qui avaient le taux de mécanisation le plus faible et que leur taille ne leur permettait pas de se mécaniser à titre individuel, nous avons examiné les trois possibilités auxquelles elles pouvaient avoir recours : la location de tracteurs privés, la prestation de service de la part des Centres de Travaux (C.T.), antennes sur le terrain du Ministère de l'Agriculture, et les groupement coopératifs d'utilisation en commun de matériel agricole vers lesquels allait notre préférence, compte tenu des structures agraires marocaines.

Depuis, les choses ont bien évolué. Au cours des années 80, on a assisté à une augmentation sensible du nombre de tracteurs faisant passer le taux de mécanisation de 36 % à 60 % en zone semi-aride et de 12 % à 27 % en zone aride (tableau III.5). Cette mécanisation s'est faite essentiellement par l'achat de tracteurs et de matériels d'accompagnement par des agriculteurs privés dont certains font de la prestation de services pour les autres agriculteurs. Les groupements coopératifs sont restés marginaux et à caractère essentiellement

familial. Quant aux C.T., la politique de désengagement de l'Etat, les a conduit à liquider progressivement leur parc de matériel.

Parallèlement au développement de la mécanisation, on a observé un accroissement de l'utilisation des engrais et des semences sélectionnées, spécialement en zone semi-aride.

*Tableau III.5 - Evolution de l'utilisation des facteurs de production*

Zones	Semi-aride		Aride		Ensemble
	1976	1990	1976	1990	1990
Taux d'utilisation BD	22 %	-	6 %	-	58 %
de semences sélectionnées BT	68 %	-	19 %	-	48 %
kg d'engrais / ha	41	-	22	-	46
Taux de mécanisation					
ha SAU / tracteur	277	167	851	377	-
ha SAU / semoir	-	-	3429	29116	-

Sources :

1976 : Etudes des contraintes structurelles. Document préparatoire du plan quinquennal 1978-1982, MARA.

1990 : Présentation et objectifs de développement des zones arides et semi-arides, MARA, DPV, janvier 1991.

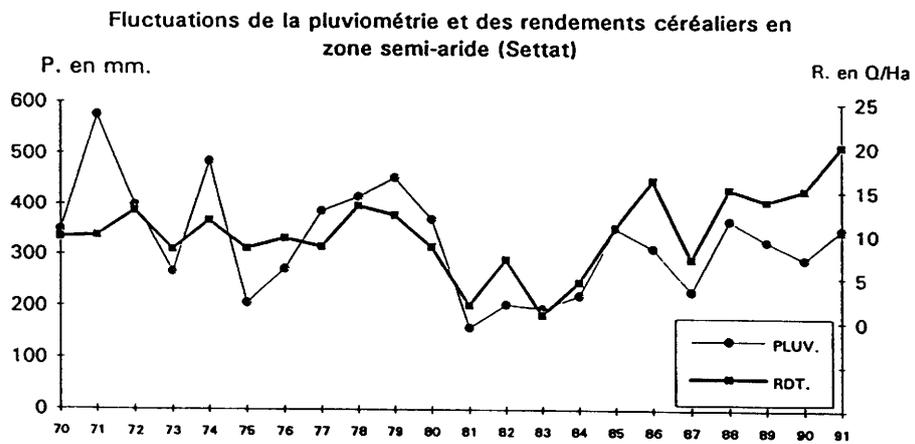
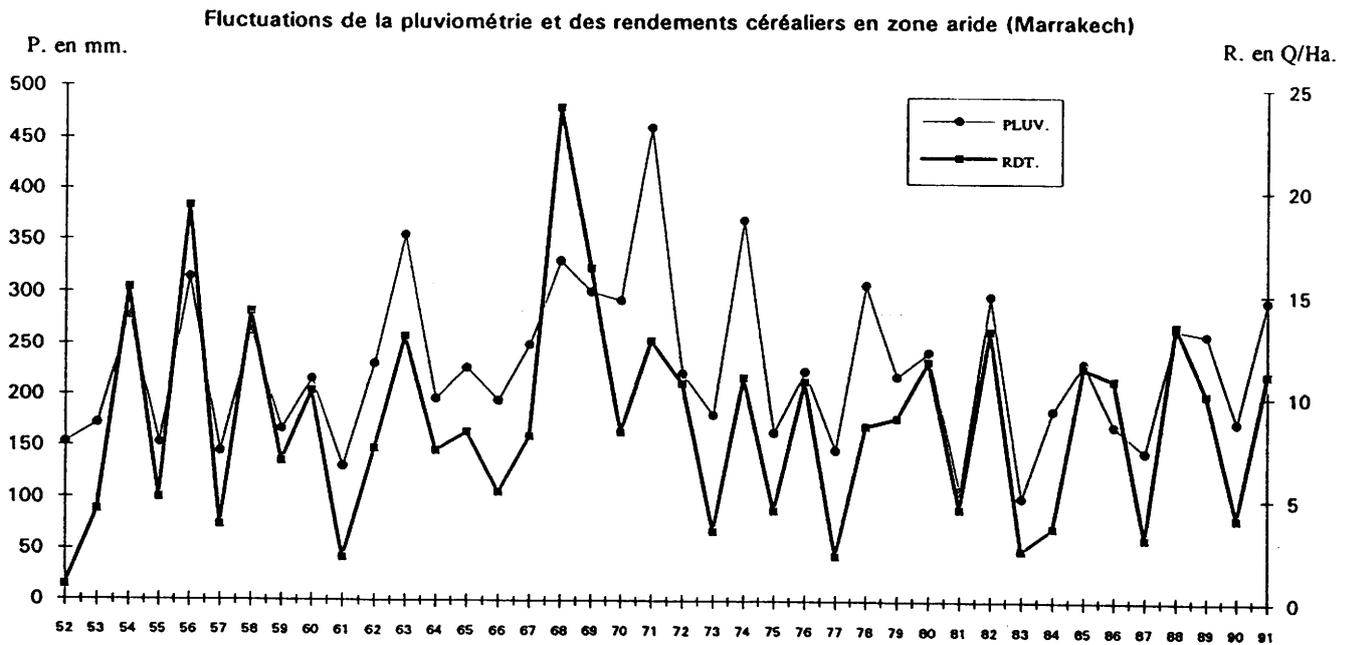
• Evaluation de l'impact des améliorations culturales proposées

Avec un recul de près de 15 ans, il est intéressant de s'interroger sur l'effet des changements intervenus dans l'utilisation des facteurs de production et tenter d'évaluer l'impact des recommandations formulées en matière d'amélioration de la conduite des céréales.

Au cours des années 80, on a enregistré un net accroissement du rendement des céréales (figure III.6) qui concerne aussi bien le blé dur, le blé tendre et l'orge dans deux zones.

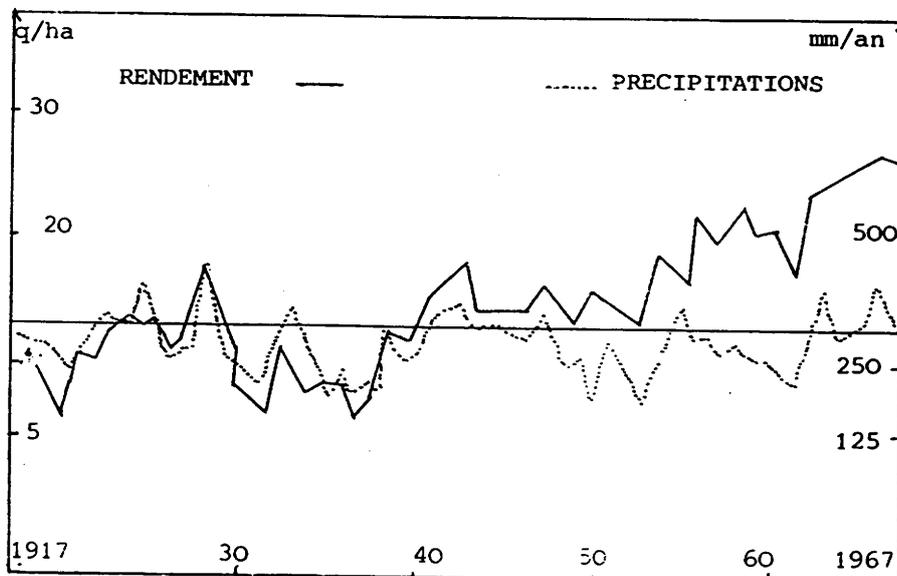
Lorsqu'on analyse l'évolution des rendements céréaliers sur une longue période (1952-1991 dans la province de Marrakech, 1970-1991 dans celle de Settat), on retrouve la forte corrélation pluviométrie-rendement déjà signalée (tableau III.1). Mais on note également, en zone semi-aride, que la courbe des rendements a tendance à se détacher de celle de la pluviométrie à partir de 1985 (figure III.7).

Figure III.6



Assisterait-on, à partir de cette date, à un phénomène comparable à celui décrit par Chapman concernant l'évolution respective des précipitations et des rendements, dans l'Etat du Montana où à partir de 1945 s'est produit un changement technologique qui a augmenté les rendements, atténué leurs fluctuations et en définitive modifié la relation pluviométrie-rendement ?

Figure III.7 - Evolution des précipitations et des rendements sur 50 ans à l'est du Montana (USA) - Source : Chapman et al., 1976

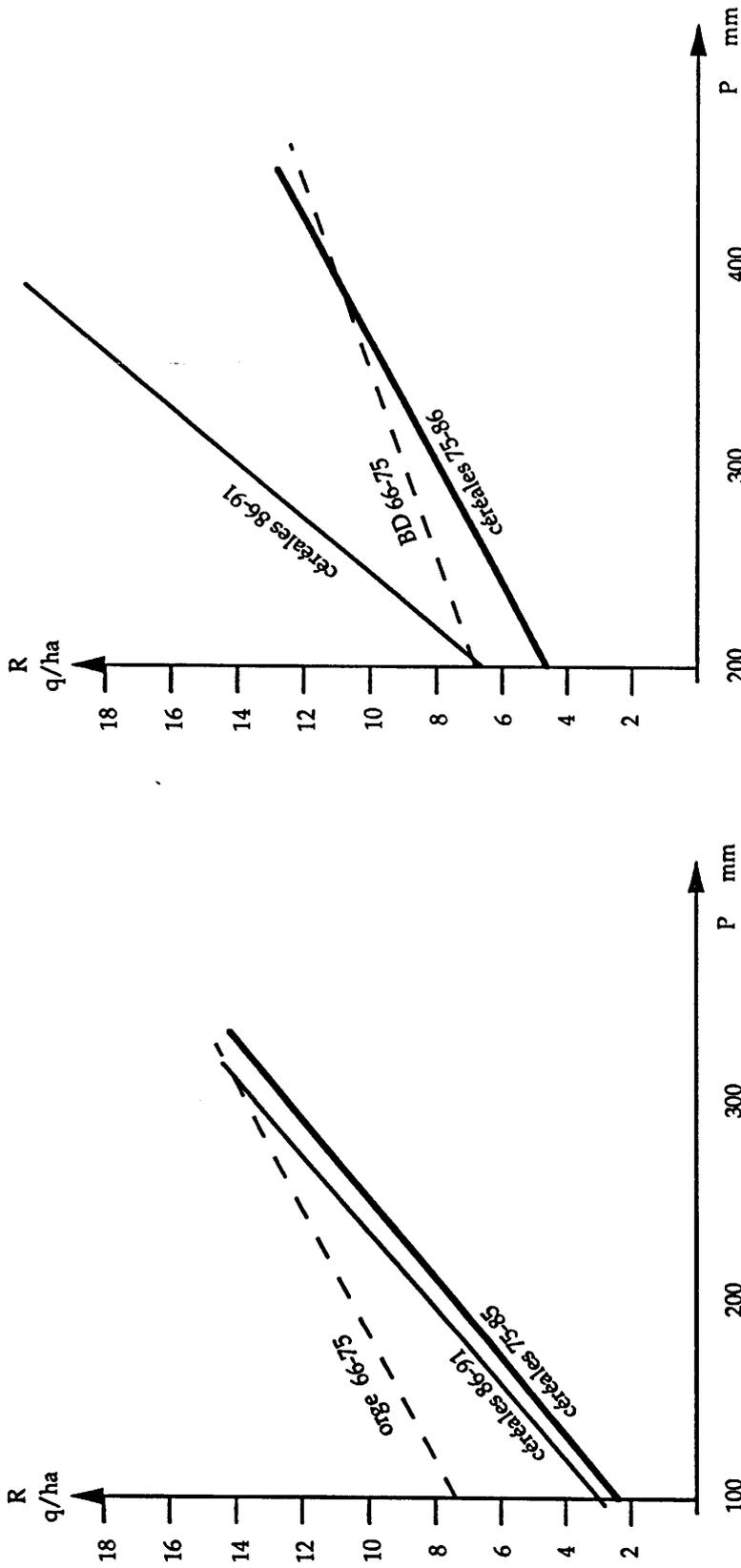


Pour vérifier cette hypothèse, nous avons calculé les coefficients de corrélation et les droites de régression pluviométrie-rendement des céréales, au cours des périodes 1975-86 (11 ans) et 1986-1991 (6 ans), en zone semi-aride, représentée par la province de Settat et en zone aride, représentée par la province de Marrakech. Les résultats sont indiqués sur la figure III.8.

Les droites de régression ont été comparées avec celles calculées par Papy (1978), au cours de la période antérieure (1966-1975). Bien que les bases géographiques de l'étude conduite par ce dernier soient plus vastes que les deux provinces que nous avons retenues, la proximité des pluviométries moyennes autorise la comparaison.

L'analyse de ces résultats, en particulier des pentes des droites de régression qui constituent des indicateurs de la valorisation des pluies par les cultures, montre qu'en zone aride il n'y a pas de différences significatives en ce qui concerne cette valorisation entre la période 75-86 et celle de 86-91. Par rapport à la période 66-75, la productivité des céréales semble même avoir diminué, du moins pour les pluviométries inférieures à 300 mm.

Figure III.8 : Evolution de la relation pluviométrie-rendement des céréales au cours des vingt dernières années, en zones aride et semi-aride marocaines



Séries (1)	Zone aride			Zone semi-aride				
	$\bar{P}$ mm	$\bar{R}$ q/ha	r	Régression $R = aP + b$	$\bar{P}$ mm	$\bar{R}$ q/ha	r	Régression $R = aP + b$
1975-85 (11 ans)	203	7,41	0,82 **	$R = 0,048 P - 2,4$	295	7,7	0,82 **	$R = 0,031 P - 1,6$
1986-91 (6 ans)	219	8,78	0,75 *	$R = 0,051 P - 2,3$	314	14,6	0,81 **	$R = 0,07 P - 7,4$
Papy 1966-75	240	-	0,74 *	$R = 0,03 P + 4,26$ (orge)	290	-	0,74 *	$R = 0,02 P - 2,92$ (blé dur)

(1) Ensemble des céréales pour 1975-85 et 1986-91, orge en zone aride et blé dur en zone semi-aride pour 66-75

L'accroissement du parc de tracteurs constaté au cours de la décennie 80 a davantage servi à l'augmentation des surfaces céréalières, au détriment de la jachère (El Baghati, 1991) qu'à l'amélioration des techniques de culture des céréales. L'augmentation du rendement moyen constatée d'une période à l'autre (+ 1,379 q/ha) résulte principalement d'une pluviométrie moyenne légèrement plus favorable.

En conclusion, dans les zones arides, les agriculteurs semblent avoir conservé une stratégie de culture extensive, considérant que les aléas climatiques sont trop importants pour garantir la rentabilité des frais de culture supplémentaires (travail en sec, engrais, semences sélectionnées) que nécessiterait l'intensification de leurs cultures. Par ailleurs, même si le taux de mécanisation a augmenté, il n'y avait en 1990 qu'un tracteur disponible pour 377 ha, ce qui limite les possibilités d'un meilleur calage du cycle par l'avancement de la date de semis.

En zone semi-aride, les rendements céréaliers ont fortement progressé entre la période 75-86 et celle de 1986-91, passant de 7,7 à 14,6 q/ha. Il est intéressant de se demander si cette augmentation, faisant suite à une longue période de quasi-stagnation des rendements (A. M. Jouve, 1980), est seulement due à des précipitations annuelles plus abondantes ou si, dans le même temps, des améliorations techniques sont intervenues dans la conduite des céréales.

La comparaison des droites de régression pour les deux périodes montre que l'accroissement des rendements à partir de 1985 n'est pas seulement dû à une pluviométrie moyenne un peu plus favorable (314 mm contre 295 mm) mais aussi à une meilleure valorisation des pluies que la modification de la pente de la droite de régression montre clairement.

La comparaison avec la droite de régression calculée pour le blé dur, durant la période 66-75, confirme ce changement d'efficacité dans la valorisation des précipitations.

A quoi est dû un tel changement ? Nous avons vu (tableau III.5) qu'au cours des années 80, une évolution sensible de l'utilisation des facteurs de production était intervenue en zone semi-aride. Cette évolution s'est forcément traduite par un changement dans la conduite des céréales qui correspond à une intensification aussi bien dans le sens économique (augmentation des facteurs de production par ha) que dans le sens agronomique (augmentation des rendements).

Mais seules des enquêtes de terrain, sur les modes de conduite des céréales, peuvent permettre de préciser la nature des changements techniques intervenus. Celles effectuées par le Département du Développement Rural de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, en Chaouia (Elbehri, 1986), montrent, effectivement qu'à partir de 1985, les agriculteurs ont modifié leurs itinéraires techniques : les préparations du sol sont devenues plus soignées, les

semis plus précoces, l'utilisation des semences sélectionnées et des engrais s'est sensiblement accrue, seule l'utilisation du semoir est restée très rare (cf. tableau III.5).

Ce choix de l'intensification résulte, en partie, des campagnes de vulgarisation qui ont fait connaître aux agriculteurs les résultats des recherches entreprises en aridoculture (alors que l'utilité et l'efficacité de la recherche agronomique sont souvent contestées, nous avons là un exemple d'une recherche, effectuée avec des moyens modestes qui, dans un délai relativement bref, a débouché sur un changement des pratiques des agriculteurs et une amélioration sensible de la production).

Ceci étant, ces changements n'auraient probablement pas été aussi importants si, dans le même temps, les agriculteurs n'avaient bénéficié de subventions pour l'achat de matériel agricole et d'intrants et d'une bonne pluviométrie.

Avec le retour d'années sèches en 1991-1992 et 1992-1993 et la suppression (semences, engrais) ou la réduction (acquisition de tracteur et de matériel agricole) des subventions, faisant suite à la politique de désengagement de l'Etat, on peut se demander si les agriculteurs vont persévérer dans leur effort d'intensification ou s'ils ne vont pas revenir à des pratiques plus extensives.

Dans un pays qui, suivant les années, importe entre 10 et 20 millions de quintaux de céréales, ce dernier choix serait particulièrement préjudiciable à l'économie nationale et pourrait conduire à la remise en cause d'une politique agricole qui a eu comme effet d'accroître les risques économiques que courent les agriculteurs.

### **3 - Les voies d'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures au Sahel**

Au début de cette troisième partie, nous nous sommes posé la question de savoir quels étaient les moyens les plus appropriés pour améliorer l'alimentation hydrique des cultures en milieu aride et quelles stratégies la recherche pouvait proposer pour cela, selon les grands types de situations agro-écologiques.

Si, pour répondre à ces questions, nous disposions, au Maroc, d'expérimentations que nous avons nous-mêmes conçues, il n'en a pas été de même au Sahel où notre recherche a plutôt porté sur l'analyse des pratiques des agriculteurs et de leurs systèmes de production. Cependant, dans le cadre des programmes de Recherche-Développement que nous avons suivis, nous avons pu participer à l'élaboration de campagnes d'expérimentation en milieu paysan et à l'interprétation de leurs résultats (34).

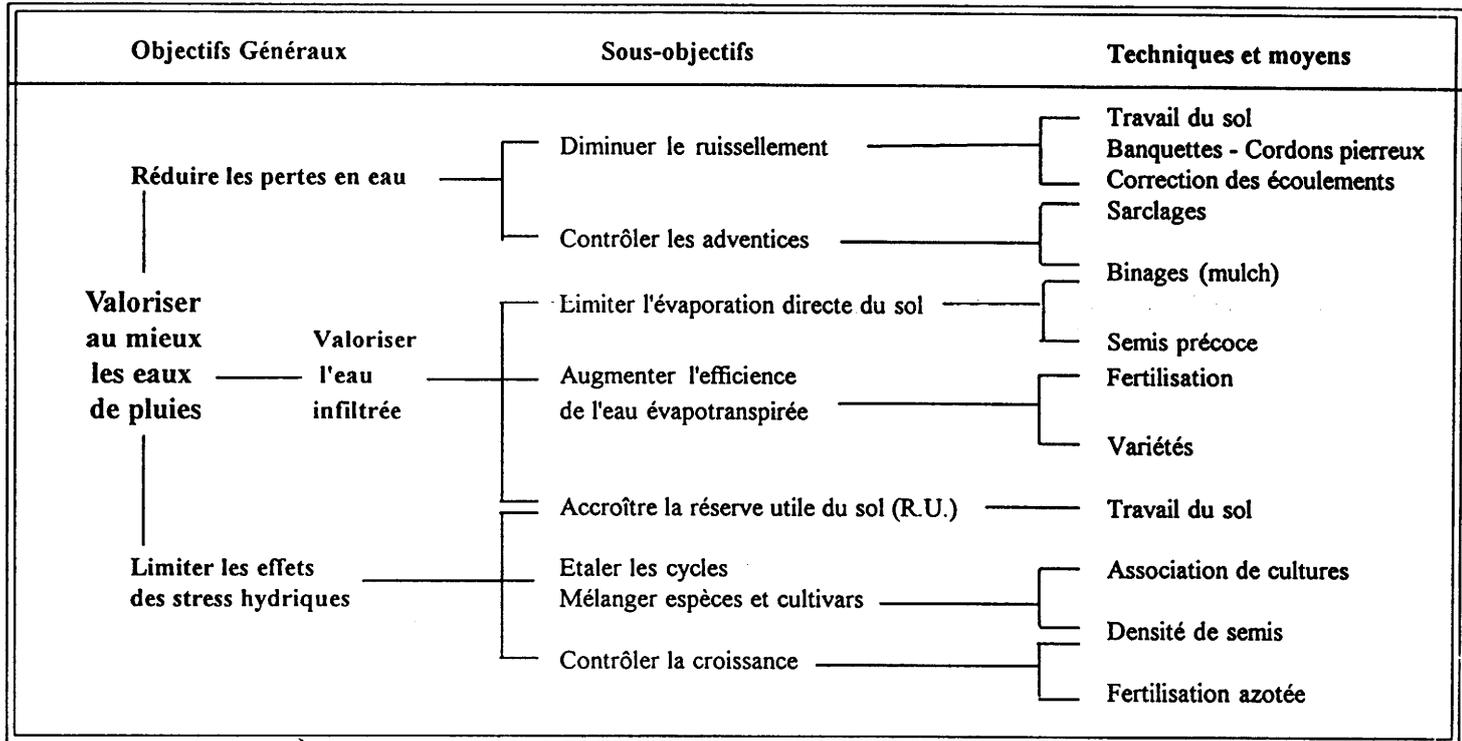
Par ailleurs, l'animation de la composante "systèmes de production" du Réseau de recherche sur la résistance à la sécheresse au Sahel (R3S) nous a donné l'occasion d'échanges et de débats sur les possibilités d'adaptation des cultures à l'aridité (29). Enfin, l'abondante littérature suscitée par les sécheresses récurrentes du Sahel et l'accumulation, depuis près de 30 ans, de références expérimentales obtenues en station sur les effets du stress hydrique et les moyens d'y remédier, nous ont également apporté des éléments d'appréciation très utiles (Pieri, 1989).

C'est en combinant ces différentes sources d'information, et en les confrontant à ce que nous ont appris l'observation et l'analyse des pratiques paysannes, que nous allons essayer de définir les voies et moyens d'adaptation de la conduite des cultures à l'aridité, dans le contexte sahélien.

Au préalable, soulignons que les remarques faites sur les relations entre amélioration variétale et amélioration culturelle, restent plus que jamais valables au Sahel, où, peut-être plus qu'au Maghreb, la présence d'organismes régionaux de recherche (ICRISAT, INSAH-CILSS, ITA...) et la multiplication des réseaux organisés par culture, tendent à favoriser les programmes d'amélioration variétale au détriment de ceux consacrés aux améliorations culturelles.

Compte-tenu des caractéristiques générales de l'agriculture sahélienne, on peut définir un certain nombre de grands thèmes d'amélioration de la conduite des cultures en vue d'assurer une valorisation maximale des précipitations. Ces thèmes sont représentés sur la figure III.9. Toutefois, l'expérience du terrain nous enseigne que le raisonnement des techniques culturales doit se faire en tenant compte des spécificités locales et s'adapter à la variation des sols, des cultures et des systèmes de production.

Figure III.9 : Voies d'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures pluviales au Sahel



Nous situant ici à l'échelle régionale, il n'est pas possible de prendre en considération cette diversité des situations locales, même si l'on sait que l'on devra en tenir compte lors du conseil technique des agriculteurs.

Par contre, dans la définition des axes directeurs des stratégies qui peuvent leur être proposées, il nous paraît indispensable de distinguer les deux grands types de milieu identifiés au sein du Sahel, à savoir les milieux sableux d'origine dunaire et les milieux cuirassés, entre les deux la dynamique de l'eau et sa valorisation étant nettement différenciées, (cf. première partie).

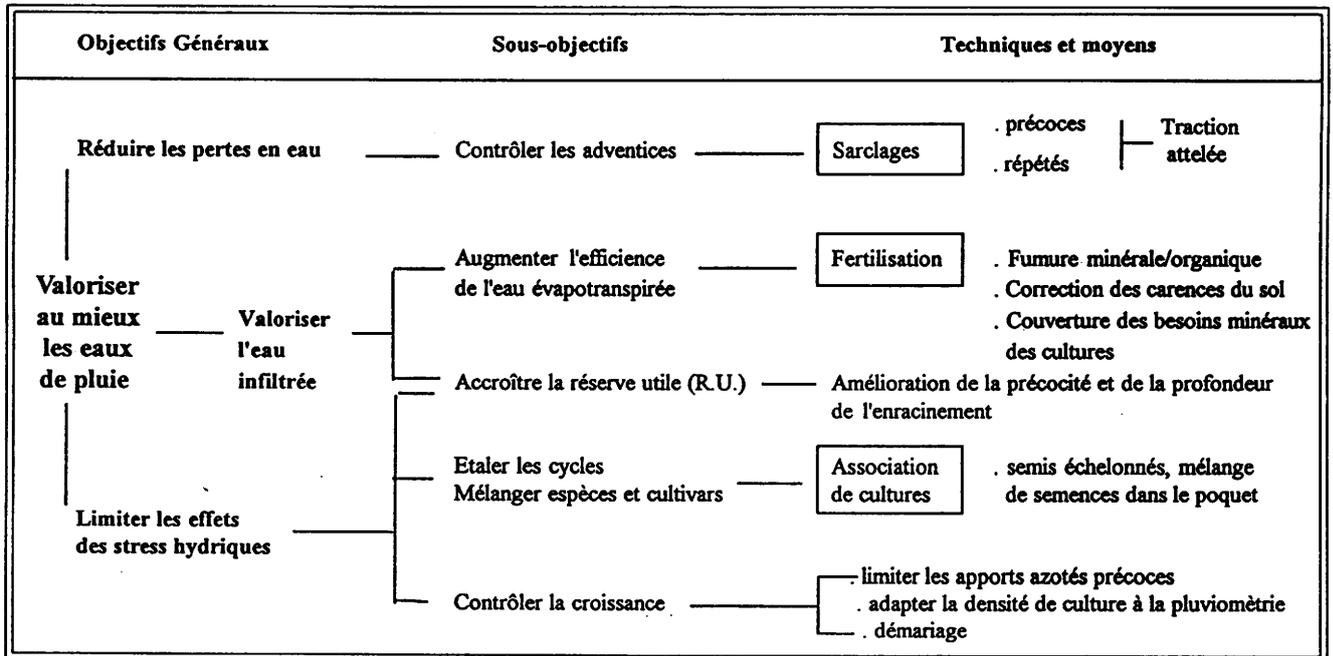
En ce qui concerne le premier milieu, nous utiliserons surtout les données recueillies dans le cadre du programme Recherche-Développement de Maradi (Niger) que nous avons suivi de 1983 à 1987, en y ajoutant un certain nombre de résultats obtenus dans le bassin arachidier du Sénégal.

Quant à la valorisation de l'eau dans le deuxième type de milieu, nous l'examinerons à la lumière de recherches effectuées par le Département des Systèmes Agraires du CIRAD dans le Yatenga (Burkina Faso) et plus spécialement par P. Dugué entre 1982 et 1987.

### 3.1 - L'économie et la valorisation de l'eau par les cultures dans les milieux sableux

Les principaux objectifs à rechercher pour améliorer l'alimentation hydrique des cultures dans ce type de milieu et les moyens techniques permettant de les atteindre sont représentés dans la figure ci-dessous.

Figure III. 10 : Voies d'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures pluviales au Sahel, dans les milieux sableux d'origine éolienne



• *Assurer des sarclages précoces et fréquents*

Comme dans toutes les situations d'aridité, particulièrement dans celles où il pleut durant la saison de culture (hivernage), le contrôle des mauvaises herbes constitue un objectif primordial. Dans les milieux sableux, la nature du sol favorise un démarrage rapide des adventices et si l'on veut éviter un envahissement de la culture, il faut pratiquer un sarclage précoce, qui devra ensuite être renouvelé.

Or, il se trouve que la période correspondant à la réalisation de ces premiers sarclages est, au Sahel, une période de pointe de travaux. Pour faire face aux exigences en travail durant cette période, les agriculteurs ont habituellement recours à l'entraide, sous différentes formes. Mais, en agriculture manuelle, ce recours s'avère insuffisant ; il en résulte qu'au sein des exploitations, les champs proches et de bonne fertilité reçoivent 2 à 3 sarclages, tandis que les champs éloignés ou moins fertiles n'en reçoivent qu'un, quand ils ne sont pas abandonnés aux mauvaises herbes.

Plutôt que de recourir à de tels expédients, il serait préférable d'améliorer la productivité du travail. C'est ce que permet l'utilisation de la traction animale. Les agriculteurs de ces milieux l'ont d'ailleurs fort bien compris qui, lorsqu'ils en ont la possibilité, acquièrent attelages et matériel pour, en priorité, sarcler leurs champs plus vite et plus souvent. Nous avons déjà noté que c'est en adoptant une telle stratégie que les agriculteurs du pays Sérér ont pu maintenir, voire améliorer, le rendement de leurs cultures au cours des vingt dernières années en dépit de la diminution des pluies.

- *Rééquilibrer les associations de culture*

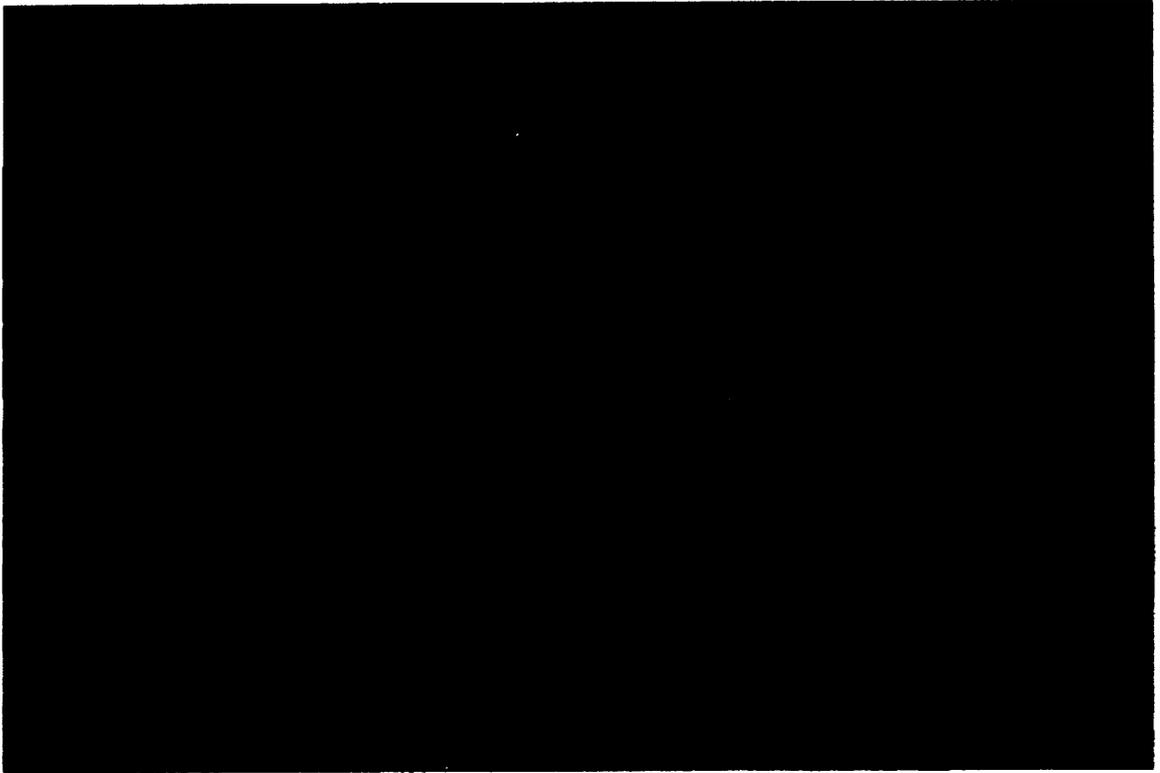
Ces associations constituent un deuxième moyen d'adaptation à l'aridité. Nous avons déjà discuté de l'intérêt que représente cette pratique (2ème partie).

A Maradi, où l'association entre céréales et légumineuses est très largement pratiquée, le suivi, en 1984, de plus de 1.100 parcelles paysannes (Le Gal, 1986) et la réalisation de tests de comparaison de cultures pures et de cultures associées durant les campagnes 1983 et 1984, n'ont pas mis en évidence une supériorité des rendements des cultures associées. Pourtant, les agriculteurs sont très attachés à cette pratique ; ce ne serait donc pas du fait de sa plus grande productivité, mais plutôt parce qu'elle procure un certain nombre d'avantages, comme l'économie de main d'œuvre, la diminution des attaques parasitaires sur niébé et qu'elle demeure une pratique anti-aléatoire.

Constatant que, dans les associations traditionnelles, la place des légumineuses était assez résiduelle, des essais ont été effectués, en 1986 et 1987, pour comparer, en milieu paysan, ces associations traditionnelles avec des associations faisant une place plus importante aux légumineuses (niébé, arachide). Il s'est avéré, que dans ces conditions, le rendement des céréales n'était pas affecté, tandis que celui des légumineuses était nettement amélioré, augmentant le produit brut de la culture de 30 à 250 % (Projet Maradi, 1987).

- *L'entretien de la fertilité chimique des sols, condition essentielle d'une bonne valorisation des eaux de pluie*

Pour assurer cet entretien de la fertilité des sols au Sahel, le recours aux fertilisants minéraux est une solution particulièrement controversée, laquelle a suscité et qui suscite encore des débats et des prises de position très tranchées. Aussi, allons nous essayer d'aborder cette question avec le maximum d'objectivité, en commençant par examiner les résultats d'un certain nombre d'expérimentations effectuées, en milieu paysan, dans le département de Maradi.



15 - *Partie centrale du département de Maradi où la disparition des arbres, des jachères et des parcours a entraîné une baisse de fertilité du sol*



16 - *Développement du striga dans les champs de mil, symptôme de la baisse de fertilité des sols*

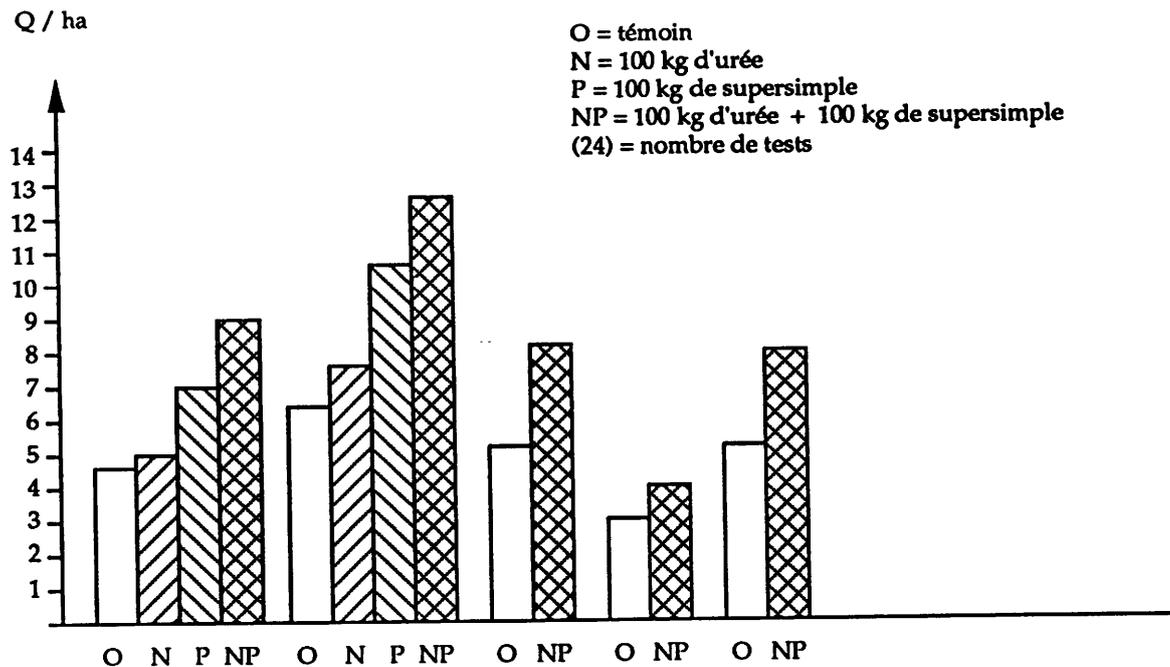
Une première série d'essais de fertilisation a été réalisée entre 1981 et 1984, en liaison avec le programme national d'essais d'engrais, conduit par la FAO. Ensuite, dans le cadre du programme Recherche-Développement du Projet Maradi, des tests de fertilisation ont été réalisés dans plusieurs villages représentatifs des grands types de situation agro-écologique. Ainsi que dans les premiers essais, les itinéraires techniques des parcelles recevant de l'engrais étaient améliorés, dans les seconds, on a testé l'action de la fertilisation minérale dans les conditions de la pratique paysanne, c'est-à-dire sans changer les autres techniques de culture, ce qui peut expliquer les écarts de rendement entre les deux séries de données (figure III.11).

Les principaux résultats de ces expérimentations sont les suivants :

- d'une façon générale, on note une forte réponse des cultures aux apports de fertilisants, même durant les années à pluviométrie déficitaire comme 1982, 1983 et 1984.
- l'apport d'azote seul, sous forme d'urée, a un effet limité et pas toujours significatif. Il est en général, moins efficace que l'apport de phosphore, sous forme de superphosphate simple. Quant à l'apport de potasse, il ne marque pas.
- il apparaît une forte interaction positive azote-phosphore qui traduit une synergie entre ces deux éléments.
- l'apport de fumier, à une dose faible (5 T / ha), d'un coût équivalent aux apports de fertilisants phospho-azotés, a un effet inférieur à ceux-ci.
- la réaction du sorgho aux engrais est proche de celle du mil. Les légumineuses, arachide et niébé, ne réagissent pas à la fertilisation azotée. Par contre, le rendement du niébé est sensiblement amélioré par l'apport de superphosphate.
- la réponse des cultures associées (mil, sorgho, niébé ou arachide) aux fertilisants ne se manifeste que sur les céréales et se rapproche de celle des cultures pures, du fait probablement de la proportion limitée des légumineuses dans les associations traditionnelles. Un rééquilibrage de ces associations, au profit des légumineuses, permet à celles-ci de bénéficier des apports d'engrais.
- des essais effectués en 1985 ont mis en évidence un arrière-effet des apports de fertilisants de l'année précédente entraînant un surcroît de production sur mil de 40 à 110 kg/ha, pour une fertilisation, l'année précédente, de 50 kg d'urée et 100 kg de superphosphate simple.

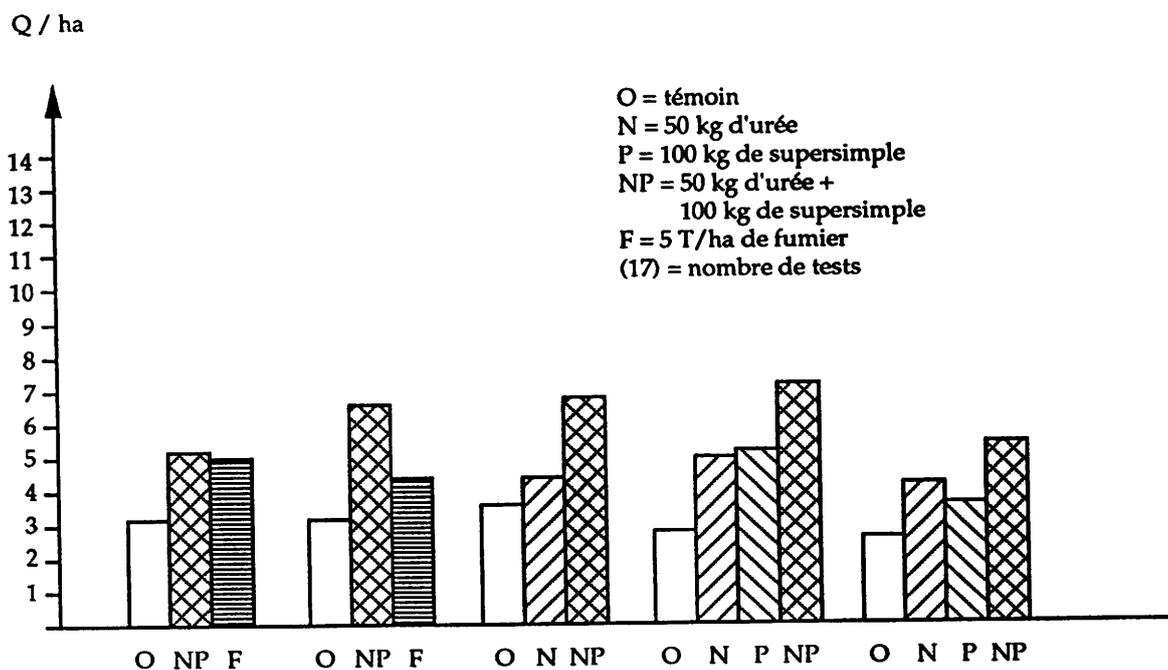
Figure III.11 - Résultats des tests de fertilisation, en milieu paysan, à Maradi

a - Tests engrais / FAO



Année	1981	1983	1983	1984	1985
P en mm à Maradi	380	300	320	290	(349)

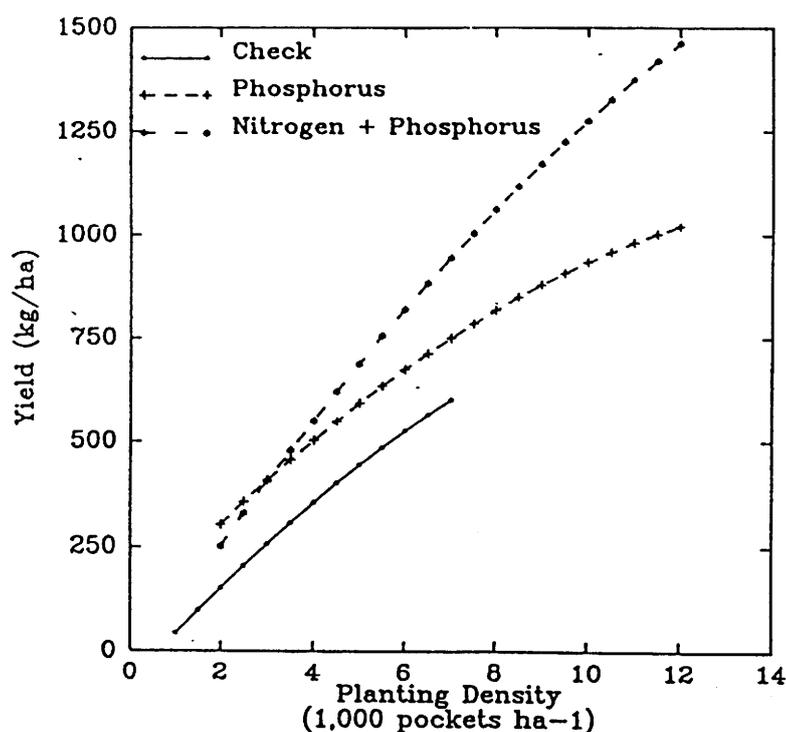
b - Tests en milieu paysan - Programme R-D.



Année	1984	1985	1986	1987
P en mm	290	349	468	187

Ces résultats ont été confirmés par des essais conduits au Niger, de 1986 à 1988, par l'Institut International de Recherche Agronomique pour les zones tropicales semi-arides (ICRISAT) et le Centre International de Développement de la Fertilisation (IFDC), dans des conditions proches de celles de Maradi : c'est-à-dire en milieu paysan, en respectant les itinéraires techniques des agriculteurs, et sur des sols ferrugineux tropicaux (95 % de sable) avec cependant une pluviosité un peu plus élevée (509 à 732 mm). Ces essais de fertilisation phospho-azotée (30N, 30P) sur mil, se sont traduits par un accroissement moyen des rendements de 125 % avec P seul et de 180 % avec N et P. Ils ont également montré une forte interaction de l'efficacité des engrais avec la densité de poquets (figure III.12) et un effet résiduel significatif de la fertilisation phosphatée (Bationo A. et al, 1990).

Figure III.12 : Effets de la fertilisation azotée et phosphatée sur mil en fonction de la densité de poquets, au Niger



Source : ICRISAT, IFDC (1990)

Comment expliquer de tels résultats qui montrent qu'à des doses modestes (23 à 30 unités d'azote, 20 à 30 unités de phosphore par ha) et même en années sèches, les engrais ont un effet positif sur les rendements ?

Il faut, tout d'abord, rappeler que si les sols sableux d'origine dunaire présentent un certain nombre d'avantages vis-à-vis de l'économie de l'eau en zone aride (cf. première partie), par contre, la faiblesse de leur complexe argilo-humique fait qu'ils ont un volant de fertilité très faible. Quelques années après leur mise en culture, leur taux de matière organique (inférieur à 3 % sous

végétation naturelle) tombe très vite en dessous de 1 % (Pieri, 1989). Enfin, rappelons qu'ils sont généralement fortement carencés en phosphore.

Ces différentes caractéristiques expliquent, à la fois, la baisse rapide de fertilité de ces sols après leur mise en culture et, en même temps, leur forte et rapide réaction aux apports d'engrais même à dose limitée. En quelque sorte, ils ont les avantages de leurs défauts.

Bien que la nature même du programme de Recherche-Développement n'ait pas permis d'analyser en détail les mécanismes d'action de ces apports de fertilisants, un certain nombre d'observations de terrain conduisent à penser que l'action bénéfique de la fertilisation phospho-azotée sur céréales (mil, sorgho) est en partie due au développement plus précoce, plus dense et plus profond du système racinaire. Un tel effet des apports de fertilisants a été vérifié, sur mil, en station expérimentale (Chopart, 1980).

Dans des sols pouvant stocker de l'eau sur une grande profondeur et dans un milieu où les périodes de pluie peuvent être séparées par plusieurs semaines de sécheresse, cette amélioration de l'enracinement constitue, en effet, un élément très favorable à la valorisation de l'eau et peut expliquer la synergie constatée entre alimentation minérale et hydrique des cultures.

Ces résultats vont à l'encontre d'un certain nombre d'affirmations sur les dangers que représenterait l'emploi des engrais en zones arides et plus spécialement au Sahel. Pour discuter de la validité de telles affirmations, il nous paraît nécessaire de distinguer les effets de la fertilisation phosphatée et ceux de la fertilisation azotée.

Dans des milieux carencés en phosphore, l'apport d'engrais phosphatés ne peut avoir que des avantages et, aussi bien en station qu'au champ, il n'a pas été constaté d'effets nocifs de ces apports sur les cultures, bien au contraire.

Par contre, la fertilisation azotée, minérale ou organique, peut, en année sèche, faire courir un risque aux cultures. En favorisant un développement plus important et plus précoce de l'appareil végétatif, elle peut en effet entraîner un épuisement prématuré des réserves en eau du sol et affecter la formation des épis ou des gousses et le grossissement des grains.

Nous avons observé un tel phénomène durant la sécheresse de 1984, dans des champs de mil, en première auréole, semés à forte densité et abondamment fumés. Si cet effet négatif de la fertilisation azotée ne s'est pas manifesté dans les tests en milieu paysan, même durant les années les plus sèches, c'est que ceux-ci ont été réalisés dans des champs choisis avec les agriculteurs où eux-mêmes, s'ils en avaient eu les moyens, auraient apporté des engrais. Or ces champs se situent rarement en première auréole où la fertilisation des cultures peut être assurée par d'autres moyens que les engrais (parcage, résidus de case), mais plus généralement en deuxième auréole, où les risques d'un excès d'azote sont limités (figure III.13).

*Essai de fertilisation phospho-azotée sur mil*

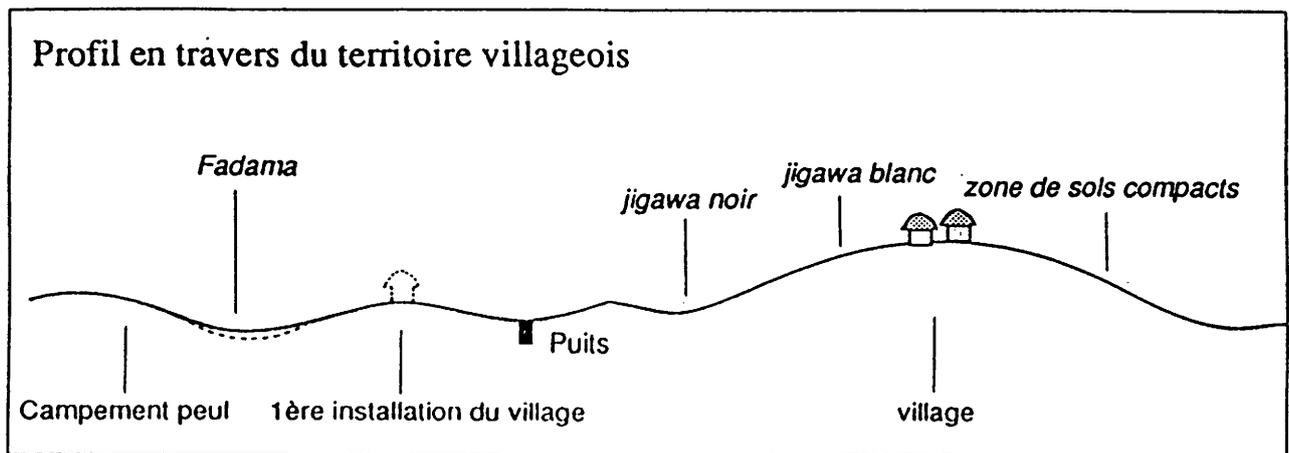
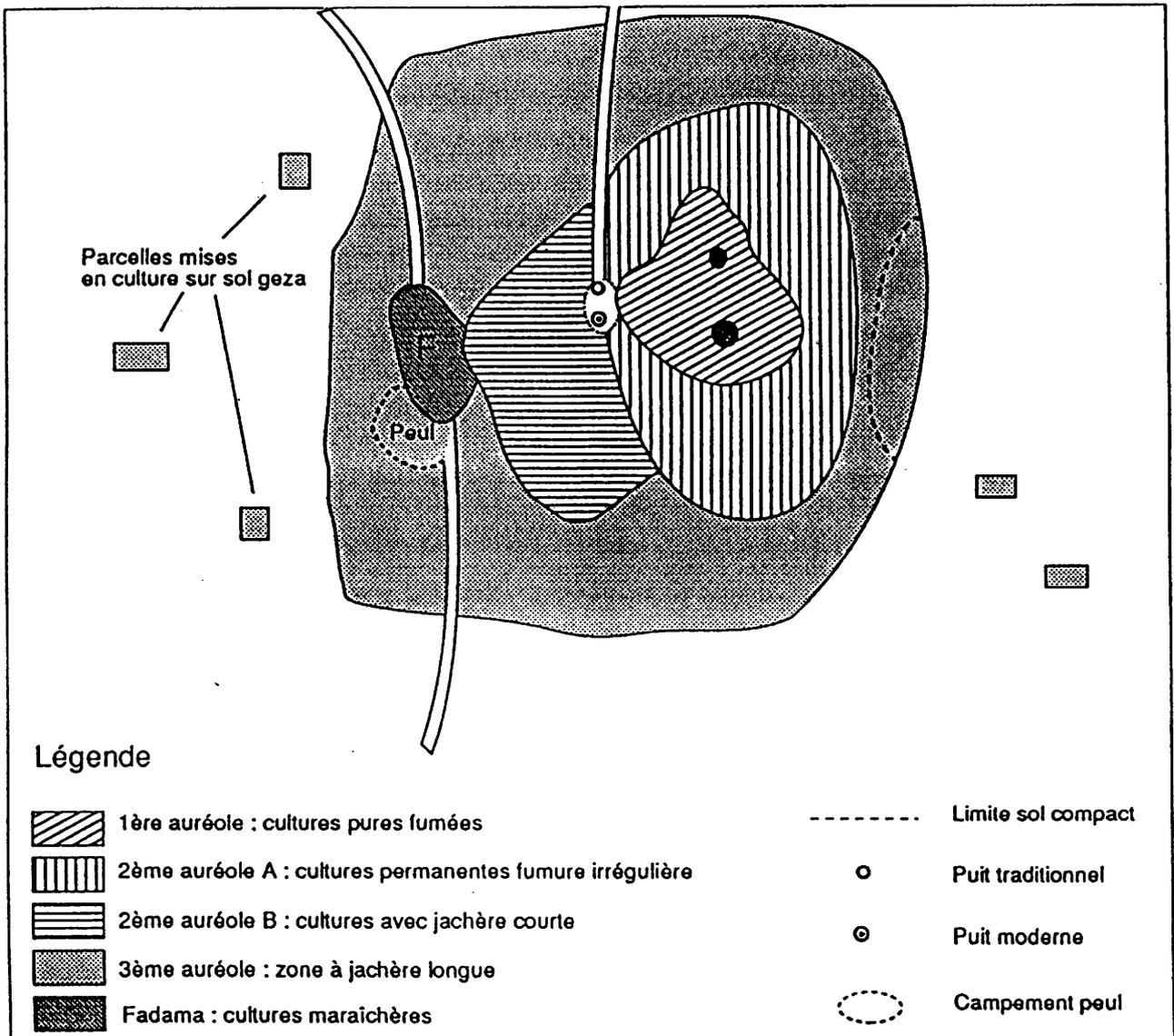


*17 - Plant de mil et son enracinement dans le traitement non fertilisé*



*18 - Plant de mil et son enracinement dans le traitement fertilisé (Maradi, Niger)*

Figure III.13 - Structuration auréolaire du territoire villageois de Kouloum Boutey et différenciation des modes d'entretien de la fertilité des sols



Source : D.S.A. n°3. Typologie des agro-systèmes villageois du département de Maradi  
MAR 1.2

Par contre, de mauvaises conditions d'épandage de l'engrais azoté peuvent provoquer des dégâts sur les cultures. Ainsi, des brûlures ont été constatées sur mil et sorgho par suite d'apports d'urée, directement sur les jeunes plants. Des essais effectués en 1985 ont permis de montrer aux agriculteurs qu'il était plus avantageux d'enfouir l'urée (réduction des pertes par volatilisation) et de l'appliquer plus précocement. Le gain de rendement qui en résultait a été évalué un peu plus de deux quintaux par hectare (Projet Maradi, 1986).

Sur le plan agronomique, il est difficile à partir d'expérimentations qui n'ont duré que six ans, sur des sites chaque fois différents, de tirer des conclusions définitives sur les possibilités d'assurer l'entretien de la fertilité de ces sols sableux par la seule utilisation des engrais. C'est alors que les enseignements de la recherche et en particulier des essais de longue durée, s'avèrent particulièrement utiles (Pieri, 1989). Ceux-ci nous apprennent que :

- 1 - *"L'acidification des terres cultivées (en zones sahéliennes) ne recevant qu'une fumure minérale est un processus généralisé et parfaitement perceptible à l'analyse"*.
- 2 - *"Cette acidification peut être techniquement maîtrisée par la pratique du chaulage"*. Mais le manque de disponibilités en chaux dans de nombreuses régions d'Afrique de l'Ouest rend cette solution difficile à pratiquer.
- 3 - *"L'association, même à dose limitée (5 T/ha/an) de fumure organique à la fumure minérale apporte une amélioration incontestable du pH du sol"*.
- 4 - *"En améliorant les rendements, les apports de fertilisants peuvent limiter, à un seuil acceptable, la baisse inéluctable du taux de matière organique"*, consécutive à la mise en culture des sols et ceci grâce à l'accroissement de l'enracinement et des possibilités de restitution des résidus de culture.

Il apparaît donc que sous réserve d'un certain nombre de précautions, notamment en associant fumure minérale et organique, les engrais peuvent permettre d'entretenir, voire d'améliorer, la fertilité des sols des milieux sableux sahéliens et ainsi contribuer efficacement à la valorisation de l'eau dans ces milieux.

Si, au vu des résultats enregistrés à Maradi, confirmant ceux obtenus dans des milieux similaires, l'action positive des engrais sur la fertilité des sols et les rendements des cultures n'est pas contestable, on peut, par contre, discuter de leur intérêt économique.

N'ayant pas entrepris de recherches particulières sur ce thème, nous nous contenterons de rapporter les résultats des évaluations économiques des expérimentations en milieu paysan faites à Maradi.

Sur la base des prix respectifs du mil et des engrais en 1986 (40 F CFA le kg de mil, 60 F CFA le kg d'urée et 50 F CFA le kg de super-simple) il fallait un surcroît de production de deux quintaux de mil, pour rembourser le coût de la fertilisation minérale recommandée aux agriculteurs (50 kg d'urée, 100 kg de super-simple).

Dans les expérimentations en milieu paysan où cette dose d'engrais a été utilisée, ce seuil a été dépassé, sauf les années particulièrement sèches de 1984 et 1987. Cependant, il faut noter que, durant ces années, la baisse de production en mil entraîne un renchérissement de son prix qui atteint alors facilement les 60 F CFA le kg, ce qui abaisse le seuil de rentabilité des engrais. Par ailleurs, ces calculs ne prennent pas en compte les arrières-effets de la fertilisation constatés sur le terrain.

Les essais du même type, effectués par l'ICRISAT et l'IFDC, ont fait également l'objet d'une évaluation économique dont les résultats sont représentés sur la figure III.14.

La rentabilité de ces essais a été estimée en calculant le rapport entre la valeur du surcroît de production et le coût de l'investissement en engrais.

La FAO considère qu'une innovation est acceptable quand ce ratio est supérieur à 2). En fait, ce rapport varie en fonction des prix respectifs des engrais et du mil (ratio prix N + P/mil). Il est aussi, dans ces essais, dépendant de la densité de poquets qui s'est révélée être fortement corrélée au rendement ; ce que montre clairement la figure III.14.

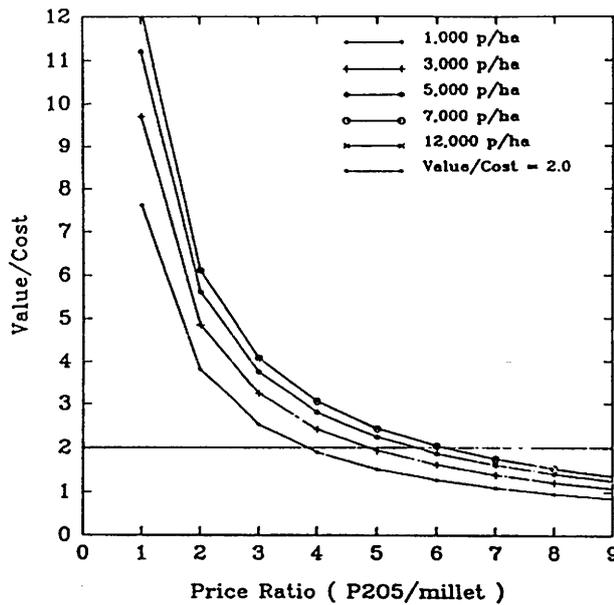
Ces résultats confirment qu'au prix du mil et des engrais en 1986 (ratio de prix : 2,75), la fertilisation phospho-azotée (30 N + 30 P) est largement rentable.

A ces considérations agronomiques et économiques sur l'intérêt des engrais, il n'est pas inutile d'ajouter l'avis des utilisateurs que sont les agriculteurs. Il se trouve que dans le programme de Recherche-Développement de Maradi, cet avis a été systématiquement recueilli en tant qu'élément d'évaluation des expérimentations en milieu paysan.

Il en ressort que les agriculteurs sont convaincus de l'intérêt des engrais et sont prêts à les utiliser, mais ils sont confrontés à plusieurs difficultés :

- le manque de disponibilités monétaires pour les acquérir, surtout en fin de saison sèche ;
- l'éloignement des marchés et des sources d'approvisionnement, ainsi que l'insuffisance des moyens de transport.

Figure III.14 - Intérêt économique de la fertilisation phosphatée du mil (Maradi, Niger).



Source : ICRISAT, IFDC (1990)

Pour pallier ces difficultés, des banques d'engrais ont été expérimentées dans un certain nombre de villages relevant du programme de Recherche-Développement. Un crédit leur a été alloué pour acquérir les engrais, lequel était ensuite remboursé après la récolte avec le surcroît de production procuré par les engrais. Le suivi de cette opération (Léonardi, 1987) a montré que la quasi-totalité des villageois ont alors utilisé les engrais, y compris les femmes sur leurs "gamana" (champs individuels). Le succès de l'opération a été tel que plusieurs dizaines de villages ont ensuite demandé à bénéficier de telles banques d'engrais. Bien que celles-ci, en l'absence de système de réassurance, restent à la merci d'une succession d'années sèches, les résultats obtenus montrent clairement que ce qui limite l'utilisation des engrais dans des régions comme Maradi, ce n'est pas l'ignorance des agriculteurs, mais l'absence d'organisation et de crédit leur permettant d'en acquérir.

En dépit de ces différents éléments favorables aux engrais, il n'en reste pas moins que ceux-ci coûtent cher et sont en majorité importés. Aussi, on est en droit de se demander si, au Sahel, pour des exploitations disposant de très faibles ressources monétaires et pour des pays à la balance commerciale déficitaire, il n'y a pas d'autres solutions que le recours aux fertilisants minéraux importés pour gérer la fertilité des sols.

Pour répondre à une telle question, il faut resituer le rôle de la fertilisation minérale parmi l'ensemble des moyens que les agriculteurs peuvent utiliser pour entretenir la fertilité chimique de leurs terres. Ces moyens sont :

- la jachère, à condition cependant qu'elle soit de suffisamment longue durée (> 6 ans), pour assurer le développement d'un couvert arbustif ou arboré permettant un transfert vertical de fertilité (38) ;
- l'association agriculture-élevage grâce à laquelle peuvent être effectués des transferts de fertilité des zones pastorales vers les zones cultivées ;
- l'introduction, dans les assolements et les rotations de légumineuses (annuelles ou pérennes) améliorant le statut azoté des sols ;
- enfin, l'apport d'engrais et d'amendements extérieurs à la zone de culture.

L'importance de chacun de ces moyens et leur combinaison varient suivant la nature des systèmes de production et le stade d'évolution des systèmes agraires (Boserup, 1970). A Maradi, à travers l'étude des agrosystèmes villageois (35, 36), nous avons analysé les différents modes d'entretien de la fertilité et en particulier le rôle respectif des quatre grands moyens auxquels peuvent recourir les agriculteurs.

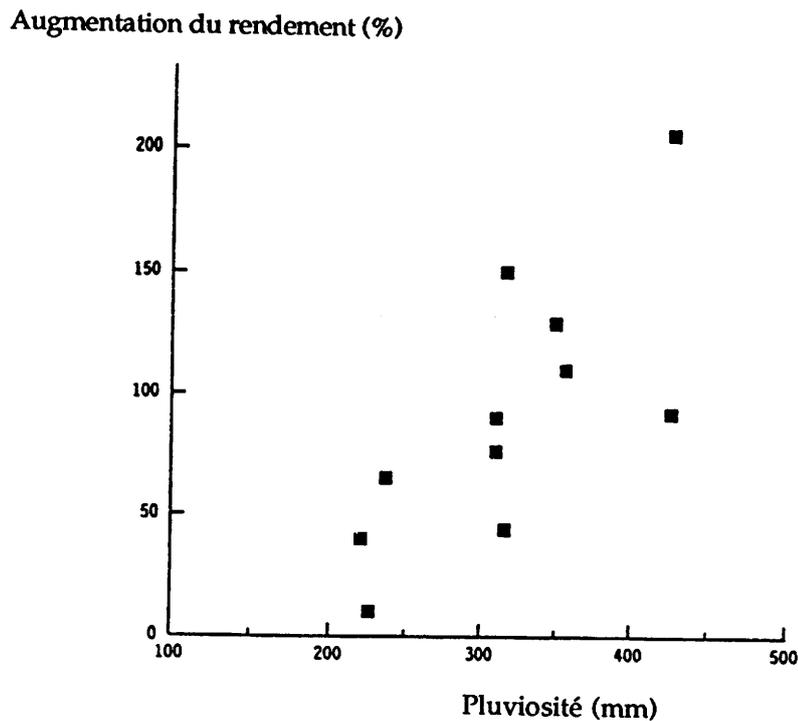
La forte variation de densité de population et d'ancienneté d'occupation du sol, en partie liées à l'intensité de l'aridité, font que l'on trouve au sein du département de Maradi des situations très contrastées.

Dans les zones de front pionnier et les zones les plus arides où la pluviométrie ne dépasse pas 300 mm, la densité de population est inférieure à 20 habitants au km<sup>2</sup> et le taux d'occupation du sol reste faible (< 25 %). Dans ces situations, l'entretien de la fertilité des sols peut être assuré par la jachère et l'association agriculture-élevage. L'emploi des engrais n'y est pas recommandé, d'autant que leur efficacité y est limitée.

Par contre, dans le centre et le sud du département où la densité de population dépasse les 100 habitants au km<sup>2</sup> et où les cultures occupent la quasi-totalité des terres cultivables, l'entretien de la fertilité par les moyens traditionnels devient très problématique. Les jachères ont pratiquement disparu, ainsi que les parcours, supprimant les possibilités de transfert de fertilité vers la zone de culture.

La fabrication de fumier par les animaux y est, par ailleurs, notablement insuffisante et de mauvaise qualité. Des études faites par le Centre de Recherches Agrobiologiques de Wageningen (Wijngaarden, 1988) ont montré qu'il faudrait que le taux d'occupation du sol ne dépasse pas 10 % pour que la production de fumier soit suffisante pour fertiliser les sols. Ce taux dépasse actuellement les 60%.

Figure III.15 : Rapport entre la pluviosité et l'augmentation de rendement du mil, par un apport de 50 kg d'urée et 100 kg de super-simple (1985, Département de Maradi).



Enfin, la culture des légumineuses (niébé, arachide) a sensiblement diminué par suite de la sécheresse et de la chute du marché ; quant aux légumineuses arborées, à l'exception du gao (*Acacia faidherbia*), protégé par les paysans, elles ont régressé par suite de la culture continue et de l'accroissement de la pression sur les ressources en bois.

Dans ces conditions, le recours aux engrais apparaît comme indispensable pour assurer le maintien de la fertilité des sols. D'ailleurs, les agriculteurs de la frange sud du département, frontalière du Nigéria, l'ont bien compris. Profitant du change avantageux entre le franc CFA et la niara, ils vont spontanément s'approvisionner en engrais au Nigéria.

Entre ces deux situations extrêmes, on a tous les intermédiaires, aussi bien au sein du département de Maradi (d'où l'intérêt de l'analyse des systèmes de production de cette région) que dans l'ensemble du Sahel (27). Aussi, doit-on bien analyser chaque type de situation avant de se prononcer sur les moyens les plus adéquats pour entretenir la fertilité chimique des sols et l'utilisation éventuelle des engrais.

Si nous devons définir une stratégie générale dans ce domaine, nous proposerions tout d'abord de corriger les carences minérales des sols, et en



19 - *Epandage de fumier (poudrette de porc) avant le semis (Pays Sérér, Sénégal).*



20 - *Effet du gao (Accacia Faidherbia) sur la fertilité du sol et la croissance des plants de tabacs situés près de lui (Maradi, Niger).*

particulier, la forte carence en phosphore des sols sableux dunaires. Les moyens endogènes et notamment le recyclage des résidus de culture et l'utilisation du fumier ne peuvent suffire pour corriger une telle carence. Par contre, il a été montré (Roesch, Pichot, 1984) qu'un apport limité d'engrais phosphaté (50 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en fumure de fond, suivi de 15 à 20 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en fumure annuelle d'entretien) suffisait, dans des sols comme ceux de Maradi, pour restaurer leur statut phosphaté. Par ailleurs, les mêmes travaux ont mis en évidence qu'une partie de cet apport pouvait être fait en utilisant des phosphates naturels comme ceux de Tahoua (Niger), largement sous-exploités.

Le bénéfice de cette intervention, face à son coût modique (moins de 1000 F CFA/ha), est tel que nous avons proposé de considérer le phosphatage des sols dunaires comme une opération d'amélioration foncière qui pourrait être prise en charge par la collectivité nationale ou l'aide internationale. A titre expérimental, cette amélioration foncière a été réalisée dans un des villages du programme Recherche-Développement de Maradi et a montré toute son efficacité. Si l'on considère que l'investissement à l'hectare que représente ce phosphatage de fond est inférieur au centième du coût d'investissement des aménagements hydroagricoles réalisés, sans grand succès, dans la région, on ne peut que souhaiter voir les bailleurs de fonds qui s'intéressent au développement agricole du Sahel reprendre cette idée à leur compte.

Cette correction faite, la deuxième proposition que nous ferions, compte-tenu de la faiblesse des ressources monétaires des agriculteurs et des Etats sahéliens, serait que l'emploi des engrais n'intervienne qu'après que l'on ait mis à profit les autres moyens, endogènes, d'entretien de la fertilité des sols.

Des progrès notables peuvent être faits, en matière de valorisation des sous-produits des cultures et des déjections animales (composts, fosses fumières), d'associations légumineuses-céréales et de reconstitution du parc arboré dans les zones cultivées (agroforesterie). L'arbre, du fait de ses multiples fonctions sur la protection et l'amélioration des sols, nous paraît être un élément essentiel d'une meilleure gestion des capacités productives des milieux sahéliens (Baumer, 1987).

Si ces moyens sont insuffisants, alors il n'y a pas de raison de refuser l'emploi des engrais, en sachant toutefois qu'à eux seuls ils ne peuvent, sur le long terme, assurer un entretien satisfaisant de la fertilité des sols et qu'ils doivent être associés à la fertilisation organique.

Dans les régions du Sahel, à forte densité de population où la fertilité des sols s'est fortement dégradée par suite de leur mise en culture continue, nous pensons, avec un certain nombre d'agronomes (Breeman, Mortimore, Pieri) que le scénario pessimiste évoqué en deuxième partie n'est pas une fatalité et que l'utilisation raisonnée de la fertilisation minérale peut contribuer à une sortie par le haut, de la crise économique et écologique que connaissent actuellement ces régions.

### 3.2 - L'économie et la valorisation de l'eau en milieu cuirassé

La stratégie à mettre en œuvre pour améliorer la valorisation de l'eau par les cultures, dans ce type de milieu, est sensiblement différente de celle proposée dans les milieux sableux d'origine dunaire, du fait de leur morphologie particulière (cf. première partie).

Dans les milieux cuirassés, l'existence de longs glacis et à pente faible (1 à 2%) reliant les parties amonts de la toposéquence (plateaux ou buttes à cuirasse latéritique) aux parties aval (bas-fonds ou cours d'eau) favorise le ruissellement des eaux de pluie. Ce ruissellement, accentué par la mise en culture des sols, a de nombreuses conséquences sur la productivité et la dynamique du milieu :

- tout d'abord, il diminue de 20 à 60 %, suivant les terrains, la quantité d'eau infiltrée dans le sol et disponible pour les cultures ;
- il provoque l'érosion des sols, qui peut prendre des formes diverses, érosion en nappe sur les glacis ou ravinement au niveau des ruptures de pente et le long des axes d'écoulement des eaux ;
- enfin, il affecte l'état physique et biologique des sols par suite d'une dégradation des états de surface, d'une baisse de porosité des horizons sous-jacents et d'une diminution de la macro et micro-faune du sol ainsi que de son activité microbienne.

Il en résulte une régression du couvert végétal naturel, qui renforce la dégradation des sols au point de rendre inculte une partie des surfaces de glacis par la formation de plaques de sol stérile, appelées "zipelle" par les mossis du Yatenga.

Ces phénomènes de dégradation des sols et les mécanismes qui les génèrent ont été bien étudiés par l'ORSTOM, en particulier par Valentin (1992) pour la dégradation des états de surface, Roose (1980) pour l'érosion des sols et Serpantié (1992) pour l'ensemble des perturbations qui affectent le fonctionnement de l'agro-écosystème.

Ces recherches ont mis en évidence une différenciation des phénomènes de dégradation suivant la nature et la position des terrains dans la toposéquence, ainsi que du caractère plus ou moins irréversible de ceux-ci.

De ces travaux, et des observations de terrain, il ressort clairement que si l'on veut améliorer les conditions d'alimentation hydrique des cultures dans ce type de milieu, la priorité doit être donnée à la réduction du ruissellement et de l'érosion des sols qui en résulte.

**a - Aménagements pérennes pour lutter contre le ruissellement et l'érosion**

La réduction du ruissellement et le contrôle de l'érosion nécessitent d'être entrepris à différentes échelles. C'est au niveau du bassin versant que l'on pourra réaliser les aménagements des hauts-glacis et des plateaux en vue de réduire l'intensité des écoulements en aval.

Ces aménagements combinent différentes interventions : création de diguettes en terre ou en pierres, correction de ravines et de *kori*, revégétalisation du sol par paillage et plantation d'herbacées pérennes (*Andropogon gayanus*) ou d'espèces ligneuses (*Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*, *Ziziphus mauritania*..).

Sur les glacis, ces interventions amont seront complétées par des aménagements à l'échelle des parcelles visant à réduire l'érosion et favoriser l'infiltration des eaux de pluie. La technique des cordons pierreux isohypses, associés ou non à des végétaux pérennes, s'est révélée relativement efficace dans de nombreuses situations. En jouant le rôle de digues filtrantes, ces cordons pierreux ralentissent le ruissellement sans pour autant créer une zone d'engorgement, en amont de la diguette, qui serait préjudiciable aux cultures. Quand la disponibilité en cailloux ne pose pas de problème, cette technique d'aménagement des parcelles est facilement adoptée par les agriculteurs qui, profitant de la saison sèche, la mettent en pratique spontanément sur leurs parcelles (Dugué 1989 ; Piet van der Poel, 1990).

La faisabilité de ces aménagements et spécialement de ceux à effectuer à l'échelle du bassin versant, se heurte, en milieu sahélien, à un certain nombre de difficultés :

- le manque de ressources financières des agriculteurs nécessite que le coût des aménagements, dont les effets bénéfiques ne se manifesteront qu'à moyen et long terme, puisse être pris en charge par la collectivité nationale ou l'aide internationale (d'où l'intérêt d'associer à ces aménagements du milieu aux effets différés, des actions de développement agricole de rentabilité, plus immédiate, plutôt que de substituer un type d'intervention à un autre, au gré des changements de politique imposés par les bailleurs de fonds ;
- le statut foncier précaire des terres, fondé sur le droit d'usage, constitue un autre obstacle important à la réalisation d'aménagements pérennes. Ce problème, qui concerne la majeure partie des terres d'Afrique subsaharienne, sera long et difficile à régler du fait des nombreuses contradictions entre droits coutumiers et législation moderne des Etats.. Aussi, avant qu'une solution satisfaisante soit trouvée à l'échelle

- nationale, faut-il, au niveau local, chercher des *modus vivendi* acceptables par toutes les parties prenantes à l'aménagement des terroirs;
- enfin, la forte émigration des hommes durant la saison sèche a pu constituer un handicap pour les projets d'aménagements antiérosifs. La diminution de l'intérêt des migrations a fait que, désormais, cet handicap a en grande partie disparu.

#### ***b - Travail du sol et économie de l'eau***

Si le travail du sol et particulièrement le labour est une technique dont les effets bénéfiques sont discutés dans les milieux sableux d'origine dunaire et qui, en définitive, est très peu pratiquée par les agriculteurs, par contre, dans les milieux cuirassés, cette technique paraît tout à fait complémentaire des aménagements de bassins versants et de parcelles.

En accroissant la rugosité des sols, améliorant sa porosité et son état structural en surface et en profondeur, le travail du sol, quand il est correctement exécuté, peut, en effet, favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol et réduire le ruissellement.

Ces effets ont pu être constatés en station expérimentale où l'on a également mis en évidence un effet bénéfique du travail du sol sur l'enracinement (Chopart, Nicou, 1976). Le labour accroît la vitesse d'installation du système racinaire, augmente sa densité dans les horizons superficiels et pour certaines cultures (riz pluvial, arachide, maïs) augmente la profondeur d'enracinement.

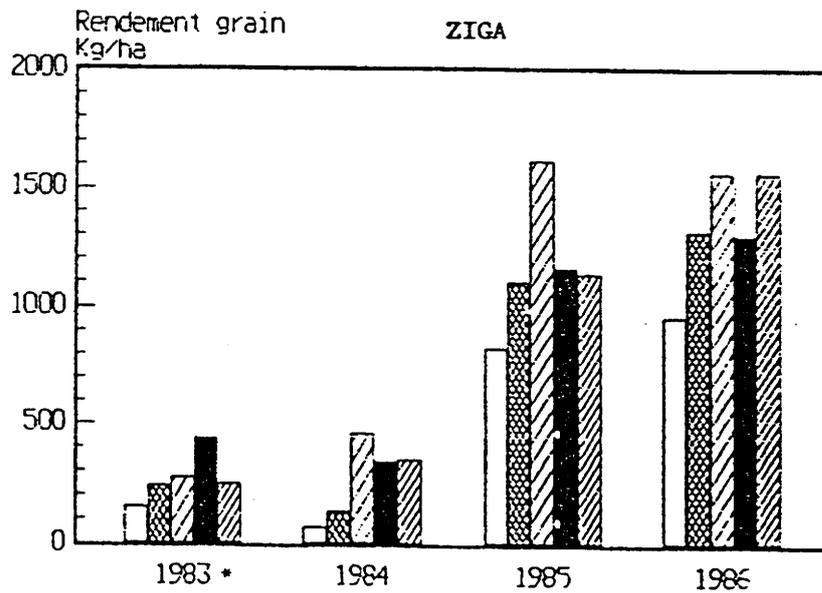
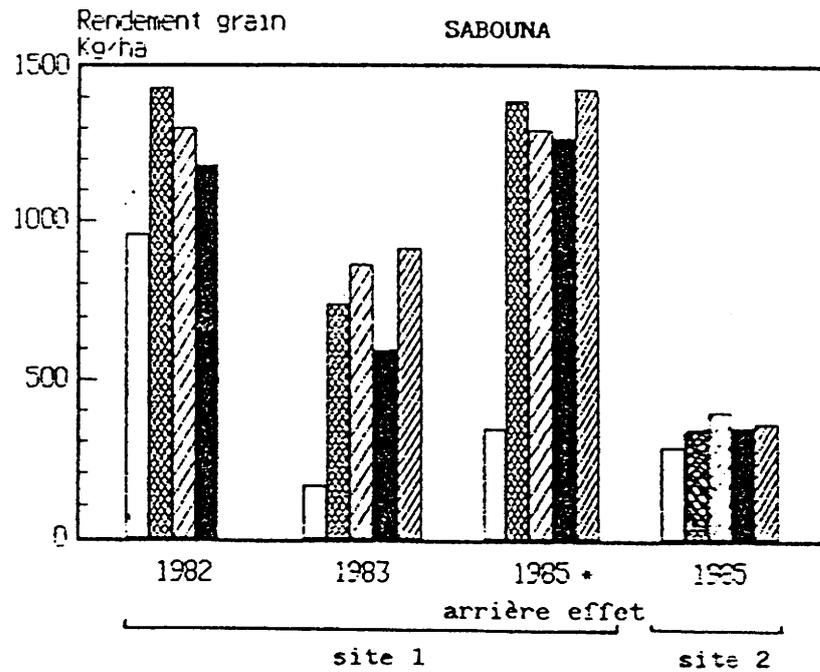
En contrepartie, le labour, surtout dans les sols sableux en stimulant leur activité microbienne, peut entraîner une baisse du taux de matière organique. En dépit de ce risque, des essais effectués au Sénégal, sur une longue période (1960-1976), ont montré que l'effet du labour sur les rendements était variable suivant les espèces mais toujours positif (Pieri, 1989).

Au Yatenga, sur des sols de glacis, des expérimentations en milieu paysan ont également montré un effet positif du travail du sol sur les rendements du mil (Dugué, 1989). Cet effet varie suivant le type de travail, la nature du sol et le régime pluviométrique (figure III.16).

Dans ce type de milieu, le labour est donc une technique à recommander, tout en sachant que son efficacité diminue sensiblement dans les sols dégradés et en année sèche. Cela montre que, dans ces conditions, le labour seul est insuffisant pour améliorer les conditions d'alimentation hydrique des cultures.

Par ailleurs, sa mise en pratique par les agriculteurs rencontre des difficultés du même ordre que celles constatées dans les milieux sableux : pour travailler le sol, il faut disposer d'un attelage (moins de 20 % des exploitants du Yatenga en possèdent). Le travail du sol préalable au semis a tendance à retarder

Figure III.16 - Techniques de travail du sol et rendements des cultures (essai travail du sol - économie de l'eau au Yatenga), Source : P. Dugué.



Traitements



semis direct



labour



labour + buttage cloisonné



scarifiage + binage répété



scarifiage + buttage cloisonné (absent à Sabouna en 1982).

\* sorgho, les autres années mil

ceux-ci. Cette conséquence, pas toujours correctement prise en compte dans les dispositifs expérimentaux, comparant le travail du sol à l'absence de travail du sol, *toutes choses égales par ailleurs*, est certainement un des obstacles majeurs à la diffusion du travail du sol avant le semis, d'où l'idée de solutions alternatives:

- travailler le sol avant l'arrivée des pluies. Mais dans les sols sablo-limoneux, qui ont tendance à se prendre en masse à l'état sec, cela nécessite une force de traction supérieure à celle des attelages dont disposent les agriculteurs ;
- travailler le sol après l'installation des cultures, soit en intensifiant les binages, soit en réalisant des buttages permettant de confectionner des billons cloisonnés après le semis.

Ces techniques alternatives ou complémentaires du labour ont été testées en milieu paysan (Dugué, 1989). Bien que moins efficaces que le labour sur des sols de glakis, elles ont cependant permis un accroissement de rendement du mil de 37 à 53 % par rapport au sol non travaillé.

### *c - Gestion de la matière organique*

On a vu que la mise en culture des sols, au Sahel, se traduit par une baisse quasi inévitable du taux de matière organique des sols (Siband, 1974). Les différents processus de dégradation des sols de glakis (érosion, destructuration, dévégétalisation...) consécutifs au ruissellement vont accentuer cette baisse et accélérer la dégradation physique et biologique des sols. On entre alors dans un cercle vicieux qui, à terme, rend le sol impropre à la culture et conduit à son abandon par les paysans. Au Yatenga, dans le village de Bidi, étudié par des chercheurs de l'ORSTOM, en 32 ans, le quart de la surface cultivée a subi cette évolution régressive et a dû être abandonné (Serpantié, 1992). Aussi, l'entretien et l'amélioration du taux de matière organique des sols apparaît comme un des objectifs majeurs pour lutter contre leur dégradation, restaurer leur capacité productive et améliorer l'efficacité de l'eau.

Les paysans sahéliens l'ont bien compris qui, pour régénérer les zones dégradées de leurs sols de glakis, pratiquent un mulch de paille et de résidus végétaux qui réactive l'activité biologique du sol et favorise, grâce à l'action des termites, une restructuration des horizons de surface (photos 5 et 6).

Pour entretenir à un niveau acceptable (autour de 1 %) le taux de matière organique des sols cultivés, le recours à la fumure organique est souvent présenté comme le moyen le plus indiqué. Mais, comme cela a déjà été signalé, les disponibilités en fumure des exploitations et des villages sont limitées et ne peuvent satisfaire aux besoins que d'une fraction des terres cultivées (de l'ordre de 15 à 20 %).



21 - Lutte contre le ruissellement combinant travail du sol et aménagement de parcelle (Yatenga, Burkina Faso).



22 - Revégétalisation d'un milieu dégradé par plantation d'arbres (Dallol-Bosso, Niger).

Dans la pratique, les agriculteurs ont plutôt tendance à étaler leur fumure organique plutôt qu'à la concentrer sur une petite surface. Il en résulte des doses faibles (1 à 3 t/ha) insuffisantes pour assurer l'entretien de la fertilité des sols.

Par ailleurs, le fumier utilisé au Sahel se présente, le plus souvent, sous forme de poudrette dont les effets correspondent plus à un apport d'éléments minéraux qu'à un entretien du taux de matière organique des sols (Dugué, 1989).

Aussi, un premier thème d'action en faveur de la fumure organique consiste à améliorer la qualité du fumier (fosse fumièrre) et la valorisation des résidus de récolte et des déjections animales (compost, stabulation du bétail). Mais, contrairement au discours de certaines organisations d'appui aux agriculteurs, ces améliorations, aussi utiles soient-elles, ne sauraient suffire pour restaurer le taux de matière organique et la fertilité des sols de glaciés dégradés.

D'autres moyens doivent être utilisés et en particulier la fertilisation minérale. Celle-ci, en accroissant la biomasse produite et donc les possibilités de restitutions organiques (racines, résidus de culture), peut contribuer à améliorer le statut organique des sols.

Comme dans les milieux sableux d'origine dunaire, une telle option fait l'objet de controverses. Cependant, comme dans ces milieux, les essais en station et en milieu paysan ont montré un effet positif des engrais sur les rendements, même à des doses faibles (50 kg/ha d'engrais complet NPK) et ont confirmé la forte interaction existant entre alimentation hydrique et minérale.

L'effet des engrais sur le bilan organique des sols cultivés se manifeste de différentes manières (Pieri, 1989) :

- par l'augmentation de la masse des racines dont on a tendance à sous-estimer le rôle essentiel dans l'état physico-chimique des sols ;
  - par la stimulation de l'activité biologique des sols ;
  - par l'accroissement des "entrées carbonées" dans le système sol-plante.
- Toutefois, des restitutions organiques ayant un rapport C/N élevé peuvent entraîner un bilan organique négatif, ce qui est le cas de la paille dont l'enfouissement direct n'est donc pas à conseiller.

#### *d - La régénération des sols dégradés*

Pour régénérer les *zipelle*, en plus du mulch végétal, les paysans mossis ont mis au point une technique particulière, appelée *zai*. Cette pratique consiste à creuser à intervalles réguliers des trous (10 à 40 cm de diamètre, 10 cm de profondeur) dans lesquels ils placent un peu de poudrette de parc. Celle-ci attire les termites dont l'action va améliorer la structure du sol, favoriser l'infiltration et le stockage des eaux de ruissellement et créer des conditions favorables à la germination des graines de mil ou de sorgho déposées dans chaque trou.

Cette pratique est riche d'enseignements. Elle montre tout d'abord que certaines formes de dégradation du sol, comme les *zipelle*, qualifiés de "lèpre du Yatenga" par J.Y. Marchal ne sont pas irréversibles. Elle montre également qu'il est illusoire de vouloir intervenir sur la totalité des zones dégradées, qu'il faut agir progressivement et de façon sélective. Enfin, elle témoigne de la nécessité de combiner différents moyens pour restaurer la fertilité des sols dégradés et améliorer la valorisation des eaux de pluie.

Aux thèmes d'action analysés précédemment (aménagement de terrain à différentes échelles, travail du sol, amélioration du bilan organique des sols) il faut ajouter des actions visant la revégétalisation du milieu et relevant d'une façon générale de l'agroforesterie :

- plantation d'arbres et d'arbustes pérennes, le long des cordons pierreux ou en bordure des parcelles ; une structuration bocagère du paysage, facilitant l'association entre les arbres, les cultures et les animaux étant considérée par certains comme l'idéal type à rechercher pour un renouveau, par l'intensification, de l'agriculture sahélienne (Lazaref, 1993) ;
- protection des essences naturelles, en particulier des légumineuses (*Acacia faidherbia*, *Acacia senegal*, *Prosopis juliflora*). Cette action s'est révélée plus économique et plus facilement adoptée par les paysans que les plantations villageoises.

Cette restauration du couvert arboré ne doit pas se limiter aux seules zones cultivées mais intéresser aussi les zones pastorales afin de protéger les sols de l'érosion, fournir du bois de feu et améliorer l'alimentation du bétail en développant le pâturage aérien.

#### *e - La mise en valeur des bas-fonds*

L'aval de la toposéquence des milieux cuirassés est généralement occupé par un bas-fond où s'accumulent les eaux de ruissellement.

En année sèche, on constate que les agriculteurs transfèrent une partie de leurs cultures des glacis vers ces bas-fonds pour leur faire profiter de meilleures conditions d'alimentation hydrique. Cette pratique a conduit à penser que dans les zones sahéliennes les plus arides ( $P < 400$  mm) cette culture d'impluvium était une bonne façon de valoriser des précipitations insuffisantes et pouvait à terme se substituer aux cultures sur glacis. Mais le caractère inondable de ces bas-fonds, la lourdeur des sols les rendant difficiles à travailler, constituent des contraintes qui n'incitent guère les agriculteurs à abandonner leurs cultures sur glacis pour tout miser sur les bas-fonds, dont la propriété et l'usage sont par ailleurs, souvent source de conflits entre agriculteurs et éleveurs.

Par contre, dans une stratégie globale de gestion des terroirs villageois, l'aménagement de ces bas-fonds, afin de faciliter leur mise en valeur et diversifier les productions (sorgho, riz, niébé en hivernage, maraîchage en contre-saison) est tout à fait souhaitable. Les expérimentations faites à Maradi et au Yatenga ont montré que cette mise en valeur de bas-fonds contribuait à la sécurité alimentaire et à l'obtention de ressources monétaires. Elle permettait d'offrir du travail en saison sèche et constituait des flots d'intensification renforçant les capacités des communautés villageoises dans leur lutte contre l'aridité et la sécheresse.

## 4 - La lutte contre l'aridité par l'irrigation : illusion ou réalité ?

La mobilisation des ressources en eau de surface et souterraine, constitue un des moyens les plus anciens auquel les sociétés rurales ont eu recours pour corriger les effets de l'aridité du climat. Aussi, au Nord comme au Sud du Sahara, de grands espoirs ont été mis dans le développement de l'irrigation et de vastes projets hydro-agricoles ont été réalisés pour pallier les insuffisances et les aléas des cultures pluviales et faire face aux besoins de populations en forte croissance.

Mais les efforts entrepris dans ce sens, depuis une cinquantaine d'années, ont abouti à des résultats fort inégaux. Si l'on peut considérer que le développement de l'irrigation au Maroc a été globalement une réussite, on ne peut en dire autant en Afrique sub-saharienne. Ayant été amené à participer directement aux aménagements hydro-agricoles marocains (2, 4, 8), puis au suivi d'opérations de recherche-développement concernant la mise en valeur de périmètres irrigués sahéliens, l'opportunité m'a été offerte de comparer la situation et les perspectives de l'irrigation entre le Nord et le Sud du Sahara, le Maroc et le Sahel (5). Cela m'a conduit à analyser les causes de réussite ou d'échec des projets d'aménagement hydro-agricole et, d'une façon plus générale, les conditions permettant à l'irrigation de devenir un moyen effectif de lutte contre l'aridité et d'intensification agricole.

Avant de présenter les résultats de cette analyse, rappelons brièvement l'état des ressources en terre et en eau des deux régions et la situation de leur mise en valeur.

### 4.1 - Situation de l'irrigation au Maroc et au Sahel

#### *a - Au Maroc, la place grandissante du secteur irrigué*

L'irrigation est, au Maroc, l'héritage d'une longue histoire, commencée bien avant l'arrivée de l'Islam et qui a permis à ce pays de disposer d'un patrimoine de près de 400.000 ha de terres irriguées, de façon traditionnelle, localisées surtout dans les zones présahariennes et le Haut Atlas occidental.

C'est à l'époque du protectorat français que furent construits les premiers grands ouvrages de régulation des fleuves marocains et commencé l'aménagement de périmètres irrigués modernes. Durant cette période, 72.000 ha furent équipés et 41.000 ha effectivement irrigués.

Mais c'est après l'indépendance, en 1956, que la mobilisation des ressources hydrauliques et la valorisation du potentiel irrigable du Maroc ont été entreprises avec le plus de vigueur et de moyens. Cette politique, accordant la priorité aux aménagements hydro-agricoles, a été une constante de tous les gouvernements

qui se sont succédés depuis l'indépendance et a mobilisé plus de 65 % des investissements publics affectés à l'agriculture. Elle a résulté du double constat :

- des terres cultivables limitées (8,5 millions d'ha) dont les 2/3 situés en zones semi-aride et aride, ont un potentiel de production limité ;
- une population en forte croissance (2,7 % par an, 18 millions d'habitants en 1980, 32 millions prévus en l'an 2000).

Dans ces conditions, il était illusoire de penser pouvoir satisfaire les besoins alimentaires du pays, soit par une extension des superficies cultivées, soit par une augmentation suffisante des rendements des cultures pluviales.

Tableau III.6 : Potentialités et réalités de l'irrigation au Maroc

Nature des irrigations	Grande hydraulique		Petite et moyenne hydraulique		Total		
	potentiel	situation en 1990	potentiel	1990	potentiel	1990	%
Pérenne	810	432	425	397	1235	828	67
Saisonniers	-	-	170	265	335	430	128*
Epannage d'eau de crue	-	-	165	165			
<b>Total</b>	<b>810</b>	<b>432</b>	<b>760</b>	<b>827</b>	<b>1570</b>	<b>1258</b>	<b>80</b>

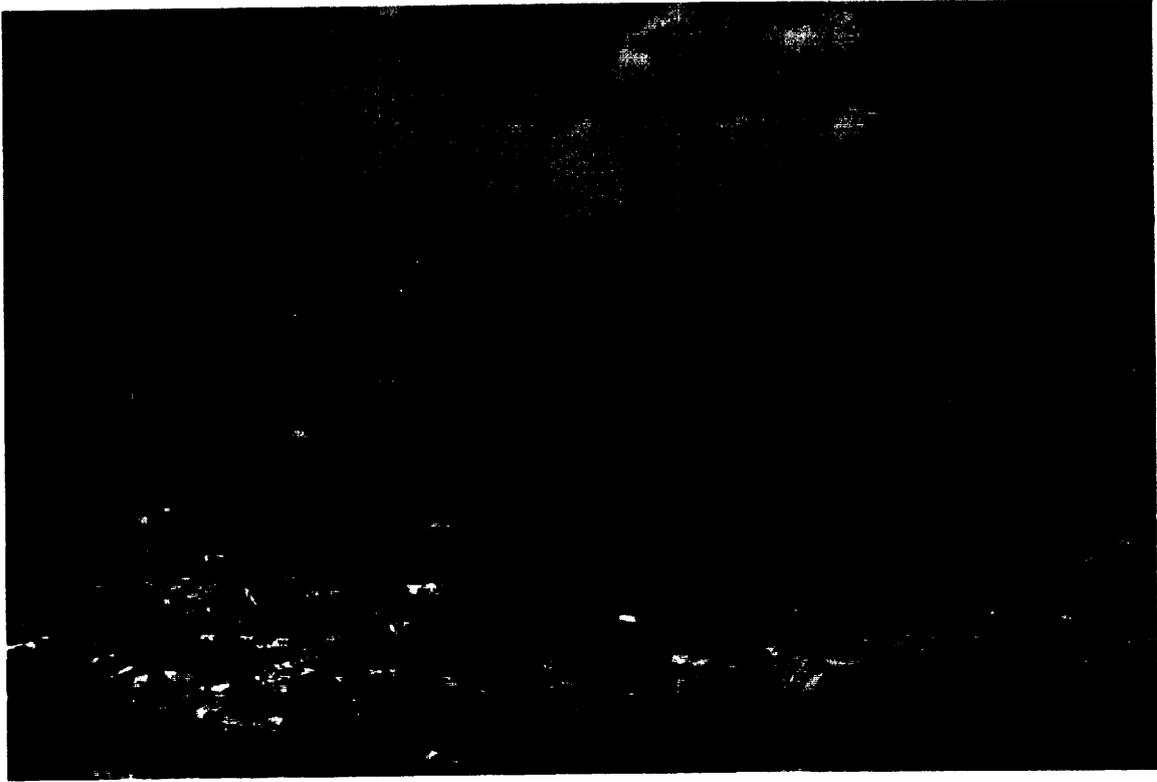
Superficie en 10<sup>3</sup> ha. Source : ANAFID, L'irrigation au Maroc.

\* une partie des irrigations saisonnières va être régularisée par les aménagements de grande et petite hydraulique.

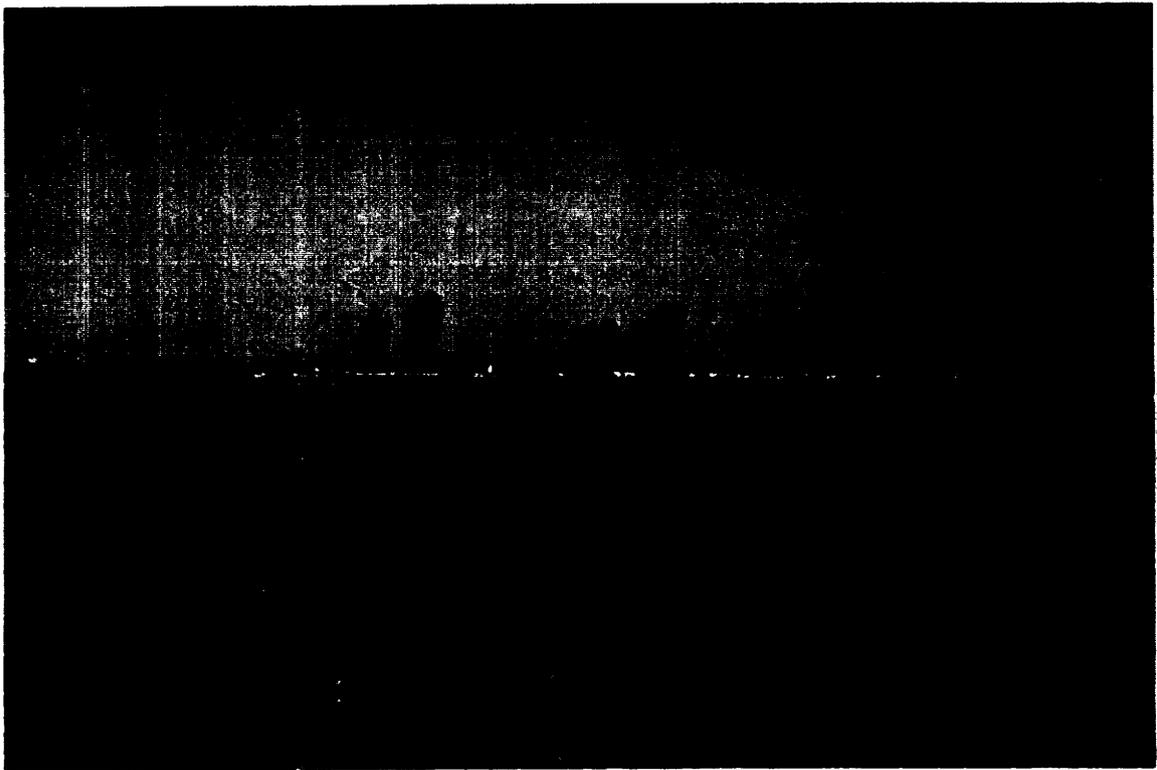
Ainsi, le choix de la valorisation des ressources hydrauliques s'est-il imposé, d'autant que celles-ci sont loin d'être négligeables, du fait de la situation atlantique du pays et de l'existence de hautes chaînes de montagne (Atlas, Rif) jouant le rôle de châteaux d'eau.

Le potentiel hydraulique mobilisable du Maroc est estimé à 21 milliards de m<sup>3</sup> dont 5 sont constitués par des ressources en eaux souterraines (ANAFID, 1991). Ces ressources pourraient permettre d'irriguer près de 1.600.000 ha dont les 3/4 dans les grands périmètres (Grande Hydraulique) et le reste en petite et moyenne hydraulique (Tableau III.6).

A la fin des années 80, plus de la moitié de ce potentiel hydraulique a pu être mobilisé grâce à la construction de 32 barrages. La superficie totale irriguée a été portée à 1.258.000 ha. Plus de 90 % des superficies irrigables en petite et



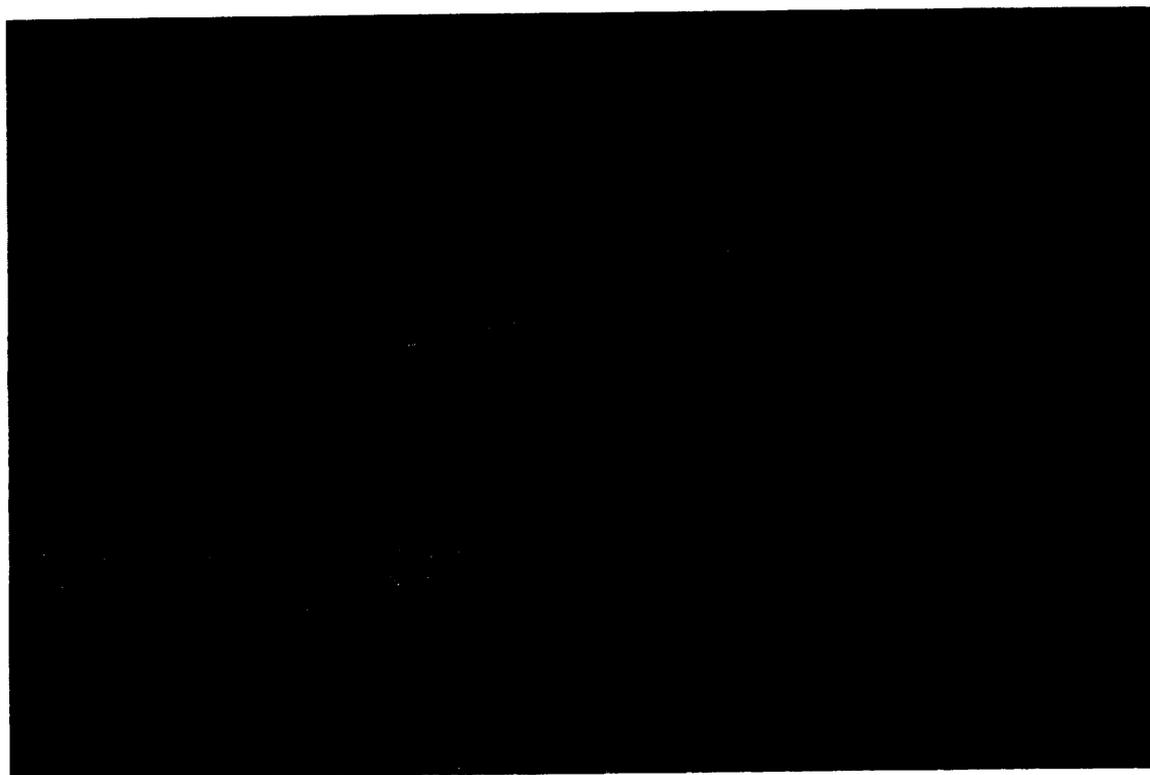
23 - *Vue générale du périmètre irrigué du Tadla*



24 - *Irrigation par aspersion dans le périmètre des Doukkala*



25 - Irrigation par pivot du maïs dans la région du Tadla



26 - Culture de blé et maraîchage irrigués par pivot dans la région de Benguerir

moyenne hydraulique et 50 % de celles des grands périmètres ont été mises en valeur.

L'impact de ces aménagements sur la production agricole est loin d'être négligeable. En 1990, l'agriculture irriguée assurait, avec 7,5 millions de quintaux, près de 15 % de la production nationale en céréales. Elle a permis l'introduction et le développement de cultures industrielles : coton, oléagineux, thé et surtout plantes sucrières (betterave et canne à sucre) dont la production a dépassé en 1990 les 500.000 tonnes, assurant 70 % de la consommation du pays, alors que jusqu'en 1962 le Maroc importait la totalité de son sucre. Le développement de l'irrigation a conforté la position du Maroc en tant que producteur et exportateur d'agrumes et de primeurs, spécialement vers les marchés de la CEE. Enfin, plus de 50 % de la production de lait provenait, en 1970, des grands périmètres d'irrigation (800 millions de litres).

Au terme de l'aménagement des périmètres irrigués, prévu en 2020, la contribution du secteur irrigué à la couverture des besoins alimentaires du pays et à ses exportations agricoles est appelée à s'accroître, en dépit d'une forte croissance démographique, comme le montre le tableau III.7.

La valorisation de l'ensemble de ses ressources hydrauliques devrait faire du Maroc, non seulement un exportateur de fruits et légumes mais aussi de sucre. Elle favorisera le développement des productions animales, grâce à la culture des fourrages. Par contre, sa contribution à la production céréalière, malgré la place importante des céréales dans les assolements des périmètres irrigués, restera insuffisante pour assurer l'auto-suffisance du pays.

Tableau III.7 : Place de l'agriculture irriguée dans la satisfaction des besoins alimentaires au Maroc en 2020

Produits alimentaires	Besoins alimentaires en 2020 en 10 <sup>3</sup> T	Production escomptée agriculture irriguée	
		en 10 <sup>3</sup> T	en %
Céréales	12.342	1.997	16
Sucre	1.040	1.709	164
Oléagineux	406	33	8
Légumineuses	538	36	7
Maraîchage	4.755	7.690	162
Agrumes	1.070	1.263	118
Lait	4.223	3.625	86
Viande rouge	483	107	22

Source : ANAFID, L'irrigation au Maroc

Cette présentation de la situation de l'irrigation au Maroc serait incomplète si on ne faisait pas état du développement récent de l'irrigation par pivots dans la plupart des grandes plaines marocaines (Chaouia, Abda, Doukkala, Haouz...). Ce développement est une des conséquences de la décision du Roi du Maroc d'exonérer d'impôts les investissements en agriculture jusqu'en l'an 2025. Cette décision a provoqué une rapide expansion d'une agriculture spéculative, très "capitalistique" dont les manifestations les plus spectaculaires sont la multiplication des serres, en particulier pour cultiver la banane ainsi que l'irrigation par pivots (chaque pivot irrigant environ 30 ha).

En zone aride, ce mode d'irrigation permet de décupler les rendements des céréales. Mais ces investissements, à base surtout de capitaux urbains, renforcent le dualisme de l'agriculture marocaine entre secteur traditionnel et secteur moderne ; par ailleurs, l'irrigation par pivots utilise des ressources en eau souterraines dont on ne sait si les conditions actuelles d'exploitation permettront leur renouvellement.

En définitive, la politique volontariste d'aménagements hydro-agricoles, entreprise par le Maroc, a abouti à la constitution d'un secteur irrigué qui occupe, désormais, une place essentielle dans l'agriculture du pays (45 % de la valeur ajoutée agricole, 65 % des exportations alimentaires). Elle a contribué à la croissance de celle-ci (+ 2,2 % de 1971 à 1992) et a permis de tamponner, en partie, les fortes fluctuations de la production agricole en culture pluviale dues aux aléas climatiques de ces vingt dernières années.

#### *b - Au Sahel, un potentiel sous-exploité et des résultats décevants*

La situation de l'irrigation au Sahel donne lieu à des estimations très variables suivant les sources utilisées. Les données fournies par la FAO (1987) pour les neuf pays du CILSS (Burkina Faso, Cap-Vert, Gambie, Guinée Bissau, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal et Tchad) évaluent leur potentiel irrigable à 2.350.000 ha. Sur ce potentiel, 418.000 ha seraient effectivement irrigués (17 %), ce qui représente moins de 3 % de l'ensemble des superficies cultivées, contre 15 % au Maroc.

Ces superficies irriguées se trouvent dans deux types de situation nettement différenciées. Plus de la moitié d'entre elles correspondent à de petits périmètres traditionnels (bas-fonds essentiellement) aux aménagements sommaires, ayant peu bénéficié d'investissements publics. Le reste, soit près de 150.000 ha, est localisé dans des périmètres d'irrigation modernes, aménagés à grands frais, dans cinq grands bassins fluviaux d'Afrique de l'Ouest : vallées du fleuve Sénégal et de la Gambie, bassins du Niger, des Voltas (Burkina Faso) et du Logone-Chari (Nord Cameroun).

Etant données la forte croissance démographique (2,8 % par an) et la progression insuffisante de sa production agricole (1,8 % entre 1960 et 1987), le Sahel, qui était autosuffisant en denrées alimentaires et même exportateur de céréales jusqu'à la fin des années 1960, est devenu déficitaire. Actuellement, les pays sahéliens n'assurent plus leur autosuffisance qu'à 80 % et doivent recourir aux importations pour combler une partie de ce déficit (13 %), le reste étant couvert par l'aide alimentaire qui a permis de maintenir le niveau moyen de consommation en calories (UICN, 1989).

Pour tenter de remédier à une telle situation, les institutions de coopération et les bailleurs de fonds internationaux ont, dès l'apparition du déficit alimentaire chronique, accordé des prêts aux pays sahéliens pour développer l'irrigation. Celle-ci devait contribuer à la sécurité alimentaire et à la réduction des importations alimentaires par le développement de la riziculture irriguée.

Ces aides ont permis d'accroître, entre 1970 et 1986, de 68 % les superficies irriguées dans les périmètres modernes, mais le déficit alimentaire a continué de croître et avec lui les importations (3 % par an).

Les résultats obtenus dans ces périmètres modernes ont été, en effet, bien en deçà des espérances (Devèze, 1991). L'intensification n'a pas eu lieu. Les rendements moyens en paddy sont restés faibles, de 2 à 4 T/ha, alors que le potentiel de production a été estimé à 8-10 T/ha et la production de riz n'a pu que partiellement se substituer aux importations, exception faite du Mali.

Tableau III.8 : Place de la production de riz des périmètres irrigués modernes dans quelques pays du Sahel, en 1989

Pays	Production de riz des aménagements		
	valeur en 10 <sup>3</sup> T	% production nationale	% des importations
Mali	81	44 %	246 %
Cameroun	29	50 %	29 %
Sénégal	40	34 %	10 %

Source : Devèze, 1992

Mais ce sont surtout les résultats économiques qui se sont avérés les plus décevants. Le prix de revient du paddy se situait, en 1990, suivant les périmètres,

entre 3,20 F et 3,50 F/kg, sans compter les coûts d'amortissement des aménagements et de l'encadrement. Avec ceux-ci, les prix de revient du riz sont pratiquement doublés.

De tels prix de revient ont plusieurs conséquences sur le budget des Etats producteurs. Ces derniers, afin de limiter les prix de vente du riz aux consommateurs et assurer la paix sociale dans les villes, sont amenés à subventionner la production nationale de riz. C'est ainsi qu'au Sénégal, le prix de vente du riz au consommateur était de 2,66 F en 1990 alors que le prix de revient, dans la filière grands périmètres-rizeries, était de 3,86 F, ce qui a nécessité une subvention d'équilibre de 1,20 F/kg.

Par ailleurs, le prix de revient du riz produit localement est bien supérieur au prix du riz importé (1,60 F à 1,80 F / kg), lui-même nettement inférieur au prix de vente du riz aux consommateurs. Aussi, produire du riz cher, oblige non seulement à le subventionner au niveau de la production et de la consommation, mais prive l'Etat des recettes provenant du différentiel entre le prix de vente du riz et le prix du riz importé, alimentant, en principe, des caisses de compensation.

A ces résultats peu encourageants, s'ajoute un prix de revient des grands aménagements particulièrement élevé. En 1989, ce prix a été estimé, en moyenne, à 100.000 F/ha pour l'Afrique de l'Ouest (86.000 F/ha au Burkina Faso en irrigation gravitaire, 164.000 F/ha au Niger en irrigation par pompage).

Dans ces conditions, le taux de rentabilité de ces aménagements ne peut être que médiocre et leur financement constituerait un lourd handicap pour les pays sahéliens si, périodiquement, des moratoires ne venaient alléger leur dette.

Cependant, l'argent investi dans ces aménagements pourrait être mieux utilisé. C'est dans cette perspective que les gouvernements et les bailleurs de fonds ont, à la fin des années 80, remis en cause l'ancienne politique d'aménagement hydro-agricole et défini de nouvelles orientations.

On a tout d'abord pratiquement arrêté la construction de nouveaux aménagements au profit de la réhabilitation des anciens afin de créer les conditions d'une véritable intensification agricole. Les projets de réhabilitation entrepris, aussi bien sur le fleuve Sénégal (Irrigation IV) ou à l'Office du Niger (Projet ARPON, Retail), ont tous comme objectifs :

- la réfection des aménagements d'irrigation et de drainage, généralement très dégradés, afin d'assurer une totale maîtrise de l'eau ;
- la mise en œuvre de systèmes de culture intensifs basés, en partie, sur la double culture au cours d'une même campagne ;
- la sécurisation foncière des irrigants ;
- la modification des rapports entre l'Etat, les structures d'encadrement et les producteurs, afin d'accroître la responsabilité de ces derniers dans la gestion des aménagements et leur mise en valeur.



27 - Zone dégradée de l'Office du Niger (Mali)



28 - Zone réaménagée par le Projet Retail à l'Office du Niger

Ce dernier objectif s'inscrit dans le cadre de la politique de désengagement des Etats et vise à réduire sinon supprimer les lourdes et coûteuses structures d'encadrement mises en place pour gérer les grands périmètres irrigués (SAED au Sénégal, Office du Niger au Mali, ONAHA au Niger, SEMRY au Cameroun). Mais ce désengagement ne peut être bénéfique que si les différentes fonctions qui étaient de la responsabilité de ces structures (approvisionnement, gestion et entretien des infrastructures hydrauliques, transformation, commercialisation, crédit) peuvent être prises en charge par le secteur privé et/ou les organisations professionnelles agricoles encore peu développées.

L'autre grande orientation de la nouvelle politique de développement de l'irrigation au Sahel a été de donner la priorité à l'irrigation privée et aux petits périmètres villageois ou communautaires devant permettre une plus grande participation des agriculteurs. On peut cependant se demander si ces alternatives, a priori intéressantes, permettront de résoudre tous les problèmes que posent la gestion et la valorisation des ressources en eau de grands bassins hydrauliques comme ceux du Sénégal et du Niger.

#### **4.2 - Les conditions de réussite de l'irrigation**

##### ***a - Causes des échecs de l'irrigation au Sahel***

S'inspirant de l'exemple de la Gezira au Soudan, l'ingénieur Belime concevait, dès 1925, un ambitieux projet d'irrigation dans ce qui devait devenir plus tard le Mali. En surélevant le niveau du Niger de 5 m (barrage de Markala), il avait prévu de réactiver, en l'endiguant, un ancien chenal du fleuve qui permettait de dominer 960.000 ha de terres irrigables dans le "delta mort" du Niger (Tricart, Blanck, 1989). Leur mise en valeur, prévue sur 50 ans, devait aboutir à la culture de 510.000 ha de coton et 450.000 ha de riz. Soixante ans après le début de l'aménagement, confié à l'Office du Niger, les superficies effectivement irriguées ne dépassent pas 55.000 ha. Le coton a dû être abandonné en 1970 et les rendements de riz ont chuté en dessous de 2 T/ha au cours des années 80.

Cet exemple, en même temps qu'il montre le formidable écart entre les projets (les rêves ?) et la réalité, illustre la plupart des causes qui sont habituellement invoquées pour expliquer les échecs des grands périmètres irrigués sub-sahariens.

Ces causes qui ont fait l'objet de nombreux débats et ont donné lieu à une abondante littérature (Moris et Norman, 1984 ; DSA-CIRAD, 1987 ; Diemer et Vander Laan, 1987 ; Jamin et al., 1990 ; Kortenhorst et al., 1990 ; GRET, 1991 ; Crousse et al., 1991 ; Deveze, 1992), sont de plusieurs natures :

La prééminence de l'approche technocratique est considérée comme une des causes majeures de l'échec de l'irrigation en Afrique sub-saharienne. Les aménagements hydro-agricoles, comme ce fut le cas à l'Office du Niger, ont été essentiellement conçus pour mettre en valeur des potentialités du milieu physique, au service de l'intérêt des Etats. Pour imposer cette logique technocratique, il a fallu avoir recours à des dispositifs d'encadrement très dirigistes, utilisant au besoin la coercition et qui, en définitive, se sont révélés coûteux et peu efficaces.

Cette conception de l'aménagement du "haut vers le bas" sous-estime les conditions sociales et historiques du développement de l'irrigation. Elle ignore les logiques paysannes qui, en situation aléatoire, privilégient la diversité à la recherche de l'intensification d'un seul type de production. A l'Office du Niger, comme dans la plupart des autres grands périmètres sahéliens, on a pendant longtemps occulté et parfois interdit l'association entre cultures pluviales et cultures irriguées, agriculture et élevage, pourtant à la base du fonctionnement des systèmes de production des agriculteurs concernés par les aménagements.

La mauvaise évaluation de l'intérêt économique des aménagements a été une autre cause de leur échec. On a systématiquement sous-estimé leur coût, tandis qu'on surévaluait les bénéfices attendus, la mauvaise conception initiale des aménagements et la qualité insuffisante de l'encadrement technique ayant largement contribué à la médiocrité des résultats (Morris et al., 1984).

Les réticences de l'administration et des sociétés d'aménagement à accorder des garanties foncières aux irrigants a, par ailleurs, constitué un lourd handicap à l'intensification des périmètres irrigués. Même dans la phase de réhabilitation, l'Office du Niger s'est opposé à donner des titres fonciers aux attributaires de lots irrigués, lesquels n'ont pu obtenir que des permis d'exploitation conditionnels.

Ces difficultés de mise en valeur des périmètres irrigués ont été accentuées par la mauvaise maîtrise de la filière riz, production quasi-exclusive de ces périmètres modernes. Ainsi, au Cameroun, le poids du lobby des importateurs a rendu très difficile l'écoulement sur le marché national du riz produit dans les périmètres du Nord du pays. A l'inverse, la limitation des importations officielles de riz, au Mali, a eu un effet extrêmement positif sur le prix d'achat du riz aux producteurs et l'intensification des périmètres réhabilités à l'Office du Niger (Jamin et al., 1990).

Le contexte technocratique et dirigiste de l'aménagement n'a pas favorisé l'émergence d'organisations paysannes qui auraient pu faciliter la distribution de l'eau et l'entretien des équipements internes.

L'ensemble de ces causes a évidemment affecté la rentabilité des cultures irriguées et provoqué l'endettement des agriculteurs, avec comme conséquences l'extensification des cultures, l'apparition de tensions entre agriculteurs et structures d'encadrement et le mauvais entretien du dispositif d'irrigation, accélérant sa dégradation.

***b - Analyse comparée des conditions de développement de l'irrigation au Maroc et au Sahel***

Toutes les causes qui viennent d'être indiquées pour expliquer l'échec des périmètres modernes au Sahel sont bien réelles, mais la comparaison des conditions du développement de l'irrigation entre le Nord et le Sud du Sahara nous conduit à penser qu'elles ne suffisent pas pour expliquer pourquoi l'irrigation a réussi au Maroc alors qu'elle rencontrait de grandes difficultés au Sahel. D'autres raisons sont à rechercher, d'autres hypothèses sont à explorer.

**• *Le rôle de l'Etat***

Dans la comparaison entre deux situations, il faut tout d'abord bien distinguer d'une part les petits périmètres traditionnels, d'autre part les grands périmètres modernes. Les premiers, au Maroc comme au Sahel, fonctionnent généralement de façon satisfaisante et font souvent figure d'exemple à suivre en ce qui concerne la qualité de leur gestion par les agriculteurs. Mais cela n'est guère surprenant, si l'on considère que ces périmètres traditionnels, créés à l'initiative des paysans, ne subsistent que tant qu'ils satisfont aux objectifs des irrigants et que ceux-ci en assurent un bon fonctionnement. Le jour où ces conditions ne sont plus assurées, ils disparaissent. En d'autres termes, ils sont viables, parce qu'ils existent, d'où l'intérêt d'ailleurs d'en analyser le fonctionnement pour en tirer des leçons sur les conditions de réussite de l'irrigation. En effet, nous partageons l'opinion de Diemer qui estime que *"dans une situation caractérisée par peu de succès et beaucoup d'échecs, la solution apparaîtra par la collecte de l'information concernant les raisons du succès et non par l'évaluation des échecs"*.

Cette réussite des périmètres traditionnels conforte le choix qui a été fait, dans la nouvelle politique d'irrigation au Sahel, de donner la priorité aux petits périmètres villageois ou privés et va dans le sens de l'objectif plus général de désengagement de l'Etat. Cependant, une telle option conduit à se poser un certain nombre de questions. Qui va susciter les initiatives locales ? L'action des ONG, aussi positive soit-elle, a des limites. Par ailleurs, la mobilisation et la valorisation des ressources hydrauliques à l'échelle de grands bassins ne dépassent-elles pas les capacités organisationnelles des communautés locales et

ne nécessitent-elles pas une implication des pouvoirs publics et même une concertation entre Etats lorsque ces ressources sont partagées par plusieurs pays, comme c'est le cas pour le fleuve Sénégal et le Niger ?

Le rappel de cette exigence ne fait que confirmer les leçons de l'histoire qui nous enseigne que les grands aménagements hydro-agricoles, que ce soit en Egypte ou en Asie du sud-est, ont été réalisés grâce à l'existence de pouvoirs forts, caractéristiques des "sociétés hydrauliques". Seuls de tels pouvoirs peuvent mobiliser, à grande échelle et sur une longue durée, travail et capital nécessaires à la réalisation des infrastructures hydrauliques et imposer les règles administratives, juridiques et techniques nécessaires à la distribution de l'eau et de la terre, à l'entretien des aménagements et à la mise en valeur agricole.

Héritage de sa longue histoire et résultat du temps présent, le Maroc a disposé, depuis son indépendance, d'un pouvoir central fort. Celui-ci a eu un rôle déterminant dans la création des conditions favorables au développement de l'irrigation, en particulier dans :

- la mobilisation des ressources hydrauliques (planification, construction des barrages) ;
- la formation de cadres nationaux (création de l'IAV Hassan II en 1986) ;
- la mise en place de structures d'encadrement assez autonomes (création des Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole en 1986) ;
- la gestion du foncier (récupération et distribution des terres de colonisation, remembrement) ;
- la définition des modalités de mise en valeur des périmètres irrigués (Code des Investissements Agricoles promulgué en 1969) ;
- la construction des infrastructures agro-industrielles (sucreries) ;
- la fixation de prix agricoles et l'octroi de crédits aux producteurs favorables à l'intensification et au développement des cultures nouvelles (opérations intégrées, cultures contractuelles).

Même si ces actions de l'Etat n'ont pas toujours eu l'efficacité souhaitée, il est clair cependant que, sans elles, le Maroc n'aurait pas pu irriguer 700.000 ha nouveaux en trente ans (1960-1990).

La situation au Sahel est tout autre. Les Etats, de création plus récente, sont trop faibles économiquement pour s'imposer politiquement. Cela laisse des espaces de liberté pour des initiatives locales de développement que mettent à profit de nombreuses ONG, mais c'est un handicap important pour la mise en valeur de grands périmètres d'irrigation. Si le projet "pharaonique" de Belime, à l'Office du Niger, ne s'est pas réalisé, c'est peut-être parce que l'administration du Mali n'a pas grand chose à voir avec celle de l'ancienne Egypte.

Par ailleurs, on peut se demander si la politique de désengagement de l'Etat, prônée et imposée aux pays sahéliens par les bailleurs de fonds et les institutions financières internationales, ne constitue pas une sorte de fuite en avant, plus qu'une réelle alternative, dans l'organisation des rapports entre l'Etat et la société civile.

Tant que le pouvoir politique et économique des Etats demeurera faible, il est illusoire de penser que la valorisation des ressources en eau du Sahel pourra être entreprise à une échelle significative pour le développement agricole de la région.

• *La nécessaire cohérence entre aménagements hydro-agricoles et systèmes de production*

La prééminence, dans les projets d'aménagements hydro-agricoles, de la logique techniciste peut s'expliquer par le fait que pendant longtemps la conception de ces projets a été surtout l'affaire des spécialistes de l'hydraulique et du génie rural. Or, l'aménagement hydro-agricole ne constitue pas une fin en soi, c'est un moyen au service de la mise en valeur agricole. Il doit donc prendre en compte les conditions agronomiques, économiques et sociales de celle-ci, alors que trop souvent on subordonne cette mise en valeur aux seuls impératifs de l'aménagement hydraulique. Le cas de l'Office du Niger fournit, une fois de plus, une bonne illustration de l'effet pervers de la cette prédominance du projet technique.

C'est pour débattre de cette liaison entre aménagement et mise en valeur que nous avons organisé, en 1986, dans le cadre du Département des Systèmes Agraires du CIRAD, un séminaire sur le thème "Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production" (DSA, 1987).

Dans ce séminaire, qui a été aussi l'occasion de confronter le point de vue et l'expérience d'ingénieurs et de chercheurs du Maghreb avec ceux de leurs collègues du Sud du Sahara, nous nous sommes attachés à souligner la nécessaire cohérence qui doit exister entre les schémas techniques d'aménagement et le fonctionnement des systèmes de production (5).

Pour illustrer cette idée, nous avons analysé le modèle d'aménagement hydro-agricole adopté par le Maroc dans les grands périmètres d'irrigation (4). Ce modèle, conçu par l'Office National des Irrigations (ONI), en 1962, quelques années après l'indépendance, reposait sur un certain nombre d'options, étroitement liées aux choix politiques et économiques de l'époque, en matière de mise en valeur agricole et de systèmes de production à promouvoir.

Ainsi, le choix de l'irrigation gravitaire plutôt que l'asperion, a été fait pour tenir compte du niveau de technicité des irrigants, de leur disponibilité en main-d'œuvre mais aussi de la volonté d'économiser les devises qu'auraient

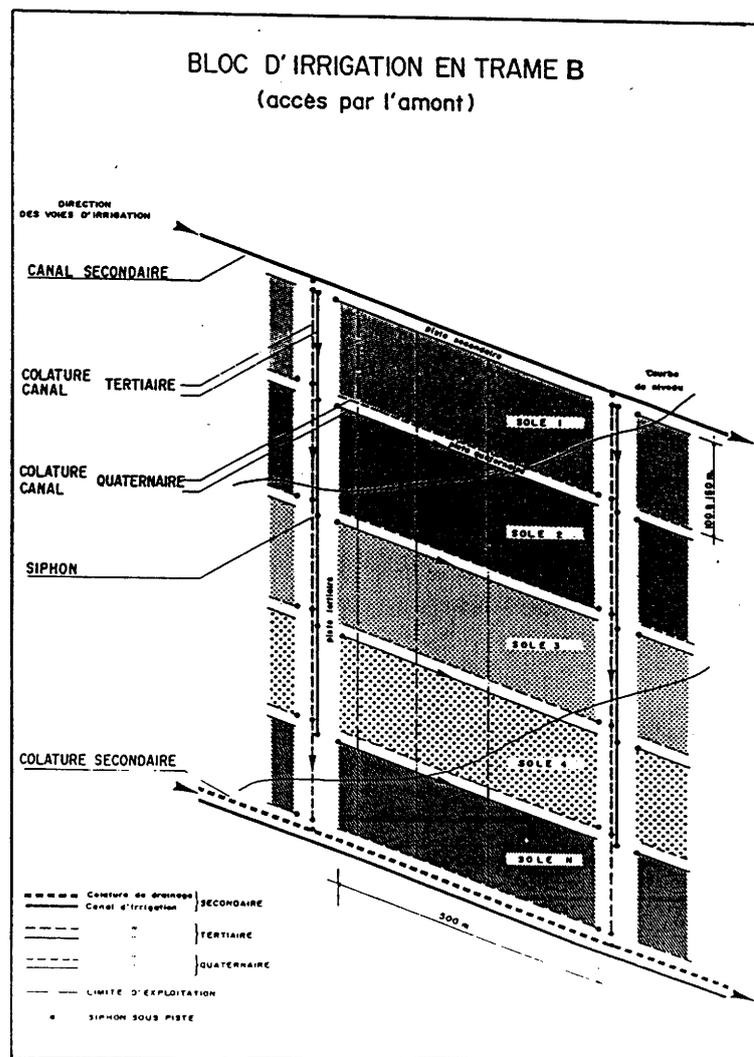
nécessité l'achat du matériel d'aspersion et les plus grands besoins énergétiques de celle-ci.

Mais c'est dans le choix de la trame hydraulique que la relation entre le modèle technique d'aménagement et les conditions de la mise en valeur a été le plus manifeste.

Cette trame, dite trame B ou trame rationnelle (figure III.17) définit à la fois le canevas d'irrigation, la disposition des exploitations, après remembrement, dans les blocs d'irrigation, ainsi que la dimension et le nombre de soles de culture en fonction de l'assolement. Elle a été conçue pour permettre l'application des orientations de la politique de mise en valeur adoptée par l'ONI, qui prévoyait entre autres :

- le renforcement de la petite et moyenne propriété ;
- le respect du plan de mise en valeur et en particulier l'application d'un assolement collectif par bloc d'irrigation ;
- l'intervention des Centres de Mises en Valeur (CMV), antennes sur le terrain du Ministère de l'Agriculture, en vue de développer certaines cultures nouvelles, en particulier les cultures industrielles (betterave, coton...),
- la constitution de groupements d'agriculteurs pour faciliter la distribution de l'eau et la réalisation de travaux en commun.

Figure III.17 : Bloc d'irrigation en trame B (accès par l'amont)



L'analyse que nous avons faite de l'application, entre 1965 et 1985, de ce modèle d'aménagement hydro-agricole, a fait apparaître deux types de dysfonctionnements : le premier est dû à des erreurs techniques d'exécution ou à un entretien défectueux (dénivellement, dégradation des pistes d'accès aux parcelles). Ces dysfonctionnements peuvent être corrigés sans grande difficulté. Par contre, le deuxième type de dysfonctionnements pose des problèmes plus difficiles à résoudre car ils résultent d'une évolution des systèmes de production qui se sont progressivement éloignés du projet initial (concentration foncière, développement de la mécanisation...). Les contradictions entre le modèle d'aménagement et les conditions de mise en valeur qui en ont résulté, montrent que la "rationalité" d'un modèle d'aménagement est quelque chose de relatif et qu'il est nécessaire d'adapter ce modèle à l'évolution des systèmes de production. Cette révision est d'autant plus nécessaire que la politique de libéralisation a gagné aussi les grands périmètres marocains et qu'elle est venue saper la plupart des fondements d'un modèle d'aménagement conçu à une époque où l'on croyait plus qu'aujourd'hui aux vertus du dirigisme, de l'organisation collective et aux nécessités de la justice sociale.

Au Sahel, il est difficile de parler de cohérence entre les modèles d'aménagement des grands périmètres conçus et gérés par les services publics et le fonctionnement des systèmes de production des agriculteurs concernés par ces périmètres, tant les objectifs des premiers et des seconds paraissent différents.

Rappelons que pour les Etats sahéliens et les bailleurs de fonds, les aménagements hydro-agricoles ont longtemps eu deux objectifs principaux :

- la production de riz afin de limiter les importations induites par la consommation grandissante des populations urbaines, objectif s'inscrivant dans la politique générale d'autosuffisance alimentaire ;
- l'intensification en vue d'assurer une productivité élevée des périmètres irrigués afin d'amortir les lourds investissements occasionnés par leur aménagement ou réaménagement, la double culture étant le moyen de cette intensification en même temps que son symbole d'où l'importance qui lui est accordée dans les plans de mise en valeur.

Pour atteindre ces objectifs, les pouvoirs publics et les investisseurs ont pendant longtemps imposé aux agriculteurs des systèmes techniques de production orientés essentiellement vers la monoculture de riz et des modalités de mise en valeur relativement coercitives où le degré d'initiative et de participation des agriculteurs était fort limité. Ces derniers étaient surtout considérés comme une main d'œuvre à mobiliser (sur place ou en provenance d'autres régions) pour assurer les opérations culturales nécessaires à la riziculture qui ne pouvaient être mécanisées.

A l'inverse, l'analyse des systèmes de production des paysans sahéliens montre qu'ils privilégient :

- la diversité des systèmes de culture en mettant à profit la variété des terrains à leur disposition (falo, fondé, walo, dieri, dans la vallée du Sénégal, par exemple) ;
- la diversité des spéculations, en combinant cultures irriguées, cultures pluviales et de décrue, agriculture et élevage ;
- la diversité des activités et revenus agricoles et extra-agricoles, grâce notamment aux migrations temporaires, afin d'atténuer les risques d'aléas climatiques et économiques propres à la région ;
- la productivité du travail plutôt que celle de la terre, ce qui les a conduit, chaque fois que les conditions pluviométriques ou hydrologiques y étaient favorables, à donner la préférence aux cultures pluviales ou aux cultures de décrue, plutôt qu'aux cultures irriguées ;
- enfin, les règles d'organisation sociale traditionnelles en matière de gestion du foncier, du travail, du crédit, plutôt que les schémas d'organisation que cherchait à leur imposer l'administration.

La réduction de ces contradictions entre logique d'Etat et logique paysanne, apparaît comme une des conditions nécessaires à la réussite de aménagements hydro-agricoles sahéliens. L'écart paraît si grand entre ces deux logiques que cette condition semblerait difficilement réalisable si on ne constatait, ces dernières années, une évolution rapprochant les positions des deux parties.

Après avoir affirmé la primauté de l'objectif de l'autosuffisance alimentaire, les Etats et les investisseurs mettent de plus en plus l'accent sur le rôle des aménagements hydro-agricoles dans la sécurisation de l'alimentation des populations locales, la lutte contre la sécheresse et le développement décentralisé. De même, nous avons vu comment, forcés par les événements, les pouvoirs publics ont accepté de transférer de plus en plus de responsabilités en matière de gestion des aménagements aux populations intéressées. Bien d'autres évolutions des Etats sur le plan foncier ou en matière de politique hydraulique pourraient également être signalées.

Du côté paysan, on a assisté également à des évolutions très significatives des comportements et des mentalités vis-à-vis de l'irrigation. Ainsi, dans la

vallée du Sénégal, du fait des fortes sécheresses qui ont marqué les 20 dernières années, l'intérêt des populations riveraines pour l'irrigation s'est fortement accru (Diemer, 1987). Par ailleurs, on note l'apparition d'agriculteurs prêts à mettre à profit l'irrigation pour intensifier et diversifier leur système de production, dans le but d'accroître leurs revenus monétaires. Les difficultés grandissantes pour se procurer ce type de revenus par l'émigration, confortent cette stratégie de valorisation économique de l'irrigation.

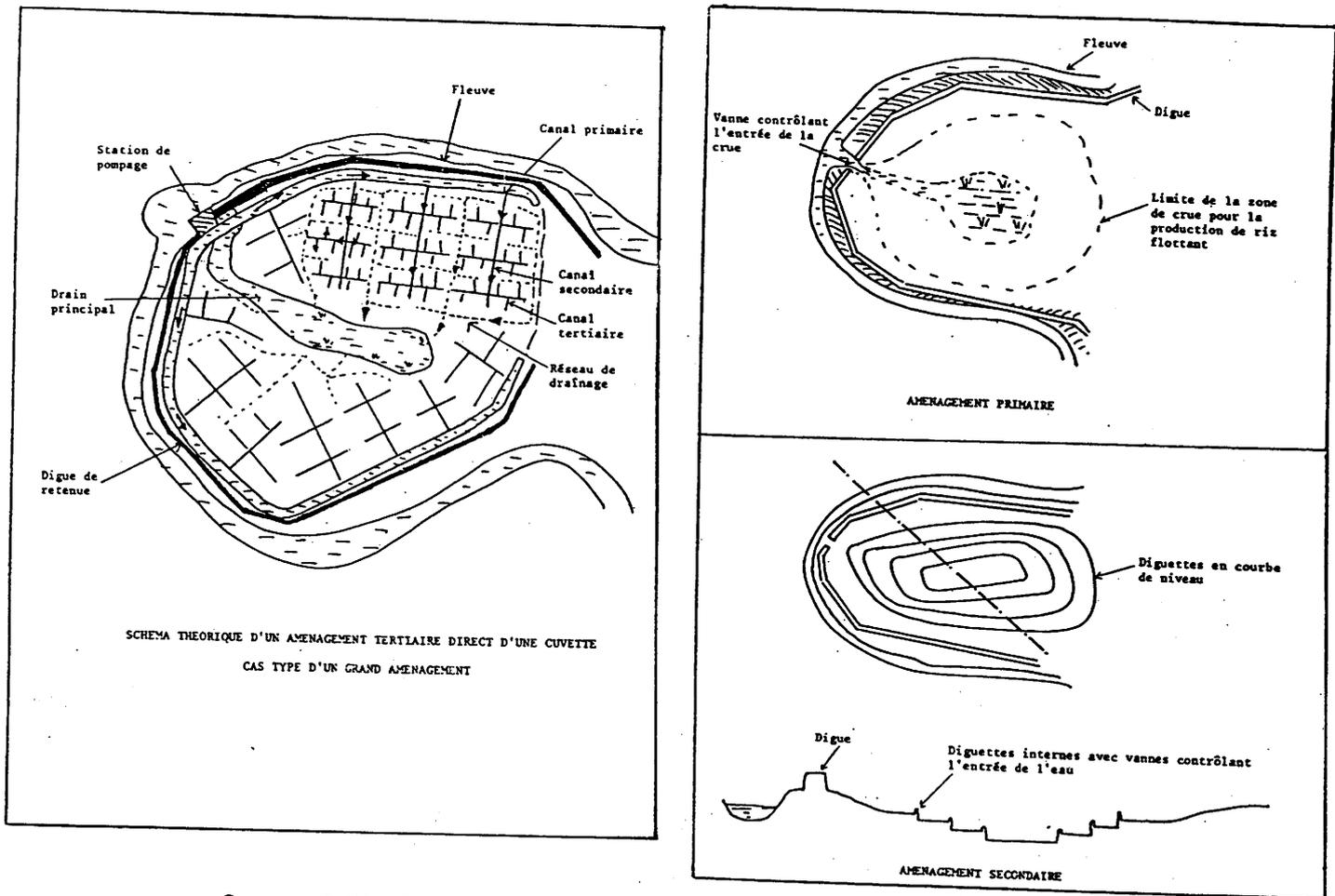
En ce qui concerne les interactions entre modèles techniques d'aménagement et systèmes de production, il existe, au Sahel, une relation qui n'a pas toujours été clairement explicitée, bien qu'elle ait fortement déterminé les spécificités de l'irrigation dans la région. Cette relation résulte des choix initiaux faits en matière d'aménagement hydraulique. Le fleuve Sénégal en fournit une bonne illustration (Seck et al., 1986). Au départ, l'objectif des aménagistes a été de mettre à profit les crues périodiques du fleuve submergeant les parties basses du lit majeur du fleuve (walo) et du Delta pour mettre en place un système d'irrigation par submersion. Ce choix était, en effet, le plus simple, le plus "naturel" et a priori le moins onéreux. L'eau s'accumulant par simple gravité dans des bas-fonds et cuvettes, il suffisait d'endiguer ces derniers et, par une simple vanne, de contrôler l'entrée et la sortie de l'eau et donc la submersion de ces cuvettes (aménagement primaire). Ayant fait ce choix hydraulique, on était pratiquement condamné, du point de vue de la mise en valeur agricole, à la monoculture du riz. En effet, la texture argileuse des sols de cuvette, leur hydromorphie, l'irrigation par submersion, limitaient pratiquement à cette seule espèce les choix culturels possibles.

Cette obligation ne posait, toutefois, pas de problème puisqu'elle allait dans le sens de l'objectif premier assigné aux aménagements hydro-agricoles, à savoir contribuer à la réduction du déficit céréalier du pays.

Ensuite, il s'avéra que, du fait de l'irrégularité de la topographie des cuvettes ainsi que de celle des crues, le contrôle de la submersion nécessitait la construction de diguettes en courbes de niveau au sein des zones endiguées (aménagement secondaire). Puis, les exigences de l'intensification rizicole (contrôle plus strict des périodes de submersion, de la lame d'eau sur les parcelles, etc...) ont conduit à des aménagements de type tertiaire, nettement plus sophistiqués, avec pompage, nivellement des parcelles, réseau de drainage, etc... (cf. figure III.18).

Mais ces évolutions successives de l'aménagement n'ont pas remis en cause le système technique de production découlant du choix initial qui consistait à commencer la culture irriguée par les zones les plus basses. Ce choix, très général dans les périmètres irrigués d'Afrique de l'Ouest, n'était pas inéluctable. Dans d'autres régions du même type (delta et plaines alluviales) comme celle du Gharb au Maroc, les aménagements ont commencé par les bourrelets de berge.

Figure III.18 : Evolution des aménagements dans la vallée du Sénégal



Source : Griffon M., 1981.

Ce choix initial a pesé lourd dans l'histoire de la mise en valeur de la vallée, ne serait ce que parce qu'il a concerné des terres où se pratiquent traditionnellement les cultures de décrue fort appréciées des paysans et faisant l'objet d'une appropriation privée très formalisée, à la différence des terres exondées (*fonde* ou *dieri*), ce qui a suscité une concurrence entre cultures irriguées et culture de décrue et de graves conflits fonciers. Par ailleurs, la diversification des cultures irriguées souvent souhaitée, s'est avérée dans ces conditions, difficile, voire impossible. Si on ajoute à ces contraintes la rigidité des premiers modes de gestion des périmètres, on comprend aisément la réticence, pour ne pas dire la résistance, des paysans à s'engager dans un tel schéma de mise en valeur.

Dans la nouvelle politique d'aménagement hydro-agricole, on cherche à responsabiliser les paysans et à alléger les charges financières de plus en plus insupportables pour les Etats que représentait, jusqu'ici, l'intervention des sociétés de développement. Mais, ce faisant, on donne aux paysans la possibilité

de passer de l'irrigation des bas-fonds (schéma traditionnel) à l'irrigation des bourrelets de berges (*fonde*). C'est d'ailleurs ce à quoi on a assisté dans la plupart des périmètres d'irrigation villageois (P.I.V.). Le désengagement des Etats risque donc de se traduire par un changement important des systèmes techniques de production. En effet, si dans les bas-fonds la riziculture était pratiquement la seule spéculation possible, par contre, sur les *fonde*, où la terre est de texture plus légère donc plus facile à travailler, non hydromorphe, la gamme des cultures possibles est très large. Elle va des céréales, comme le maïs et le sorgho aux cultures maraîchères (tomates, piments, cucurbitacées...), en passant par l'arboriculture fruitière.

La recherche d'une cohérence entre les modèles techniques d'aménagement hydro-agricoles et les systèmes de production qui vont en assurer la mise en valeur apparaît donc comme une condition indispensable à la réussite des projets d'irrigation. Cela suppose que si l'on ne veut pas persévérer dans l'erreur et continuer à accumuler les échecs, il faut revoir profondément les modalités de préparation des aménagements hydro-agricoles. Leur conception doit associer tous les acteurs et devenir réellement pluridisciplinaire. Les options de base doivent être négociées en fonction des intérêts de chacun. Enfin, il faut accroître la responsabilité des agriculteurs à tous les stades de la réalisation des projets d'irrigation car c'est de leur adhésion aux objectifs de ces projets que dépend, en définitive, la réussite ou l'échec de ces derniers (6).

### *c - Irrigation, densité de population et évolution des systèmes agraires*

Suivant la thèse de Boserup, l'irrigation, en tant que moyen d'intensification, n'est adoptée par les sociétés rurales qui disposent de ressources en eau mobilisables, qu'à partir du moment où la densité de population et la pression foncière se sont suffisamment accrues pour les contraindre à abandonner leurs systèmes de production antérieurs, plus extensifs.

On constate, effectivement, que c'est dans les régions du monde les plus densément peuplées (Inde, Java, Chine méridionale, Vallée du Nil) que l'irrigation est pratiquée à grande échelle et que les systèmes de culture irriguée sont devenus dominants.

Comparée aux autres continents, l'Afrique est sous-peuplée. Les vicissitudes de son histoire (esclavage, colonisation) ont fait que sa population qui constituait 20 % de la population mondiale au début du XVII<sup>ème</sup> siècle, n'en représentait plus que 12 % au début de ce siècle. Cette proportion sera de l'ordre de 14 % vers l'an 2000 (Gendreau, 1992).

Au sein de l'Afrique, les pays au sud du Sahara sont parmi les moins peuplés en même temps qu'ils ont des taux de croissance démographique très

élevés (3,2 %), ce qui constitue un double handicap pour le développement. La densité de population des pays sahéliens où ont été entrepris de grands aménagements hydroagricoles était, en 1990, partout inférieure à 40 hab/km<sup>2</sup> (39,6 au Sénégal, 23,6 au Cameroun, 7,5 au Mali, 5,6 au Niger). Par ailleurs, les superficies cultivées, actuellement, dans ces pays représentent moins de la moitié des terres considérées comme cultivables, ce qui laisse encore des réserves en terre appréciables.

Dans ces conditions, il n'est pas surprenant de constater que les systèmes de production dominants, en Afrique sub-saharienne, sont plutôt de type extensif et que si ces systèmes valorisent mal la terre (rendements faibles), par contre, ils valorisent bien le travail qui est, en fait, le facteur rare. Aussi, les agriculteurs de ces régions sont-ils peu enclins à substituer à leurs systèmes de production traditionnels des systèmes irrigués qui, certes, ont une meilleure productivité à l'hectare, mais dont la productivité du travail est généralement plus faible, notamment lorsqu'il s'agit de systèmes rizicoles, non mécanisés, exigeant le repiquage. Ce comportement vérifie parfaitement l'opinion exprimée par Pierre Gourou considérant que *"la comparaison entre les productions horaires de l'extensif et de l'intensif entraîne une conséquence qui, trop souvent, n'a pas été clairement perçue : toute technique nouvelle proposée au paysan doit lui apparaître comme rémunérant mieux l'heure de travail que la technique qu'elle remplace. Hors de là, pas de progrès possible, tout au moins dans un système qui se refuse à contraindre"*.

Par contre, recherchant la diversification de leurs ressources, les agriculteurs sont prêts à intégrer dans leur système de production, comme élément complémentaire, une certaine superficie irriguée, ce que permet, par exemple, la culture de contre-saison en bas-fonds. Or, il faut rappeler que dans les grands aménagements hydro-agricoles, comme ceux de l'Office du Niger, on a pendant longtemps ignoré, voire interdit, toute association entre cultures irriguées et cultures pluviales.

Par ailleurs, dans la valorisation des ressources hydrauliques provenant des rivières et des fleuves, la culture traditionnelle de décrue qui, dans le cas de la culture du sorgho, par exemple, limite les interventions culturales au semis, au gardiennage et à la récolte, a souvent été préférée par les paysans à la culture du riz dans les périmètres aménagés car elle assure une meilleure productivité du travail (au Nord-Cameroun, le sorgho de décrue nécessite 10 à 15 fois moins de journées de travail que le riz irrigué. Ponsart-Dureau, 1985).

Enfin, il faut noter que même les opérations de réhabilitation des anciens périmètres dégradés, si elles permettent d'améliorer sensiblement la production de riz à l'hectare par l'augmentation des rendements et la double culture, ne se traduisent pas forcément par un accroissement de la productivité comme l'a montré une étude faite au Projet Retail.

*Tableau III.9 : Effets économiques sur la culture du riz de la réhabilitation dans le Projet Rétail (Office du Niger).*

<b>Riz (hivernage, 1987)</b>	<b>Zone non réaménagée</b>	<b>Zone Retail</b>
Surface / exploitation	5,9 ha	4,4 ha
Rendement en paddy kg/ha	2066	4400
Charges totales / ha en F CFA	74.000 F	146.000 F
Revenu net/ha	70.000 F	162.000 F
Revenu net / exploitation	412.000 F	714.000 F
Temps de travail familial / ha	47 j	122 j
<b>Revenu net / journée de travail familial</b>	<b>1.485 F</b>	<b>1.330 F</b>
Charges de travail familial / kg de paddy	12 F	25 F
Coût de production total / kg de paddy	48 F	58 F

Source : IER, Samaké et al., 1988.

Au Maroc, à la différence du Sahel, la quasi-totalité des terres cultivables sont exploitées. La densité de population, Sahara Occidental compris, était de 35 hab/km<sup>2</sup> en 1990, mais cette densité est nettement plus élevée dans les périmètres irrigués où elle peut dépasser 200 hab/km<sup>2</sup> comme dans les Doukkala.

Avec de telles densités et compte tenu de l'aridité du climat, le recours à l'irrigation est une solution qui va dans l'intérêt, à la fois, de l'Etat et des agriculteurs. La terre étant le facteur rare, l'intensification devient une nécessité, et il n'est pas surprenant de constater que les rendements les plus élevés en betterave (70 T/ha) sont obtenus dans les Doukkala, spécialement dans les petites exploitations où la culture s'apparente au jardinage et où, par ailleurs, la double culture est largement pratiquée.

Cette rapide adhésion des agriculteurs marocains aux projets d'irrigation permet de relativiser un argument parfois avancé pour expliquer l'échec des aménagements hydro-agricoles au Sahel, à savoir l'absence de tradition de l'irrigation dans cette région. Avant l'aménagement des grands périmètres marocains, les agriculteurs pratiquaient une agriculture extensive associant culture pluviale des céréales et élevage de moutons qui ne leur avait fourni aucune expérience de l'irrigation.

Cependant, même au Maroc, le développement de l'irrigation a rencontré des difficultés comparables à celles constatées au Sahel, dans certains périmètres

irrigués comme celui du Massa. Ce périmètre de 18.000 ha a été aménagé en 1974-75 afin de mettre en valeur les ressources en eau de l'oued Massa, ainsi que des terres et un climat particulièrement favorables à la production de maraîchage primeur. Comme dans la plupart des grands périmètres sahéliens, cet aménagement a été conçu, essentiellement, en fonction des objectifs de l'Etat (développer les exportations) et dans le but de valoriser les potentialités physiques du milieu. Mais on a ignoré ou négligé les réalités sociologiques, c'est-à-dire l'existence d'une population peu dense, semi-nomade, les Massa, qui comme ses homologues du Sahel, était peu disposée à abandonner son système de production et son mode de vie traditionnels, pour devenir des horticulteurs intensifs. Il a fallu faire accepter, par les populations locales, l'arrivée d'agriculteurs intéressés par l'irrigation, en provenance de régions à plus forte densité de population, comme le Souss, pour assurer la mise en valeur de ce périmètre.

L'étude comparée du développement de l'irrigation au Maroc et au Sahel nous conduit à penser que le principal obstacle à la réussite des aménagements hydro-agricoles dans les pays au Sud du Sahara est la faible densité de leur population, spécialement dans les zones aménagées.

La forte croissance démographique des pays sahéliens va faire rapidement disparaître cet handicap. Le temps est loin où il fallait organiser, de gré ou de force, des déplacements de population pour assurer la mise en valeur des périmètres irrigués (comme ce fut le cas avec les Mossi transférés du Yatenga à l'Office du Niger). Dès à présent, on note un intérêt croissant pour l'irrigation comme l'attestent le rapide développement de l'irrigation privée dans la vallée et le delta du Sénégal, ainsi que le grand nombre de postulants à l'acquisition de lots irrigués dans les périmètres réaménagés du Mali.

On peut penser que ces comportements ne font qu'anticiper sur la période proche où la pression foncière rendra impossible la survivance des anciens systèmes de production, grands consommateurs d'espace, et où l'irrigation apparaîtra comme un des moyens les plus sûrs pour lutter contre l'aridité et contribuer à l'intensification agricole rendue nécessaire par l'accroissement de la population.

---

**BIBLIOGRAPHIE**

---



BIBLIOGRAPHIE

AMEZIANE T., OUATTAR S. 1983 - L'étude du climat en agriculture ; nouvelle approche d'un vieux problème - *Rev. Hommes Terre et Eaux* n°52:53, 93.100

A.N.A.F.I.D 1991 - *L'irrigation au Maroc*. Rabat 47p

BAUMER M. 1987 - *Agroforesterie et désertification*. Ed. CTA Wageningen 260p

BENATYA D., KAGDOUNI L. 1991 - Stratégie de production et aléas climatiques, quelques remarques méthodologiques - *Options méditerranéennes* n° 21 - CIHEAM/CREAD

CHAFFAI A. 1978 - Comparaison d'itinéraires techniques pour la culture du blé en zone semi-aride. Mémoire de 3ème cycle Dpt. agronomie IAV Hassan II - Rabat. 80p Annexes

CHARREAU C., NICOU R. 1971 - l'amélioration du profil cultural dans les sols sableux de la zone tropicale sèche ouest africaine et ses incidences agronomiques - *L'Agron. Trop.* Vol 35 n°2 - 209. 255.

CHOPART J.L. 1975 - Influence du labour et de la localisation de l'engrais en profondeur sur l'adaptation à la sécheresse de différentes cultures pluviales au Sénégal . Bambey - ISRA-CNRA 172p.

CHOPART J.L., NICOU R. 1976 - Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. *L'Agron. Trop.* 20,7-28.

CLAUDE J., GROUZIS M., MILLEVILLE P. 1991 - *Un espace sahélien. La mare d'oursi, Burkina Faso* - Edit. ORSTOM 241p.

Collect., 1985 - Les cultures associées dans la zone sahéenne et sahélo-soudanienne de l'Afrique de l'ouest - *Bulletin de liaison Sahel* n°3 - Institut du Sahel.

CROUSE R., MATHIEU P., SECK S. 1992 - *La vallée du fleuve Sénégal . Evaluations et perspectives d'une décennie d'aménagements*. Ed. Karthala Paris 380p.

DEVEZE 1992 - Bilan et perspectives de quatre grands aménagements hydro-agricoles en Afrique et Madagascar C.C.C.E Paris 38p. + annexes

DIEMER G., VAN DER LAAN E. 1987 - *L'irrigation au sahel*. Karthala Paris, Wageningen CTA. 220p

DSA 1987 - *Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production*. Collection DSA n°6 tome 1 et 2 CIRAD Montpellier

DOUMOIRO J.P 1987. Etude de la variabilité du rendement du mil dans la région de Maradi (Niger); Mémoire ESAT CNEARC Montpellier 121p

DUGUE P 1984 - Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture viviers en zone soudano-sahéenne. Le cas du Yatenga (Burkina Faso) - Coll. D.S.A n°9 CIRAD Montpellier 267p. + annexes.

EI HOUATA - 1980 - Effet de la dose et du fractionnement de la fertilisation azotée sur le blé en zone semi-aride. Mémoire ENA Meknés.

- EL BAGHATI H. 1978 - Contribution à la recherche d'une problématique de céréaliculture en zone aride. Mémoire. Dpt agronomie. IAV Hassan II Rabat 71p. + annexes
- EL BEHRI A. 1986 - Diagnostic agronomique sur les contraintes aux rendements des céréales (blés, orge) en Haute Chaouia et Béni Meskine. Projet Chaouia II. Direction du Développement Rural - IAV Hassan II Rabat 31p.
- EL HAILOUCH M. 1982 - Catégories structurelles et fonctionnement technique des exploitations agricoles d'un douar de Haute Chaouia - Mémoire IAV Hassan II Rabat. 92p
- ELLOUMI M., GARA M., SOLER L.G., 1991 - Régulation face aux aléas climatiques : fonctionnement et reproduction des exploitations agricoles dans le semi-aride tunisien - *Options méditerranéennes* série A/n°21 - p.27 - 44.
- EZZAMITI M. 1980 - Effet du travail du sol sur l'économie de l'eau - Conséquences sur le rendement du blé tendre Nesma 149 en zone semi-aride. Mémoire Dpt. d'agronomie IAV Hassan II Rabat.
- FENECH J., PAPY F. 1977 - Conditions de réussite de la levée en climat méditerranéen. *Ann. Agron.* 28(6). 599-635.
- FLORET C., PONTANIER R. 1984 - Aridité climatique, aridité édaphique. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 131 Actual. Lot. 2/3/4: 265-275.
- GARIN P., LERICOLLAIS A. 1990 - *Evolution des pratiques agricoles depuis 30 ans et leur adaptation à la sécheresse dans un village du Sine* - DSA-ORSTOM 110p.
- GENDREAU F. 1989 - *Démographie et société*. Doc. CEPED Paris 43p.
- GRET 1991 - *La réhabilitation des périmètres irrigués* . Ed. du GRET Paris 70p.
- GRIFFON M. 1981. - Eléments pour une lecture des projets de développement de la vallée du fleuve Sénégal. Note AMIRA. Paris 31p.
- HALLAIRE M. 1963 - Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement - *L'eau et la production végétale* p.27-62 INRA.
- JAMIN J.Y., BERETE O., SANOGO M.K. 1990 - Une expérience d'intensification de la culture irriguée au Sahel : le Projet Rétail de l'office du Niger (Mali). Doc. CIRAD-DSA Montpellier 33p.
- JOUVE A.M 1980 - Démographie et céréaliculture, évolution comparée de la démographie et de la céréaliculture du Maroc depuis le début du siècle - *Rev. Géo. Maroc* n°4. p.5-20.
- KORTENHORST L.F., SPRE L., VAN STEEKELENBURG 1990 - *Aspects du développement de l'irrigation en Afrique sub-saharienne* ILRI Wageningen , 49p.
- LAZAREF G.1993 - Vers un éco-développement participatif Doc. PNUD - FNUE 215p.
- LE COZ J. 1990 - Espaces méditerranéens et dynamiques agraires - Etat territorial et communautés rurales - *Options méditerranéennes* Série B-n°2.
- LE GAL P.Y. 1986 - Les systèmes de culture au sud du département de Maradi - Analyse des pratiques culturales et de leur influence sur les rendements. Doc. Projet Développement rural Maradi, 53p.

- LE GAL P.Y. - L'agriculture sahélo-soudanienne face à la sécheresse - l'exemple de la région de Maradi (Niger). *Cah. Rech. Dév.* 1987 16, 42-50.
- LEONARDI F. 1987 - Contribution à l'étude des actions organisationnelles au sein du programme Recherche-Développement du projet Maradi (Niger) Mémoire CNEARC - ESAT Montpellier 78p.
- LYAMANI A. 1986 - Pertes de rendement dues aux agents des pourritures racinaires des blés - Compte rendu du programme d'aridoculture 1985-86 - INRA-MIAC p.73-75
- MARCHAL P.Y 1983 - *Yatenga. Nord Haute -Volta. La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien* - Travaux et documents de l'ORSTOM n°167 - 849p.
- MATLON P.J 1985 - Analyse critique des objectifs, méthodes et progrès accomplis à ce jour dans l'amélioration du sorgho et du mil : une étude de cas de l'ICRISAT au Burkina Faso - in *Technologies appropriées pour les paysans des zones semi-arides de l'Afrique de l'ouest* - Université de Purdue U.S p.181-211.
- MORRIS J., NORMAN R. 1984. *Prospects for small-scale irrigation development in the Sahel* USAID, WMS Report 26 Utah State University 121 p. + annexes.
- MORTIMORE M. 1991 - Land transformation under agricultural intensification in northern Nigeria. Com. Workshop on population change and land use in Developing Countries. December 5-6 - 199p Ibadan Nigeria; 27p.
- MORTIMORE M. 1992 - Population growth and dryland management in semi-arid farming systems. Economy Ecology interaction in the sahel - March 10-13, 1991 Oslo, Norway. 22p
- MORTIMORE M. 1989 - *Adapting to drought, farmers, famines and desertification in west Africa* - Cambridge University Press. 255p
- MOULINE M. - Estimation du potentiel céréalier - *Rev. Hommes Terre et Eaux*, Vol. 9 n°35. 1979 p. 59-66.
- NICOU R. , CHOPART J.L. 1992 - Travail du Sol et propriétés physiques du sol en zone semi-aride ouest-africaine - Com. Seminaire travail du sol en zones arides et semi-arides Rabat.
- OUATTAR S., AMEZIANE T. 1989 -*Les céréales au Maroc - De la recherche à l'amélioration des techniques de production.* Editions Toubkal. Maroc. 123p
- PAPY F., 1979 - Analyse du comportement des cultures de blé dur et d'orge dans différentes régions céréalières du Maroc à travers leur réactions aux variations interannuelles ou régimes pluviométriques. *C.R Acad. Agric. Fr.* Séance du 31/ 1/79 231-247.
- PAPY F., LELIEVRE F. 1979 - Les pratiques de céréaliculture dans une région aride de type méditerranéen : la plaine de Benguerir - *Rev. Géo. Maroc* n°3, 23-44
- PAPY F., OUSSIBLE M., JOUVE P. 1981 - Les contraintes pédoclimatiques à l'exploitation agricole des zones semi-aride et aride du Maroc occidental. *Rev. Géo. Maroc* n°5 N.S 121-133.
- PELISSIER P. 1966 - *Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance* - Saint Yriex, Fabrégué 974p.

PIET VAN DER POEL, BOCARY KAYA 1990 - Synthèse des activités de recherche de la DRSPR sur l'aménagement anti-érosif (1986-1989) IER Mali KIT Amsterdam 19p.

PONSART- DUREAU M.C 1985 - Contribution à la connaissance de la région de zimado en vue d'une intervention SEMRY- Nord Cameroun - mémoire ESAT - CNEARC Montpellier 94P.

Projet Maradi - Rapports annuels de la Recherche Développement 1985-86-87.

PUECH J., MARTY J.R., MAERTENS C. 1976 - Valorisation de l'eau consommée par les cultures en présence ou non d'irrigation. BTI 307. p. 99-102.

PUECH J., MARTY J.R. MAERTENS C. 1977 - Efficience de l'eau consommées par divers végétaux et application à la valorisation de l'irrigation. BTI 306 p. 41-53.

RAUNET M. - Bas-fonds et riziculture en Afrique. Approche structurale comparative. *L'Agron. Trop.* 1985, 40-3, 181-201.

RAYNAUT 1980 - *Recherches multi-disciplinaires sur la région de Maradi - Rapport de synthèse* - Univ Bordeaux II DGRST/LAT.

ROESCH M. PICHOT J 1984 - Utilisation du phosphate naturel de Tahoua en fumure de fond et en fumure d'entretien dans les sols sableux du Niger. Doc. IRAT Montpellier 28p.

SECK P.M., LERICOLLAIS A. 1986 - Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production dans la vallée du Sénégal. *Rev. Les cahiers de la Recherche-Développement* n°12 p.3-9.

SERPANTIE G., TEZENAS DE MONTCEL L., VALENTIN C. 1992 - La dynamique des états de surface d'un territoire agropastoral soudano-sahélien - *L'aridité une contrainte au développement* Ed. ORSTOM Paris p417-447.

SEYDOU A. 1991 - Gestion des ressources sylvo-pastorales de Dorobobo - évaluation et propositions d'amélioration . Memoire ESAT CNEARC ENGREF PGTF. 80p;

SIBAND P. 1974 - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *L'Agrono. Trop.* 29(12) : 1228-1248.

TRICART J., BLANCK J.P. 1991 - L'office du Niger, mirage du développement au Mali. *Ann. de Géo.* n°549 p567-587.

UICN 1989 - Etudes de l'UICN sur le Sahel - 155p.

WIJNGAARDEN V.W. 1988 - Analyse globale des systèmes de production dans les départements de Maradi, Zinder et Diffa PIGRAR - CABO Wageningen 42p.

ZAGDOUNI L., BENATYA D. 1986 - Les coûts de production des quatre céréales principales en Haute Chaouia (1981-82) *Options méditerranéennes* - Serie Etudes, Dec.1986.