

AMELIORER L'ALIMENTATION HYDRIQUE  
ET SON EFFICIENCE  
EN AGRICULTURE PLUVIALE  
EN AFRIQUE  
AU SUD DU SAHARA

F-N REYNIERS (\*) - F. FOREST (\*\*)

SEMINAIRE ILRI/CTA

25-29 avril 1988 à HARARE

(\*) Agrophysiologiste CIRAD/IRAT

(\*\*) Agroclimatologiste CIRAD/IRAT

## RESUME

Face au problème de la sécheresse couramment observé en Afrique, au Sud du Sahara, contrairement à une idée largement répandue, l'irrigation n'est pas la solution la mieux adaptée au développement de la production agricole. Il existe en effet de nombreuses conditions, ou situations agricoles, où la productivité de l'agriculture pluviale peut être améliorée à moindres coûts si la pluviométrie est mieux managée.

Il s'agit tout d'abord d'améliorer par des techniques simples l'alimentation hydrique des cultures. Actuellement, une partie importante de la pluie n'est pas utilisée par les cultures mais perdue par ruissellement, drainage sous la zone racinaire, etc.

En second lieu, il est nécessaire d'améliorer l'efficacité de l'alimentation hydrique en augmentant la production de grains par quantité d'eau consommée.

Pour que les irrigants et les agronomes des cultures pluviales préconisent de concert les solutions les mieux adaptées au développement agricole, un dialogue entre eux doit s'établir. Il pourrait être engagé sur quatre points :

- 1° Les bases de l'alimentation hydrique des cultures pluviales ;
- 2° Le diagnostic des risques de déficit hydrique ;
- 3° Les conditions et les techniques réduisant le déficit hydrique ;
- 4° La complémentarité entre agriculture pluviale et irriguée.

Afin d'amorcer le dialogue, on présentera des données sur ces quatre points. Elles ont été obtenues principalement par les chercheurs des Institutions Nationales de Recherche Agronomique et du CIRAD. Obtenues en Afrique de l'Ouest francophone, il sera profitable de les comparer à des résultats obtenus dans d'autres contrées. C'est pourquoi on doit se féliciter de l'opportunité offerte par le séminaire d'Harare organisé par l'ILRI et le CTA avec la participation de représentants de nombreux pays d'Afrique au Sud du Sahara.

## INTRODUCTION

Un des buts de notre séminaire est de débattre des conditions respectives de la promotion du développement des agricultures pluviales ou au contraire irriguées.

Pour que des conclusions et recommandations claires aux utilisateurs en découlent, il est primordial que les agronomes en charge trouvent un langage et des objectifs communs. Ils pourront ainsi évaluer leurs options avec les mêmes unités et ainsi juger objectivement la meilleure.

Nous proposons que la langue soit celle de la gestion de l'eau et l'objectif la satisfaction optimale des besoins en eau de la culture.

Dans cette optique et en schématisant, l'art de l'irrigant est de gérer l'eau pour tendre vers les besoins optimum des cultures.

L'art de l'agronome pluvial est le management de la pluie pour que la végétation subisse un minimum de déficit hydrique.

Avant de proposer des éléments sur ce management de la pluie, on peut se demander les raisons du retard des agronomes pluviaux par rapport aux irrigants. Les approches cloisonnées des problèmes de la sécheresse par les agronomes, les sélectionneurs, les agroclimatologistes, sont probablement une des origines. Heureusement, depuis quelques années et en particulier certains agronomes pluviaux africains se sont intéressés à l'intégration des résultats concernant l'eau entre ces disciplines dans une approche communément dénommée EAU-SOL-PLANTE-ATMOSPHERE.

Si, jusqu'à maintenant, cette approche était restée du domaine de la recherche agronomique, ses résultats sont désormais suffisamment prometteurs pour que s'engage un dialogue fructueux avec les agronomes développeurs et tout particulièrement les irrigateurs dans l'optique mentionnée et sur les points suivants :

1° Les relations entre l'alimentation hydrique d'une parcelle et sa production ; la caractérisation et les paramètres de cette alimentation ;

2° Le diagnostic des risques de déficit hydrique par la comparaison entre les productions espérées, estimées par l'évaluation de l'effet des facteurs de l'alimentation hydrique, et les productions observées ;

3° Les situations, les techniques culturales et le matériel végétal pour "manager" la pluie à la parcelle.

Pour amorcer le débat, nous présentons sur ces points quelques repères choisis dans les résultats de la recherche agronomique, particulièrement en Afrique de l'Ouest francophone.

I LES RELATIONS ENTRE L'ALIMENTATION HYDRIQUE D'UNE PARCELLE ET SA PRODUCTION ; LA CARACTERISATION ET LES PARAMETRES CONDITIONNANT L'ALIMENTATION HYDRIQUE

1.1. ALIMENTATION HYDRIQUE ET PRODUCTION D'UNE PARCELLE  
CARACTERISATION DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE

La productivité d'une parcelle, culture ou pâturage, dépend du taux de satisfaction des besoins en eau et de la fertilité du sol, suivant une relation schématisée par la figure 1.

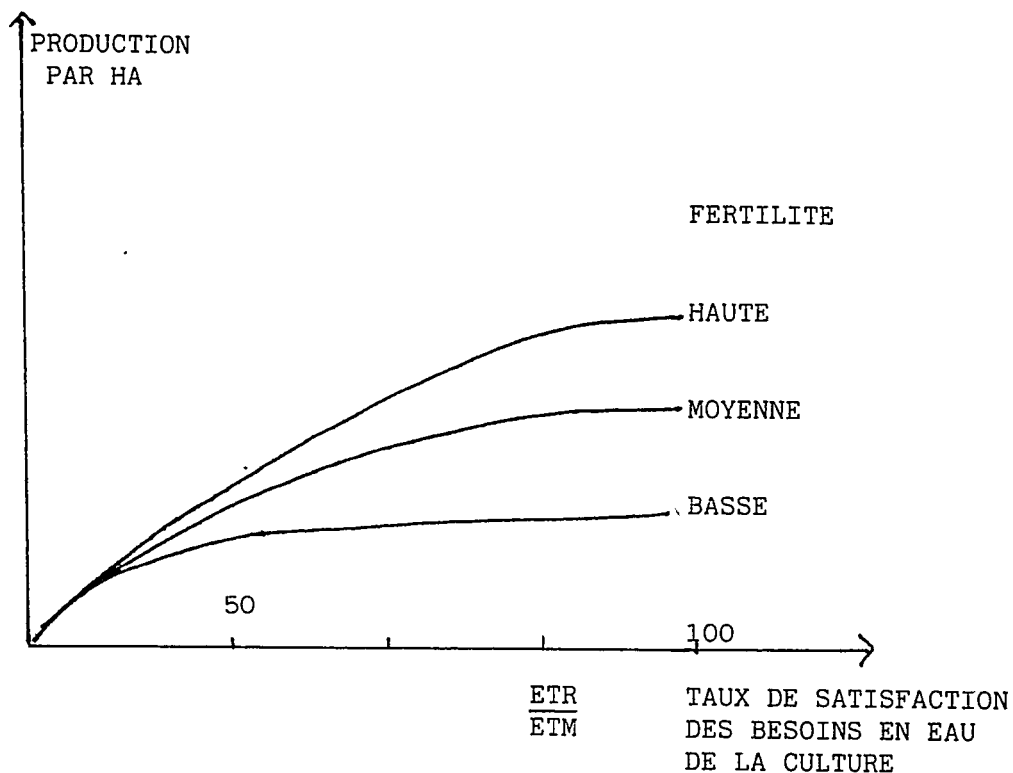


FIGURE 1

LA PRODUCTIVITE D'UNE CULTURE DEPEND DE SON ALIMENTATION HYDRIQUE  
ET DE LA FERTILITE DU SOL

Le taux de satisfaction d'une parcelle est évalué par le rapport entre l'eau consommée, autrement dit son alimentation hydrique, et ses besoins en eau.

En schématisant, on considère que les besoins en eau varient essentiellement avec l'ensoleillement et la température donc en Afrique Tropicale semi-aride, surtout entre saison des pluies et saison sèche. Ainsi, en agriculture pluviale, pendant l'hivernage, les besoins en eau des cultures sont relativement stables.

C'est pourquoi, dans les pays concernés, l'évaluation de l'alimentation hydrique de la parcelle (ETR) permet de prévoir les productions pour une fertilité donnée.

Les hauteurs de pluies perdues par drainage en début de végétation sont le second terme à évaluer pour prévoir les productions. Comme l'un se déduit de l'autre très simplement, on présentera essentiellement les paramètres conditionnant l'alimentation hydrique des cultures.

## 1.2. Les paramètres conditionnant l'alimentation hydrique d'une parcelle et leurs évaluations

### 1.2.1. PARAMETRES CLIMATIQUES

En saison de culture, la demande climatique (rayonnement global, température), la pluviométrie (importance et durée de la saison des pluies) sont les paramètres climatiques essentiels de l'alimentation hydrique des cultures. En Afrique de l'Ouest, ces paramètres varient comme on le sait du Nord au Sud, et d'Est en Ouest (Tableau 1).

Dans les études de zonage, la demande évaporative à l'échelle de la pentade a une variation inter-annuelle suffisamment réduite pour utiliser des données moyennes telles que proposées par l'ICRISAT pour les pays du CILSS (1980).

Pour des interprétations de variation de production à la parcelle, les données réelles sont préférables. Elles sont obtenues par des mesures au Bac Classe A ou par la formule de Penman.

Par contre, pour la pluviométrie, les données journalières sont indispensables compte-tenu de leur très forte variabilité inter-annuelle. Dans les études de zonage, il est important de disposer d'au moins 15 ans de données. Cependant, il est préférable d'en avoir davantage pour pouvoir comparer la période avant 1970 à celle entre 1970 et 1987. En effet, on note un "assèchement" pendant cette dernière période en Afrique de l'Ouest.

<u>SENEGAL</u>			J	J	A	S	O	Total saison des pluies
MATAM		P	120		187	113		414
Lat. 15°	38							
LongO 13°	15	ETP	155		130	137		422
BAMBEY								
Lat. 14	42	P	125		246	187		558
LongO 16	28	ETP	138		130	135		403
ZIGINCHOR								
Lat. 12	33	P122	348		538	354	146	1 508
LongO.16	16	ETP161	131		125	128	140	685
<u>TCHAD</u>								
MAO								
Lat. 14	07	P	96		164			260
LongE 15	19	ETP	159		131			290
N'DJAMENA								
Lat. 12	08	P	155		240	103		498
LongE 15	02	ETP	137		116	132		248
MOUNDOU								
Lat. 8	34	P	158		250	311	240	959
LongE 16	05	ETP	109		103	94	99	405

TABLEAU 1

PENDANT LA SAISON DE CULTURE PLUIES ET ETP MENSUELLES

- ECART D'OUEST EN EST ET DU NORD AU SUD DES PAYS DU CILSS -

### 1.2.2. PARAMETRES SOLS DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE

Toutes les caractéristiques des sols qui modifient  
 - l'infiltration des pluies  
 - sa capacité d'emménagement en eau  
 - la croissance racinaire  
 - l'accessibilité de l'eau aux racines  
 sont à prendre en compte pour l'évaluation de l'alimentation hydrique à la parcelle.

Quelques exemples pris dans plusieurs disciplines pour souligner l'importance de quelques paramètres sols sur l'alimentation hydrique et donc sur la productivité de la parcelle, seront présentés. Le concept intégrateur de toutes ces caractéristiques est la réserve utile racinaire (RUR). Elle intègre le volume de sol jouant le rôle de réservoir en eau (RU) et la partie de ce réservoir exploitée par les racines de la culture. Elle s'évalue en mm d'eau, mais elle reste encore une notion théorique que l'on ne sait pas mesurer avec précision *in situ*.

#### Variation de la RU dans le paysage

La position de la parcelle dans le bassin versant modifie parfois la RU.

Un exemple pris au Sénégal est illustré par la figure 2. A l'échelle du bassin versant, en plus de l'effet RU, la circulation de l'eau latérale par gravité peut jouer un rôle important dans l'alimentation hydrique.

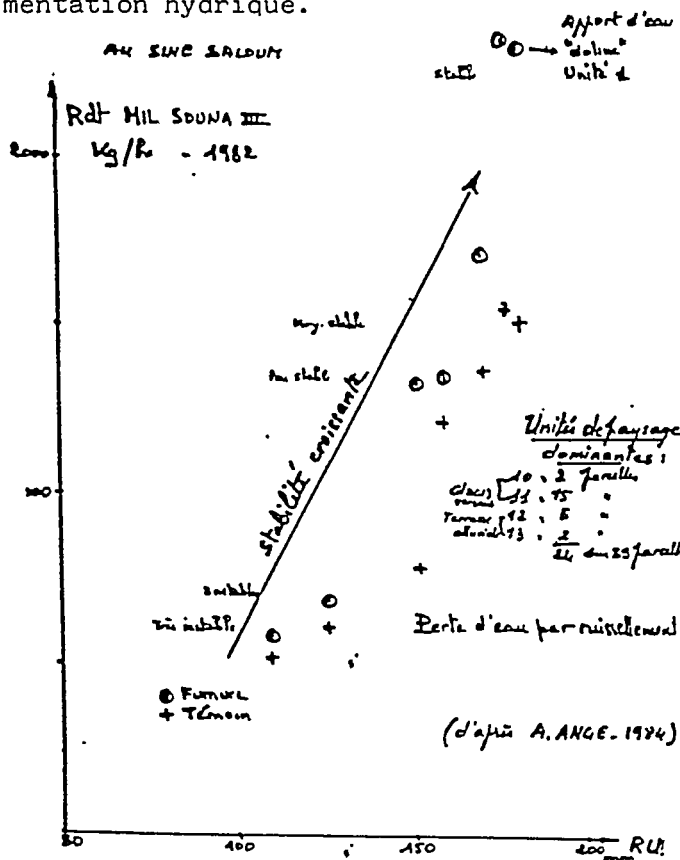


FIGURE 2

EFFET DE L'INSTABILITE DES PAYSAGES SUR LE RENDEMENT DU MIL (90 jours)

Variation de la RU selon les sols

La réserve en eau du sol dépend essentiellement du type de sol (sa granulométrie en particulier) et de sa profondeur.

Aucun inventaire des sols tropicaux en fonction de leur RU n'est disponible, et c'est regrettable. A travers des données ponctuelles, on sait que c'est une caractéristique très variable.

Par exemple (tableau 2.), entre les sols DIOR et DEK typiques du Centre du Sénégal, les RU sur 1,5 m varient de 80 à 180 mm environ.

TYPE DE SOL TRANCHE (cm)	DIOR	DIOR SOLE I NORD BAMBEY	DEK SOLE A BAMBEY
0 - 50	21	37	63
50 - 100	25	39	58
100 - 150	28	47	53
0 - 150	77	123	179

TABLEAU 2  
STOCK HYDRIQUE "UTILE" A LA CAPACITE DE RETENTION (en mm)  
SELON LE TYPE DE SOL  
d'après HAMON (1978 - SENEGAL)

Mais les variations de RU selon les parcelles sont également importantes dans un même type de sol (tableau 3).

PARCELLE TRANCHE DE SOL (m)	RESERVE UTILE (mm)		
	1	2	3
0 - 0,1	8,8	11,9	9,6
0,1 - 0,2	22,1	24,9	24,0
0,2 - 0,4	45,9	55,5	54,8
0,4 - 0,6	74,3	85,3	81,6
0,6 - 0,8	104,3	116,7	104,4
0,8 - 1,0	142,9	153,1	130,6
1,0 - 1,2	183,7	190,7	162,4

TABLEAU 3  
RESERVE UTILE CUMULEE EN MM D'EAU PAR TRANCHE DE SOL ET SELON  
LES PARCELLES DANS LA PLAINE IRRIGUEE DU SOUROU (BURKINA)  
d'après SOME, NICOU (1988)



### Les paramètres chimiques du sol

La matière organique (taux et nature), la fertilité minérale, le pH, l'aluminium échangeable du sol conditionnent l'enracinement.

La connaissance de l'évolution de ces paramètres est un élément fondamental pour comprendre la dégradation de la production. Ainsi, la réduction du temps de jachère a modifié ses caractéristiques chimiques et augmenté le risque de déficit de l'alimentation hydrique de façon considérable.

### 1.2.3. PARAMETRES PLANTE DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE

L'enracinement (sa profondeur, sa densité) est un facteur essentiel de l'alimentation hydrique.

Le développement racinaire dépend du sol aussi bien de ses caractéristiques physiques, chimiques, que biologiques.

La combinaison de la RU du sol et du profil racinaire aboutit à l'évaluation de la RUR, présentée plus haut.

Il faut souligner que, pour l'irrigation, la connaissance des RUR des parcelles est de première importance, car elle conditionne en particulier les temps de travaux. Ainsi, plus la RUR est importante, plus "les tours d'eau" peuvent être espacés.

Les coefficients culturaux (kc) sont, comme le savent bien les irrigateurs, également un facteur important de l'alimentation hydrique à la parcelle. Originellement, ils ont été définis par le rapport entre les besoins en eau optimum de la culture (ETM) et la demande évaporative. Dans ce sens, ils sont évalués grâce au lysimètre. La durée du cycle est évidemment un paramètre essentiel. Enfin des stades de développement, en particulier la phase reproductive a une importance de premier ordre pour expliquer les relations entre déficits hydriques et productions, surtout pour les céréales et les légumineuses à graine.

### 1.3. SIMULATION DU BILAN HYDRIQUE DE LA PARCELLE

L'intégration des paramètres mentionnés en vue de l'évaluation de l'alimentation hydrique peut être calculée par différents modèles plus ou moins complexes.

Un exemple de ces modèles est BIP 4 (BILAN HYDRIQUE PLUVIAL 4) (FOREST et al, 1984). C'est un modèle qui nécessite des données assez généralement disponibles.

Il permet d'évaluer l'alimentation hydrique des parcelles pendant le cycle et les principales phases de développement ainsi que le drainage.

### CONCLUSION PARTIELLE

Pour estimer la productivité d'une parcelle en zone semi-aride en Afrique, une voie possible est le calcul des principaux termes de son alimentation hydrique.

On a présenté les paramètres climatiques pédologiques et plantes qu'il est nécessaire de connaître préalablement. Ceux-ci se combinent en quelques facteurs simples dont on peut tester les effets en utilisant un modèle de simulation du bilan hydrique. Quels sont ces facteurs et comment, en simulant l'effet de leur variation, on peut établir un diagnostic des facteurs d'amélioration de l'alimentation hydrique est l'objet de la seconde partie.

## II LES BASES DU DIAGNOSTIC DE L'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE

L'évaluation des productions espérées en conditions optimales d'alimentation hydrique correspond en la corrigeant à la notion de potentialités agricoles souvent utilisée.

Celles-ci sont généralement comparées aux densités de population pour envisager des stratégies allant jusqu'à préconiser des déplacements de population vers des régions ou des pays présentant moins de risques.

Ce type d'approche présente une méconnaissance du problème tant technique qu'humain.

Tout d'abord, la méthode d'évaluation des potentialités sous-estime le rôle des paramètres de l'alimentation hydrique. En effet, en général, ne sont pris en compte que la pluviométrie et une évaluation très simpliste de la fertilité des sols. De ce fait, sont gommées toutes les variabilités réelles au niveau du terroir.

D'autre part, le vrai problème, celui du paysan, n'est pas considéré. Car il est motivé par des moyens valorisant son terroir ; il est découragé de savoir que dans sa région la densité de population est trop élevée par rapport à ses potentialités.

La proposition de diagnostic en vue de l'amélioration de l'alimentation hydrique est plus réaliste. Elle vise à répondre aux questions suivantes, pour des échelles variables allant de la parcelle du paysan à des zones de même pluviométrie en passant par le bassin versant et le terroir villageois :

- Quels sont les effets des variations des paramètres climat, sol et plante sur l'amélioration de l'alimentation hydrique ?

- Quel est pour leurs valeurs optimum le rendement espéré ?

En comparant l'estimation des rendements espérés aux rendements observés, on détermine les possibilités d'amélioration et la nécessité éventuelle de l'irrigation.

En déterminant l'effet des paramètres climat, sol et plante, se dégagent selon les régions des recommandations générales que l'on peut traduire en terme de techniques agronomiques à mettre en oeuvre, de recherches à entreprendre, ou de planification à préconiser.

Pour modifier les paramètres de l'alimentation hydrique mentionnés dans la première partie, il faut les traduire en facteurs agronomiques. Les principaux sont :

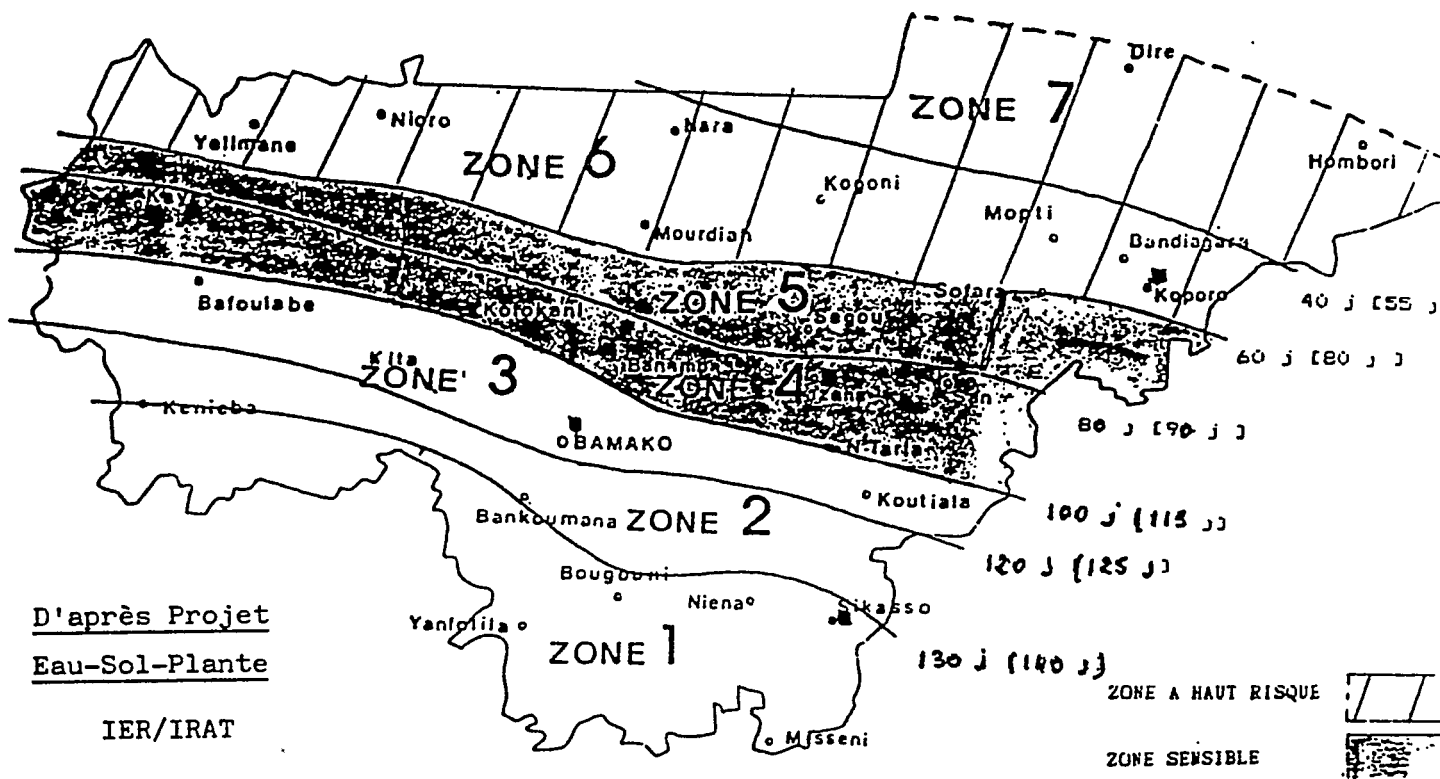
- le contrôle du ruissellement
- la durée de la culture et du cycle végétatif
- la date de semis
- la réserve utile racinaire

2.1. SIMULATION DES FACTEURS CONDITIONNANT L'ALIMENTATION HYDRIQUE

Une étude réalisée par une équipe IER/IRAT au MALI illustrera comment par étapes successives l'optimisation des facteurs agronomiques d'utilisation de la pluviométrie ~~sont précisées~~, et quel est le risque encouru.

Facteur n° 1 : La durée de la culture

Dans le cas du MALI, 7 zones correspondant à un raccourcissement de la durée optimal de la culture ont été mises en évidence du Sud au Nord. Elle passe de 130 j à 40 j avec un risque augmentant simultanément (Fig. 3)



**FIGURE 3**  
**ZONAGE AGROPEDOCLIMATIQUE PAR**  
**L'EVALUATION DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE**  
**D'UNE CULTURE MOYENNE**

A l'intérieur de ces zones, l'espérance de production peut être fortement améliorée en jouant sur le cycle des variétés mais aussi sur la RUR (Tableau 4)

Dans le cas du Mil, on constate que les espérances de production varient selon les conditions de 2,0 t/ha à moins de 100 kg/ha. Il est important de noter que suivant les zones l'effet des facteurs considérés varie considérablement : par exemple, dans les zones les plus humides ou les plus sèches l'effet de la RUR est faible alors qu'il est important dans les zones intermédiaires. Ainsi, dans la zone VI en doublant la RUR les rendements espérés peuvent doubler passant de 550 kg/ha à 1 000 kg/ha pour un Mil de 90 jours.

PERIODES FRE- QUENCE	CY- CLES JOURS	RUR (mm)	I	II	III	IV	V	VI	VII
1950-85	90j	120	17	17 à 15	15 à 14	14 à 12.5	12.5 à 11	11 à 9	<9
	8/10	120j	20.5	20.5 à 16.6	16.6 à 14	13.7 à 10	10 à 6	6 à 2.5	<2.5
1970-85	90j	60	16.5	16.5 à 14	14 à 13	13 à 11	11 à 9.5	9.5 à 5.5	<5.5
		120	17	17 à 15.5	15.5 à 14	14 à 12	12 à 10	10 à 7.5	<7.5
	120j	60	17.7	17.7 à 15	15 à 11	11 à 7.5	7.5 à 3.5	3.5 à 0.5	<0.5
		120	20	20 à 16	16 à 12.5	12.5 à 8.5	8.5 à 4	4 à 1	<1

TABLEAU 4

RENDEMENTS ESPERES (Qx/ha ) DES MILS  
DE 90 et 120 jours  
POUR LES ZONES AGROPEDOCLIMATIQUES  
POUR LES PERIODE NORMALE ET SECHE  
POUR DEUX RESERVES EN EAU UTILE (60 et 120 mm)  
(Fréquence atteinte ou dépassée 8 années/10)

Facteur n° 3 : Date de semis

La date de semis est le troisième facteur d'optimisation de l'alimentation hydrique testé, dont l'influence dépend aussi des autres conditions.

Ainsi, en utilisant la même approche au BRÉSIL (STEINMETZ et al), on constate un effet de la date de semis très marqué à GOIANIA et CAROLINA et peu d'effet à PORTO VELHO (Fig. 4).

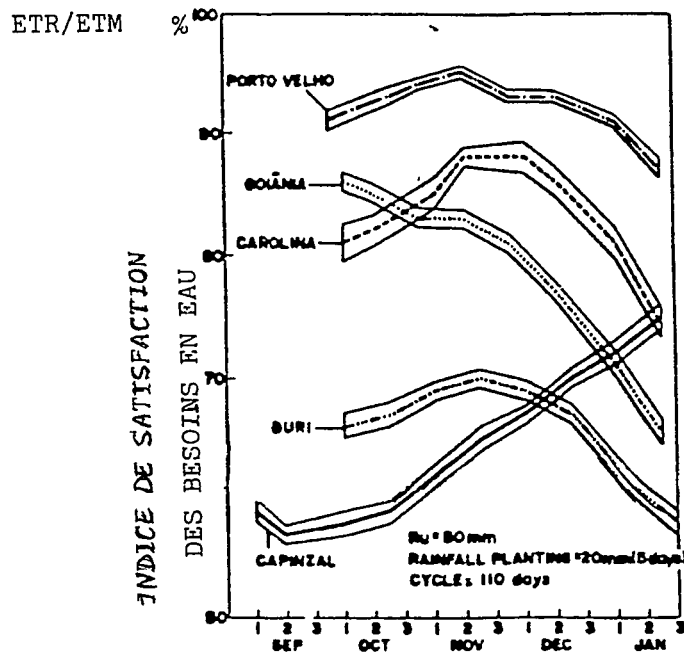


FIGURE 4

DATE DE SEMIS ET SATISFACTION DES BESOINS EN EAU

- Cas du riz pluvial au Brésil

Ainsi, la meilleure combinaison de ces facteurs permet de proposer les rendements espérés selon les régions.

Un tel zonage va permettre une base objective pour décider ou non de la nécessité d'un développement par l'irrigation.

## 2.2. COMPARAISON RENDEMENTS ESPERES - RENDEMENTS OBSERVES

A partir d'essais agronomiques, des fonctions de rendement en fonction de l'alimentation hydrique ont été établies.

En prenant les valeurs optimum des facteurs qui la déterminent, l'alimentation hydrique des principales espèces vivrières est calculée par simulation et les rendements espérés en sont déduits.

Par ailleurs, grâce à des suivis de parcelles en milieu paysan, sont mesurés les rendements observés dans les principales régions du pays.

Un exemple de la comparaison rendements observés et espérés du Mil est présenté à partir d'une étude préliminaire également réalisée par l'équipe sol-eau-plante de l'IER/CIRAD au MALI (Figure 5)

Compte-tenu de l'important écart entre les deux valeurs, il est clair que pour ce pays et d'autres aux conditions similaires, il existe une marge d'amélioration pour l'agriculture pluviale.

L'effet des facteurs agronomiques : durée du cycle, date de semis, RUR permet de hiérarchiser leur importance et d'orienter le choix des pratiques culturales à mettre en oeuvre pour améliorer la productivité.

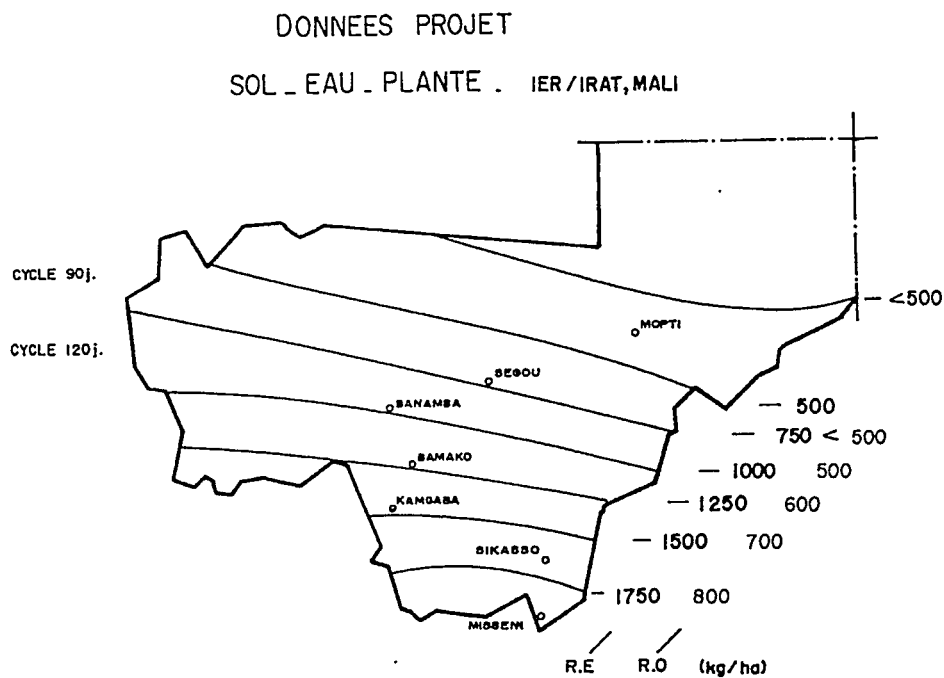


Fig. 5: COMPARAISON ENTRE RENDEMENTS OBSERVES (R.O) ET RENDEMENTS ESPERES DU MIL (R.E)

### CONCLUSION PARTIELLE

Un diagnostic des facteurs agronomiques à mettre en oeuvre pour améliorer l'alimentation hydrique est proposé :

Il consiste en trois étapes :

1. Simuler les rendements espérés à différentes échelles lorsque la ressource en eau est optimisée ;
2. Evaluer les écarts entre les rendements espérés et les rendements observés ;
3. Identifier le ou les facteurs de l'alimentation hydrique susceptibles de réduire les écarts.

Quelles sont les techniques agronomiques et le matériel végétal disponible pour combler au moins partiellement cet écart ?

Ce sera l'objet de la dernière partie.



### III LES SITUATIONS, LES TECHNIQUES CULTURALES ET LE MATERIEL VEGETAL POUR MANAGER LA PLUIE A LA PARCELLE

Les cartes de rendements espérés des principales cultures sont de toute évidence une donnée de base pour la planification régionale du développement de l'agriculture pluviale et en particulier l'organisation à moyen terme des échanges et de la complémentarité inter-régions. Cet aspect ne sera pas discuté car il est davantage du ressort du planificateur que de celui de l'agronome.

Les techniques culturales sont un bon moyen d'améliorer l'alimentation hydrique des cultures, et leurs productivités.

#### 3.1. TRAVAIL DU SOL

L'effet du travail du sol est en général positif sur la productivité comme indiqué par NICOU et al (1985).

Le Tableau 5 suivant, résumé de très nombreux essais sur les principales cultures, le montre clairement.

	Nombre d'essais	Rendement kg/ha		Gain du labour
		Témoin	Labour	
MIL (grain)	38	1558	1894	+ 22
SORGHO "	86	1691	2114	+ 25
MAIS "	31	1893	2791	+ 50
RIZ PLUVIAL (paddy)	20	1194	2367	+103
COTON (Coton grain)	28	1322	1550	+ 17
ARACHIDE (Coques)	46	1259	1556	+ 24

TABLEAU 5

Les auteurs soulignent les effets positifs suivants en plus de l'augmentation sur le rendement :

- effet résiduel en particulier si la céréale est en tête d'assolement permettant de ne labourer que tous les deux ou trois ans ;

- réduction de l'énherbement réduisant ou retardant le calendrier cultural.

Par contre, les mêmes auteurs notent que les effets ne sont pas aussi favorables partout, dû au type de sol et à la perturbation de la couche de sol la plus fertile. Enfin, le labour doit être conduit avec précaution pour éviter les risques d'érosion.

La démonstration que les effets positifs du labour sont dûs à l'amélioration du facteur RUR de l'alimentation hydrique est claire d'après les données fournies par les auteurs.

D'autres techniques de préparation du sol existent. Ainsi, les billons cloisonnés combinés au labour permettent de réduire le ruissellement et favoriser l'infiltration, et ont montré un effet positif sur le rendement.

### 3.2. FERTILISATION

Les conclusions de PIERI (1985) sur la fertilisation en Afrique semi-aride sont claires :

"La fertilisation est certainement une excellente technique pour accroître la productivité dans cette partie du monde mais si l'on veut obtenir une plus grande production et qu'elle soit durable, il est indispensable de combiner les effets des engrais minéraux, le recyclage des résidus organiques et la fixation biologique de l'azote et également d'optimiser l'utilisation des ressources minérales tels que les phosphates naturels".

Cependant, comme le souligne l'auteur, cet effet globalement positif, est variable selon la pluviométrie.

La fertilisation réduit le déficit d'alimentation hydrique car elle améliore la densité en surface et la profondeur de l'enracinement et donc la RUR.

La matière organique joue de ce point de vue un rôle important (CISSE et Al, 1988).

Les amendements calcaires peuvent également être une solution (J.L. CHOPART et Al, 1987).

La figure 6 illustre l'amélioration de la stabilité et du niveau de production du Sorgho par différents systèmes de fertilisation dans la région de SARIA.

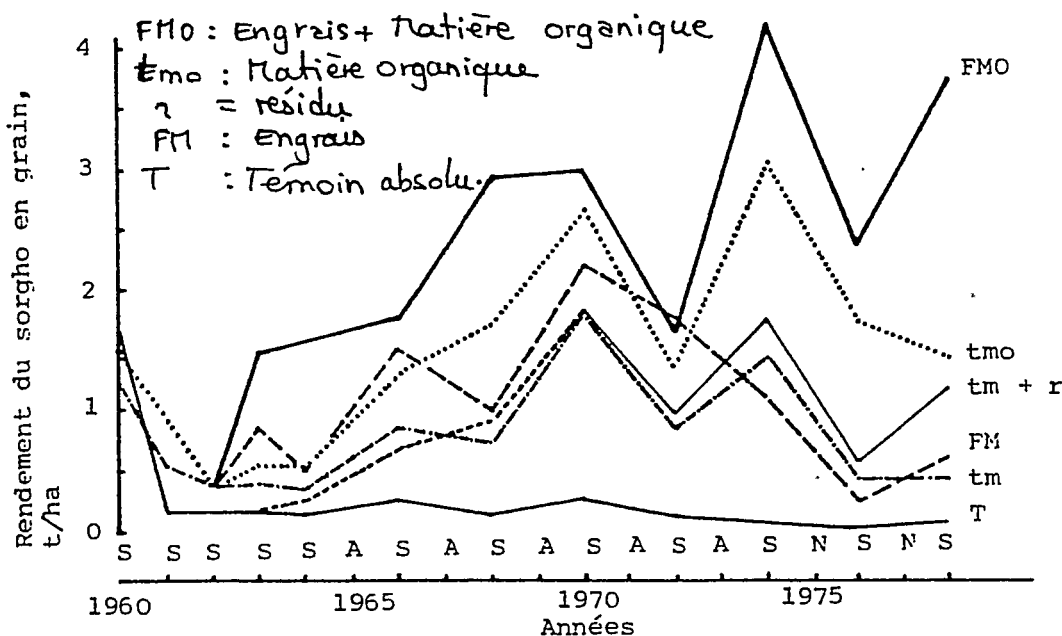


Fig. 6. Essai entretien de la fertilité, Saria. Alternance sorgho-légumineuse.

### 3.3. LE MATERIEL VEGETAL

Les conclusions de MATLON (1985) sont claires mais beaucoup moins positives que pour le travail du sol et la fertilisation :

"Cette brève revue des tests ICRISAT en milieu paysan réalisée au BURKINA FASO depuis 1980 montre que, quand les meilleures variétés sortent des stations de recherche, leurs fortes productivités sont sévèrement réduites par les stress en milieu paysan. Parmi les 7 000 introductions de Sorgho criblées par l'ICRISAT au BURKINA, neuf cultivars ont été trouvés suffisamment prometteurs pour être proposés en tests paysan. De ceux-ci seulement, deux cultivars ont été trouvés généralement supérieurs en milieu paysan. Parmi les trois mille entrées de Mil criblé, cinq ont été testés en milieu paysan mais aucun cultivar supérieur n'a encore pu être identifié".

Les raisons de cet échec sont, d'après l'auteur, une insuffisante prise en compte de la spécificité du milieu.

On peut supposer en particulier que les paramètres milieu liés à l'alimentation hydrique auraient davantage dû être évalués et pris en compte. En milieu semi-aride, l'amélioration variétale de la productivité des variétés nécessite au préalable celle du milieu.

En effet, l'intérêt d'une sélection spécifique pour la tolérance à la sécheresse a bien été démontré pour l'Arachide (GILLIER, 1978). En effet, grâce à une sélection pour des maturations précoces, combinées à des critères physiologiques de tolérance à la sécheresse, la variété 55-437 de 90 jours de cycle a été obtenue. Elle produit de 600 à 2 000 kg/ha pour des pluviométries comprises entre 150 et 300 mm. L'efficience de l'eau moyenne est de 4,5 kg/mm. Cette variété est actuellement diffusée en Afrique de l'Ouest sahélienne sur plus de 350 000 ha (Annexe 2).

Un autre exemple de résultats encourageants pour des zones plus humides comprises entre 500 et 700 mm de pluies utiles concerne le riz pluvial (REYNIERS, 1982). En sélectionnant sur la profondeur d'enracinement et la tolérance à un stress hydrique pendant la phase reproductive des parents ont été croisés qui ont conduit par exemple aux variétés IRAT 104 et IRAT 170 qui sont nettement plus performantes que les variétés traditionnelles.

D'une manière plus générale, à partir d'essais variétaux 1981-84 sur Mil, Sorgho, Maïs, Niébé conduit par l'INSAH (1985) dans les pays du CILSS, les auteurs ont identifié un nombre restreint de variétés de Mil, Sorgho, Niébé et Maïs adaptées aux différentes pluviométries annuelles.

La figure 7 indique les propositions faites pour le TCHAD, à titre d'exemple. Il est clair que les potentialités des variétés sont largement supérieures aux résultats obtenus en milieu paysan.

DONNEES INSAH/CILSS

**MIL PRECOCE**

HKP, IBV 8004 ITV 8003, IBV 8001 H7-66; Souna III	2.0
	2.3

**SORGHO PRECOCE**

VS 702, SPV 35 CE 151, CE 90	2.0
	2.3

**MIL INTERMEDIAIRE**

m2 d2, Nkk	1.0
	1.2
SRM P8	1.0

**SORGHO LONG**

S 10, 1/2 MSB, 137-62 L 30, SST 781	2.5
SH1 D3, SH2 D2, SH1 ID1 Tiemarifing, SH 3 D1, S 29	2.0

**MIL LONG**

P172, P173	1.0
P5, m9 d3	1.0

**SORGHO TRES LONG**

Gnofing, Frikan	2.0
-----------------	-----

**NIEBE**

TN 88-63, Gorom 58-57	1.0
TN 88-63, 15-316 KNI, Gorom, Mougne	1.5
	2.0

**MAIS**

Jeka, Maka	2.5
IRAT 98, IRAT 100 HVB 1	3.5

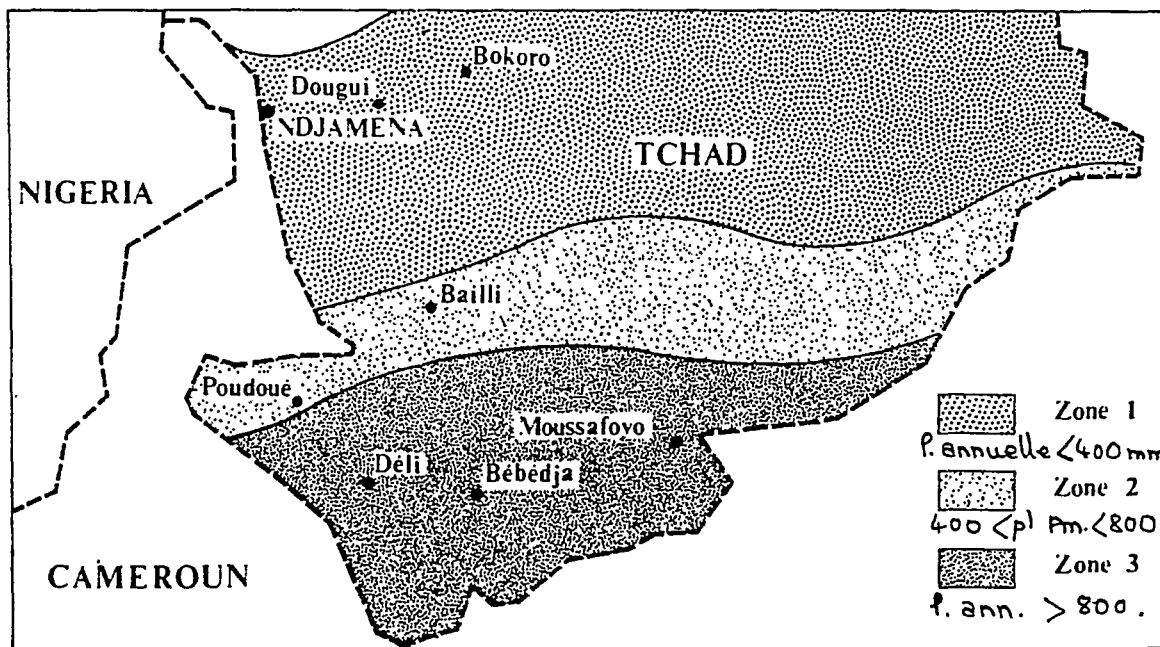


FIGURE 7

VARIETES PROPOSEES SELON LES ZONES PLUVIOMETRIQUES

(Exemple du TCHAD)





### 3.4. LA GESTION DES RESSOURCES PLUVIOMETRIQUES A L'EHELLE DE LA TOPOSEQUENCE

La pluviosité est susceptible de se redistribuer d'une manière sensible à l'échelle de la toposéquence (Fig8). Le ruissellement, les écoulements hydrodermiques ont ainsi été mis en évidence sur un terroir de référence (KASSELLA, MALI) suivi par la recherche dans l'objectif de mieux apprécier leurs effets sur la variabilité du rendement.

Le bilan hydrique (modèle IRAT) a ainsi été appliqué à quatre situations représentatives de la toposéquence, en tenant compte d'hypothèses de ruissellement et de profondeur racinaire observées *in situ* au cours de l'hivernage.

Echelle: 1cm = 2m, en vertical  
1cm = 30m, en horizontal

PENTE MOYENNE = 2%

-  taux d'argile inférieur à 10%
-  taux d'argile compris entre 10 et 15%
-  taux d'argile supérieur à 15%
-  roche mère : grès

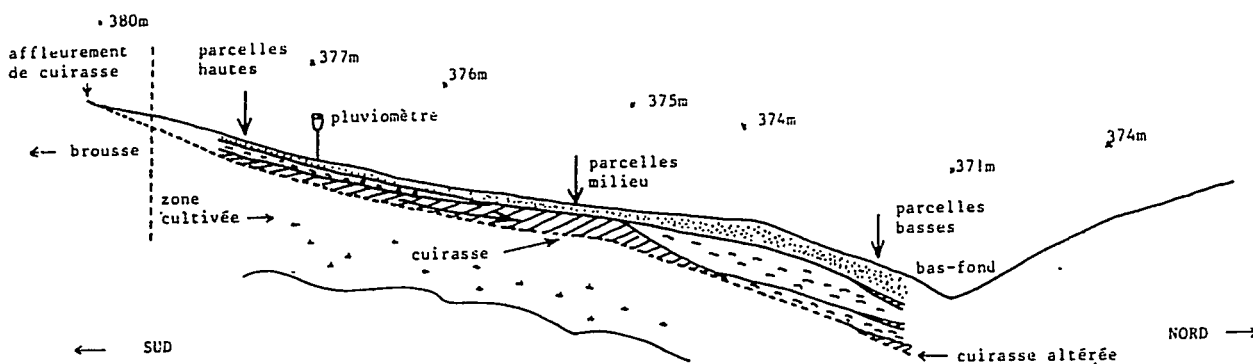


FIGURE 8

SCHEMA DE LA TOPOSEQUENCE DE KASSELA

Le rendement est mesuré pour un ensemble de parcelles (33) disposées le long de la toposéquence. Certains champs recevant une fertilisation minérale, il a, par ailleurs, été possible d'apprécier l'effet de celle-ci sur la valorisation de la réserve hydrique et le rendement (Rapport ESPACE-1987).

L'analyse de résultats (Tab.6) montre la diversité des réponses de la culture en fonction des différents niveaux dans la toposéquence et des régimes d'alimentation hydrique qui en découlent.

PARCELLE	DATE SEMIS	PLUIE CYCLE (mm)	ETR CYCLE (mm)	RUISS (mm)	DRAINAGE (mm)	RENDEMENT MOYEN (kg/ha)
HAUT	17.07	329	152	14	113	100
MILIEU	17.07	329	301	7	18	896 1 317avec engrais
RUPTURE LENTE	17.07	329	277	26	0	610
BAS	23.07	279	306	- 53	22	1 010 2 011avec engrais

TABLEAU 6

REGIME ETR, RENDEMENT DU MIL EN FONCTION DE LA PLACE DE LA PARCELLE

SUR LA TOPOSEQUENCE (KASSELLA, 1987-MALI)

La liaison entre le rendement, le régime ETR cycle et la situation de la parcelle apparaît d'une manière significative. Pour une même pluviométrie, le rendement varie selon le facteur 10 lorsque l'ETR est multipliée par 2. Cette diversité des régimes hydriques est d'ailleurs judicieusement exploitée par les paysans qui apportent une fertilisation minérale sur les parcelles affectées d'une ressource hydrique plus favorable (Milieu et Bas). On notera aussi l'effet de la fertilisation qui autorise un doublement de l'efficacité de l'eau sur les parcelles en bas de toposéquence.

Ces observations démontrent le rôle prépondérant des conditions et situations pédoclimatiques sur l'élaboration du rendement. Elles mettent par ailleurs en évidence la possibilité de mieux gérer la ressource pluviométrique en prenant en considération les facteurs morphopédologiques. Le management de l'eau pluviale, à travers une adaptation des systèmes de culture aux diversités de paysage, peut ainsi contribuer à accroître très sensiblement la productivité agricole. En hiérarchisant la contrainte "risque climatique" à ces niveaux d'échelle par simulation des bilans hydriques, il serait possible de mieux fonder les politiques d'intervention visant à intensifier la production là où les chances de succès sont les plus élevées.

## CONCLUSION

--:--:--:--:--:--

En forme de conclusion : des propositions pour une nouvelle approche de détermination des conditions du développement de l'agriculture en région semi-aride en Afrique.

1° L'évaluation de l'alimentation hydrique des cultures (ETM, ETR, Drainage) sert de base de détermination entre l'option agriculture pluviale ou irriguée.

2° L'alimentation hydrique est estimée en simulant la durée du cycle, la date de semis et la RUR, grâce à un modèle de bilan hydrique.

3° A l'échelle des zones climatiques, l'estimation de l'alimentation hydrique prévoit les productions selon les niveaux d'intensification.

Des rendements probables en pluvial, on pourra déduire l'intérêt économique de l'irrigation.

4° A l'échelle du bassin versant et du terroir, une hiérarchie des facteurs de l'alimentation hydrique est établie entre :

- utilisation et contrôle du ruissellement
- le niveau d'intensification permettant d'améliorer la RUR et l'efficacité de l'eau
- les variétés
- Inclusion de l'irrigation

La mise en oeuvre de ces propositions permettra de déterminer en fonction des spécificités du milieu les meilleures conditions en vue :

- d'augmenter la productivité
  - réduire les risques
  - prévenir la dégradation du milieu
- sachant que l'option agriculture pluviale et (ou) irriguée est en dernier ressort faite par le paysan.

Celui-ci est souvent obligé de naviguer entre deux types de risques :

- en agriculture pluviale, le risque d'une production réduite dû à une mauvaise saison des pluies ;

- en agriculture irriguée bien menée, le risque devient financier dû à des cours trop faibles par rapport aux coûts de production.

Il revient aux planificateurs et aux développeurs à minimiser ces risques.

*In fine*, on peut affirmer que les résultats de la recherche agronomique, durant cette dernière décennie, en matière d'agriculture pluviale, en Afrique Tropicale, permettent d'offrir des possibilités de développement qui minimisent le risque de sécheresse. Reste à les faire mieux connaître.



## BIBLIOGRAPHIE

---

BOCKELEE-MORVAN A., GAUTREAU J., MORTREUIL J.C., ROUSSEL O. (1974)  
Résultats obtenus avec les variétés d'arachide résistantes  
à la sécheresse en Afrique de l'Ouest  
OLEAGINEUX, 29e année, n°6, juin 1974

CHOPART J.L. et R. NICOU (1987)  
Vingt ans de culture continue avec et sans labour en sec dans  
un sol sableux dunaire au Sénégal - Rapport IRAT/CIRAD  
BP 5035 34032 MONTPELLIER CEDEX

CISSE L. et VACHAUD G. (1988)  
Influence d'apports de matière organique sur la culture de Mil  
et d'Arachide sur un sol sableux du Nord Sénégal. Bilans de  
consommation, production et développement racinaire. A paraître  
dans Agronomie .

CORTIER, B. POCTHIER, J. IMBERNON (à paraître)  
Effet des techniques culturales et des conditions hydriques  
sur la productivité du Maïs pluvial au Sénégal. Interprétation  
d'essais multilocaux - Soumis à l'Agronomie Tropicale- Montpellier-CIDAR

FOREST F., REYNIERS F.N. (1986)  
Proposals for the classification of agroclimatic situations of  
upland rice terms in terms of water balance. In Progress in upland  
rice research IRRI Los Banos

FRETEAUD J.P. POSS R., SARAGONI H. (1987)  
Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-  
neutroniques *in situ* sous culture de Maïs. L'Agronomie Tropicale,  
Vol. 42 n°2 pp. 94-103

GILLIER P., (1978)  
Nouvelles limites des cultures d'arachides résistantes à la sécheresse  
et à la rosette.  
Oléagineux Vol. 33 n°1, pp. 25-28

IER/IRAT  
Projet Sol-Eau-Plante  
Agroclimatologie opérationnelle  
Zonage par culture  
Résultats de la campagne 1987-1988  
IER-BAMAKO (MALI) 109 p.

INSAH (1985)  
Bilan des essais variétaux 81-84 du projet mil, sorgho, niebe, maïs.  
Travaux et documents INSAH/CILSS BP 1530 BAMAKO (MALI)

MATLON P. (1985)

A critical review of objectives methods and progress to date in Sorghum and Millet improvement. A case study of ICRISAT/BURKINA FASO

In Appropriate technologies for farmers in West Africa - Publication Purdue University - Disponible en français.

NEGRE T., IMBERNON J., GUINOT J.P., SEGUIN B., BERGES J.C., GUILLOT B.  
(A paraître)

Estimation et suivi de la pluviométrie au Sénégal par cumul des images infrarouge thermique du satellite météosat - Soumis à l'Agronomie Tropicale.

Ministère de la Coopération

Evaluation et suivi de la production agricole en fonction du climat et de l'environnement - Rapport ESPACE, 1987 - 20 rue Monsieur - 75007 PARIS

NICOU R. and CHARREAU C. (1985)

Soil tillage and water conservation in semi-arid west Africa. In Appropriate technologies for farmers in West Africa - Publication Purdue University - Disponible en français

PIERI C. (1985)

Food crop fertilisation and soil fertility - The IRAT experience In Appropriate technologies for farmers in West Africa - Publication Purdue University - Disponible en français

POSS R., SARAGONI H., IMBERNON J., (A paraître)

Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. Réponse à l'eau, dates de semis et zonage agro-pédo-climatique. Soumis à l'Agronomie Tropicale.

REYNIERS F.N., TRUONG B., JACQUINOT L. et NICOU R. (1982)

Breeding for drought resistance in dryland rice. In : Drought resistance in crops with emphasis on rice. Publication IRRI.

REYNIERS F.N. (1985)

Critères de tolérance à la sécheresse du riz pluvial en fonction du milieu édapho-climatique - Dans "La sécheresse en zone intertropicale - Pour une lutte intégrée" - Publication CIRAD/MONTPELLIER

STEINMETZ S., REYNIERS F.N., FOREST F. (1985)

Evaluation of climatic risk on upland in Brazil - Dans "La sécheresse en zone intertropicale - Pour une lutte intégrée" - Publication CIRAD/MONTPELLIER

VIRMANI S.M., REDDY S.J. et BOSS M.S. (1980)

Manuel de climatologie pluviale de l'Afrique Occidentale - Données pour les stations sélectionnées - Bulletin d'information n° 7 de l'ICRISAT.

## LES OPERATIONS

### D'AMELIORATION DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES CULTURES EN AFRIQUE TROPICALE SEMI-ARIDE

<p style="text-align: center;"><b>EVALUER</b></p> <p style="text-align: center;">les éléments milieu - plante de l'alimentation hydrique</p>	<p style="text-align: center;"><b>DIAGNOSTIQUER</b></p> <p style="text-align: center;">les facteurs agronomiques valorisant la pluviométrie</p>	<p style="text-align: center;"><b>METTRE EN OEUVRE</b></p> <p style="text-align: center;">des techniques combinant les facteurs agronomiques</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Climat               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Régime pluviométrique journalier</li> <li>. ETP décadaire</li> </ul> </li> <li>- Paysage               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Morphopédologie</li> <li>. Circulation de l'eau</li> </ul> </li> <li>- Sol               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Profondeur</li> <li>. RU et caractéristiques hydrodynamiques</li> <li>. Caractéristiques chimiques : pH, CEC, Al+++ échang., etc</li> </ul> </li> <li>- Plante               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Durée du cycle</li> <li>. Enracinement</li> <li>. Kc</li> <li>. Phases physiologiques</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruissellement</li> <li>- Durée du cycle</li> <li>- Date de semis</li> <li>- Enherbement</li> <li>- Réserve utile racinaire</li> <li>- Efficience de l'eau consommée</li> <li>- Rendements espérés par simulation bilan hydrique</li> <li>- Rendements observés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planification régionale</li> <li>- Place dans la toposéquence</li> <li>- Travail du sol               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Labour</li> <li>. Billons, etc.</li> </ul> </li> <li>- Conduite de la culture               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Date de semis</li> <li>. Densité</li> <li>. Contrôle des adventices, etc.</li> </ul> </li> <li>- Amendement- Fertilisation               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Matière organique</li> <li>. Chaulage</li> <li>. Efficience eau - fertilité etc.</li> </ul> </li> <li>- Espèce - variété</li> <li>- Irrigation</li> </ul>

DONNEES ISRA / IRHO  
Data  
SENEGAL

Surface en ha	<i>YIELD</i> Production Kg/ha	<i>RAINFALL</i> Pluviométrie
300	950	214
500	1 110	256
665	1 275	294

PRODUCTION D'ARACHIDE (55-437)

Cycle de 90 jours

GROUNDNUT PRODUCTION VAR. (55-437)

90 days cycle

*Office d' Edition de la  
Recherche Scientifique et  
Coopération Internationale*



REPROGRAPHIE INDUSTRIELLE  
EDITIONS - DUPLICATIONS -

MINIPARC N°7-ZOLAD- 34100 MONTPELLIER  
67.52.20.08