

CD/SG
REPUBLIQUE DU SENEGAL
PRIMATURE

1974 1913 GIV
DELEGATION GENERALE A LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

CONFERENCE-ATELIER SUR LE SAHEL

COMMENT ADAPTER LES CULTURES A L'ARIDITE DU MILIEU
ET AMELIORER CE MILIEU ?

Par
C. DANCETTE

Novembre 1974

Centre national de la Recherche agronomique
de Bambey

N 155-DAN

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(I. S. R. A.)

S O M M A I R E

DIVISION		Pages
INTRODUCTION	<u>APRES AVOIR DEFINI LA ZONE D'INTERVENTION ET LES OBJECTIFS, IL S'AVERE INDISPENSABLE D'ACQUERIR :</u>	1
I	<u>UNE BONNE CONNAISSANCE DU MILIEU NATUREL POUR MIEUX S'ADAPTER A CE MILIEU</u>	4
I-1	- Les travaux portant sur la <u>saison des pluies</u> débouchent en particulier sur l'orientation des travaux de sélection et de génétique végétales, par : <ul style="list-style-type: none"> • la localisation et la détermination de <u>la durée de la saison des pluies utile</u> à l'agriculture, • le calcul des <u>fréquences et des probabilités</u> d'obtenir des quantités de pluie déterminées, • une pondération des données pluviométriques à partir de la <u>caractérisation hydrique</u> des sols. 	4
I-2	- La <u>demande évaporative d'ordre climatique</u> qui intègre la plupart des facteurs climatiques usuels, constitue aussi une base indispensable de cette connaissance du milieu.	6
II	<u>UNE CONNAISSANCE APPROFONDIE DES EXIGENCES HYDRIQUES DES CULTURES, POUR MIEUX REPARTIR GEOGRAPHIQUEMENT LE MATERIEL VEGETAL (et le transformer éventuellement).</u> Il convient de :	8
II-1	- Mesurer les <u>besoins en eau</u> des diverses variétés cultivées	8
II-2	- Pondérer ces besoins à partir de la demande évaporative locale	8
II-3	- Affiner ces connaissances par des <u>contrôles physiologiques</u> et par des <u>observations racinaires</u>	8
II-4	- Confronter les connaissances portant sur les exigences hydriques aux données pluviométriques, en liaison avec la nature des sols	9
III	<u>IL EST AUSSI POSSIBLE D'AMELIORER LE MILIEU PEDOCLIMATIQUE EN VUE D'UNE MEILLEURE EFFICIENCE DE L'EAU</u>	11
	Ainsi, peut-on recourir à :	
III-1	- des <u>techniques culturales appropriées</u> aux terres arides	11
III-2	- la préservation et l' <u>amélioration du paysage rural</u>	13
III-3	- l' <u>irrigation</u> en complément des pluies ou l'irrigation totale	15
CONCLUSION	L'AMELIORATION DE L'AGRICULTURE SAHÉLIENNE SE DESSINE NETTEMENT...	17
Bibliographie		18

INTRODUCTION

Le terme d'agriculture sahélienne fait penser le plus souvent à une agriculture marginale et à une économie de survie. Il s'agit effectivement d'une agriculture difficile qui se heurte à de nombreux problèmes, tout particulièrement cruciaux au cours des dernières années, dans le Sahel traditionnel, au point d'y rendre impossible toute récolte, comme en 1972 et en 1973.

Mais surtout, on voit le Sahel, normalement limité en ce qui concerne le Sénégal, à une bande septentrionale relativement étroite, dans la région du Fleuve Sénégal, déborder largement vers le Sud, dans la zone soudanienne Nord et envahir ainsi toute la moitié Nord du pays, avec des pluviométries annuelles chutant nettement au dessous de 350 à 400 mm.

Même si cette situation devait se prolonger, il serait exclu de considérer toute une moitié du Territoire sénégalais comme marginale et cantonnée dans une économie de survie pour sous-agriculteurs fatalistes et pour éleveurs nomades. Par ailleurs, il n'est guère plus réaliste de penser que le seul salut de cette région Centre et Nord réside dans le recours exclusif à l'irrigation à partir d'eaux fluviales ou souterraines, somme toute limitées par leur volume, leur qualité ou leur prix de revient.

Nous sommes persuadés que, d'une part des techniques de culture appropriées aux terres arides, d'autre part un matériel végétal adapté à la sécheresse permettent de faire reculer les frontières du Sahel. En améliorant la régularité de la production agricole, c'est la sécurité et le bien être du paysannat, et surtout une certaine égalité géographique entre les paysans sénégalais, qui seront accrus.

Si les cas de désertification irréversible abondent sur notre planète, par la faute des éléments climatiques conjointement ou non à celle des hommes, les cas de sauvetage et de récupération totale de vastes zones arides sont aussi nombreux. C'est pourquoi la recherche et le développement doivent faire preuve du même courage et de la même obstination que les paysans, si sévèrement touchés par les sécheresses récentes et toujours fidèles à leurs terres.

Parmi tous les cas de réussite dans la lutte contre la sécheresse, nous citerons l'exemple des zones arides des Grandes Plaines du sud des Etats-Unis :

Big Spring : Texas 468 mm de pluie en moyenne répartis sur 12 mois
 324 mm de pluie en moyenne pendant la saison agricole
 (d'avril à septembre)... ce serait à peu près la pluviométrie
 moyenne de la frange Nord du Sénégal.

Plusieurs sécheresses catastrophiques ont anéanti les récoltes et dégradé les sols (érosion éolienne), au cours des 50 dernières années. A plusieurs reprises de nombreux paysans ont abandonné leurs terres, sont revenus ou non, lorsque les conditions pluviométriques se sont provisoirement améliorées. Actuellement, une stabilité dans le peuplement des terres et une sécurité dans les revenus agricoles semblent assez solidement acquis. Cette amélioration repose essentiellement sur des techniques de travail du sol très précises, très strictes et particulièrement bien adaptées aux sols sableux de ces zones arides, et sur des rotations rigoureusement testées, à base d'espèces et de variétés résistantes à la sécheresse. Ces efforts (qui se poursuivent toujours) ont demandé avant d'aboutir des dizaines d'années de persévérance. Ils ont permis de réaliser les travaux d'entretien des cultures, d'améliorer le relief pour une meilleure collecte des eaux de ruissellement et d'utiliser pour l'irrigation les eaux souterraines.

Il est souhaitable que les pays de Sahel puissent bénéficier à leur tour :

- de l'expérience acquise en d'autres régions géographiquement défavorisées

- d'une amélioration progressive et irréversible du milieu (aménagement topographique, barrages, irrigation, reforestation et brise-vent, etc...)

Voyons maintenant quelle est la ligne de conduite de la recherche agronomique.

I - CONNAISSANCE DU MILIEU NATUREL POUR MIEUX S'ADAPTER A CE MILIEU

La connaissance du milieu, comme le montre le schéma intitulé "démarche de la recherche - eau - sol - plante" (graphique n° 2) est indispensable, elle conditionne toute notre action. C'est pourquoi toute station agronomique importante doit être doublée d'un poste agroclimatique et accorder un rôle notable à la science du sol (physique, chimie des sols, pédologie en général). Dans l'optique particulière de l'agriculture sahélo-saharienne, nous retiendrons comme facteurs prioritaires ceux qui interviennent le plus sur l'économie de l'eau : la pluviométrie, le sol considéré comme réservoir d'eau et la demande évaporative d'ordre climatique qui conditionne toutes les pertes hydriques au niveau des surfaces d'eau libre, de sol ou d'organes végétaux.

I-1 Travaux concernant la saison des pluies et débouchant sur l'orientation des travaux de sélection et de génétique variétales (publications n°1, 12, 34, 36, 42)

a) Localisation et durée de la saison des pluies utile à l'agriculture

Pour la moitié Nord du Sénégal appartenant traditionnellement au Sahel ou pouvant être gagnée temporairement par lui, la saison des pluies utile pour l'agriculture répond à des critères très précis :

- semis sur première pluie supérieure à 20 mm (et moins lorsque la saison des pluies prend du retard),
- satisfaction des besoins en eau des cultures en début de cycle, pour assurer la réussite des semis,
- nombre de jours d'alimentation hydrique des plantes satisfaisante, se rajoutant à la saison des pluies purement météorologique, grâce aux réserves hydriques accumulées dans la tranche de sol exploitable par les racines, après la dernière pluie, etc...

Sans entrer dans le détail, ces études de saison des pluies utile à l'agriculture permettent d'orienter la sélection, en vue d'adapter les variétés les plus conformes aux probabilités de durée de la saison des pluies (choix ou création de variétés). Le tableau n° 1 schématise la situation de la moitié Nord du Sénégal, en ce qui concerne la durée de cycle des variétés à préconiser, dans le cadre de la lutte contre la sécheresse, en conditions pluviales.

On voit que l'orientation prise en faveur des variétés à cycle de plus en plus court paraît inéluctable : elle repose sur une période de 35 à 45 ans d'observation des pluies, encore brève certes, mais qui englobe pourtant des phases pluviométriques contrastées :

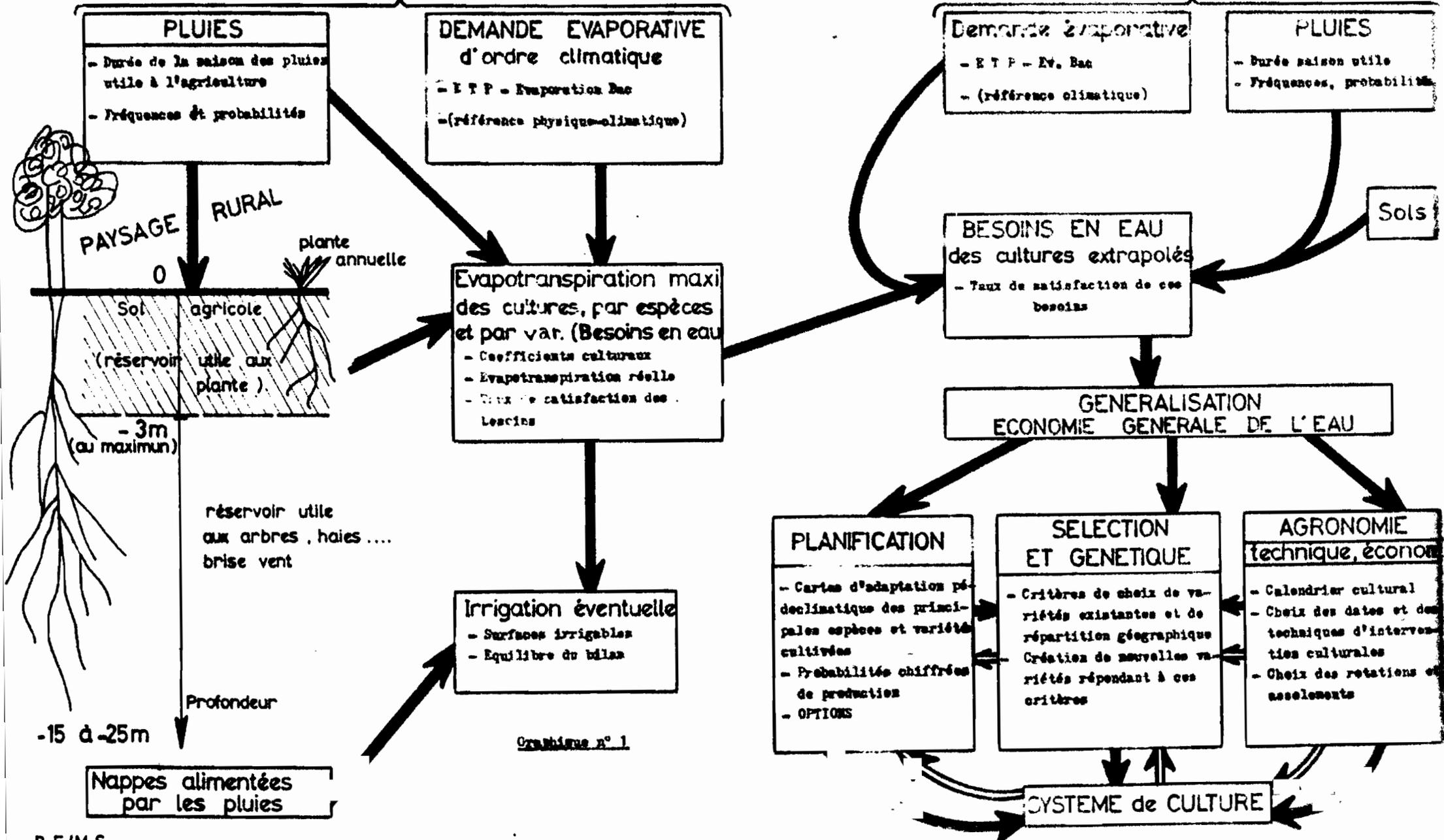
- pluviométrie plutôt abondante : 1950-1965
- pluviométrie plutôt déficitaire : 1940-1950 et 1966-1974.

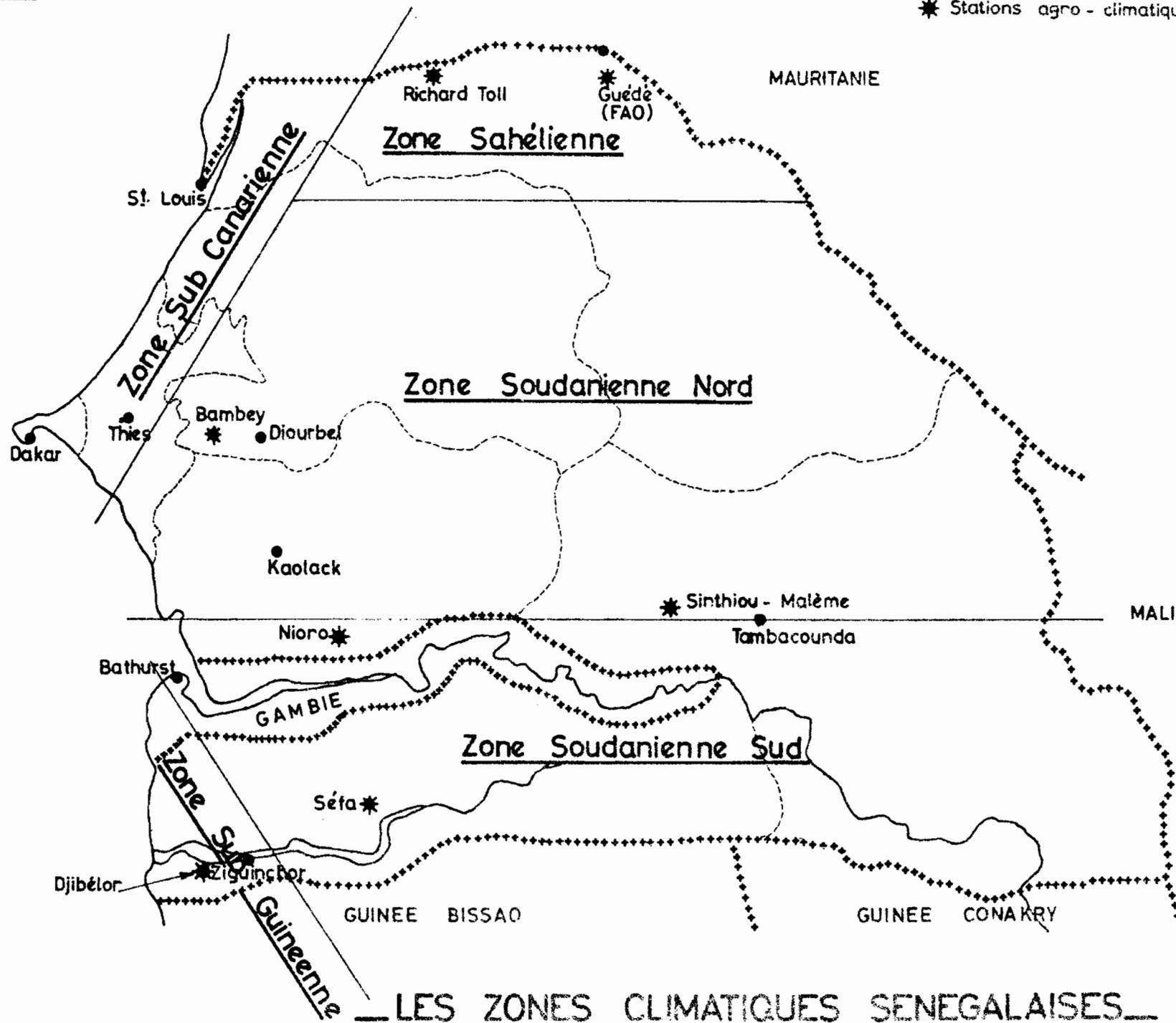
Si la pluviométrie 1950-1965, période faste dans l'ensemble, même dans la moitié Nord du pays, avait pu influencer les chercheurs de l'époque et leur faire choisir les variétés à cycle plus long, cette page semble dorénavant bien tournée. D'une part des séries de relevés suffisamment longues maintenant, d'autre part un éventail variétal plus large qu'autrefois, permettent de prendre une orientation nouvelle.

— DEMARCHE DE LA RECHERCHE —
— EAU — SOL — PLANTE —

STATION DE RECHERCHE PRINCIPALE

AUTRES STATIONS MULTILOCALES





— LES ZONES CLIMATIQUES SENEGALAISES —

Tableau n° 1

La durée de la saison des pluies utile pour
l'agriculture au Sénégal - Implications agronomiques

PODOR (333 mm)
(Période de 34 ans)
L. N. 16°30'

Durée de la saison des pluies	Pourcentage de cas (nombre d'années par rapport au total)		Durée de cycle préconisée pour avoir près de 80% de chance de succès	Observations
Moins de 60 jours :	23 %	100 %	↑	60 jours Le recours à l'irrigation s'impose surtout si l'on considère la satisfaction très médiocre des besoins en eau au cours de cet hivernage utile - Des mils nains de 60 jours sont à envisager.
61 à 70 :	27 %	77 %		
71 à 80 :	9 %	50 %		
81 à 90 :	15 %	41 %		
91 à 100 :	3 %	26 %		
Plus de 100 j. :	23 %	23 %		
Probab. cumulée				

LOUGA (481 mm)
(Période de 35 ans)
L. N. 15°30'

Moins de 60 jours :	6 %	100 %	↑	75 jours Certains mils nains et niébés peuvent répondre à ces exigences et conduire à une meilleure sécurité de l'agriculture dans cette zone
61 à 70 :	3 %	94 %		
71 à 80 :	26 %	91 %		
81 à 90 :	25 %	65 %		
91 à 100 :	20 %	42 %		
Plus de 100 j. :	22 %	22 %		
Probab. cumulée				

BALBEY (648 mm)
(Période de 42 ans)
L. N. 14°30'

Moins de 70 jours :	0 %	100 %	↑	90 jours : Dans un passé récent on se contentait de variétés de 100 à 105 j. Ces dernières peuvent être très affectées par les hivernages courts. On s'oriente vers des compromis à base de plusieurs variétés de cycles différents
71 à 80 :	2 %	100 %		
81 à 90 :	21 %	98 %		
91 à 100 :	17 %	77 %		
101 à 120 :	36 %	60 %		
Plus de 120 jours :	24 %	24 %		
Probab. cumulée				

Certes, de nombreux problèmes demeurent ; cependant, ils sont en cours de résolution :

- la dormance des variétés hâtives d'arachides est acquise depuis peu (v. 71 et autres)
- la lutte contre la moisissure des sorghos précoces est en cours
- le parasitisme des mils nains et hâtifs est combattu avec succès (résistance au sclerospora)
- enfin le stockage des récoltes à l'abri de l'humidité et des divers prédateurs animaux et végétaux de fin d'hivernage est un des sujets retenus comme prioritaire.

Tous ces travaux doivent être menés parallèlement à ce raccourcissement des cycles adoptés.

b) Fréquence et probabilité pluviométriques (publications n° 34, 42)

Dans ce paragraphe, nous nous préoccupons cette fois-ci des quantités d'eau de pluie que l'on peut espérer dans une zone donnée. Cette question doit, elle aussi, être abordée d'une façon systématique, à base de traitement statistique.

Nous avons adopté, pour les stations disposant de près de 40 années et plus de relevés pluviométriques, le programme de traitement mis au point par BRUNET-MORET (Hydraulique ORSTOM - Paris). Le traitement systématique de 37 stations sénégalaises est en cours et devrait être achevé avant un an, en relation avec le service National de climatologie du Sénégal et bien entendu avec l'ORSTOM qui dispose de tous les moyens permettant de mener à bien cette entreprise.

Nous disposerons ainsi des quantités de pluie espérées en un lieu donné, aux seuils de probabilité retenus. (Tableau n° 2).

Ce sont ces données pluviométriques auxquelles seront confrontées les connaissances acquises dans le domaine des exigences hydriques des principales cultures (chapitre n° II).

Quant au graphique n° 3, il ne fait que reprendre pour des stations typiques réparties du Nord au Sud du pays, les quantités de pluie mensuelles moyennes, pour la période d'une part et pour les trois années de déficit pluviométrique exceptionnel d'autre part.

c) Caractérisation hydrique des sols (Publications n° 5, 6, 15, 16, 20)

La caractérisation hydrique des sols permet de nuancer les données pluviométriques. En effet, le rôle de réservoir d'eau plus ou moins efficace qu'ils assurent est capital.

Comme on peut le constater sur la carte pédologique simplifiée du Sénégal (graphique n° 4), la grande majorité des sols sénégalais sont très sableux ; ils contiennent rarement plus de 10 % d'argile dans les horizons superficiels.

Tableau n°2

TYPE DE TABLEAU OBTENU APRES TRAITEMENT SUR ORDINATEUR

(type IBM-360 - 75)

STATION NUMERO 380011

SENEGAL

BAMBEY IRAT

NOMBRE DE JOURS CONSECUTIFS 30

DATE DU PREMIER JOUR 201

HAUTEUR MOYENNE 190.82

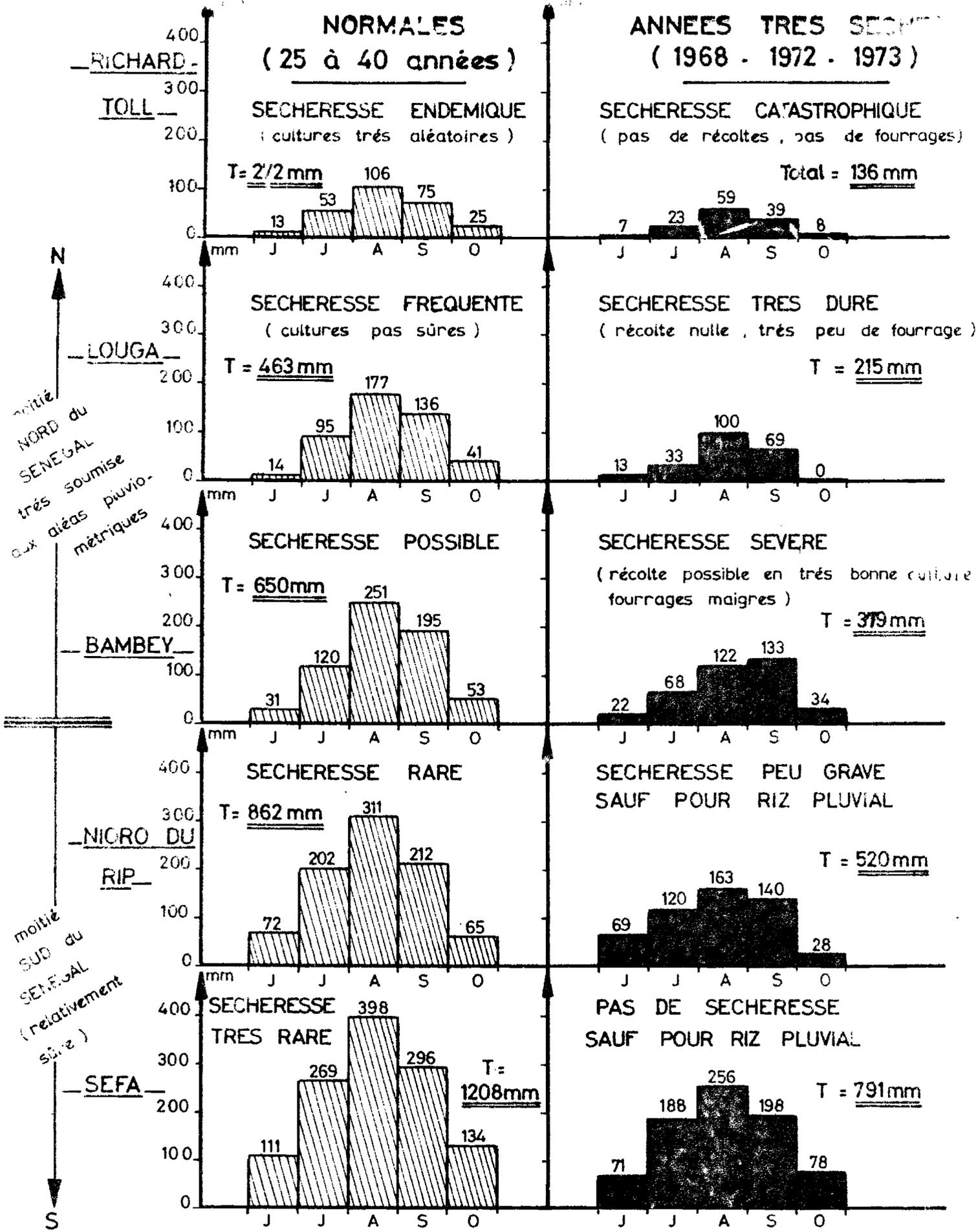
OBSERVATIONS RANGEES :

445.6	369.3	369.0	337.8	304.5	295.8	283.1	279.0	254.8	245.4	230.5	230.5	214.6	208.7
208.2	206.4	205.9	203.9	201.1	192.0	187.7	186.8	186.5	179.7	178.4	171.3	155.1	150.5
144.0	142.4	138.0	136.1	126.3	121.0	117.6	96.3	74.9	70.7	56.4	48.0	40.2	20.7

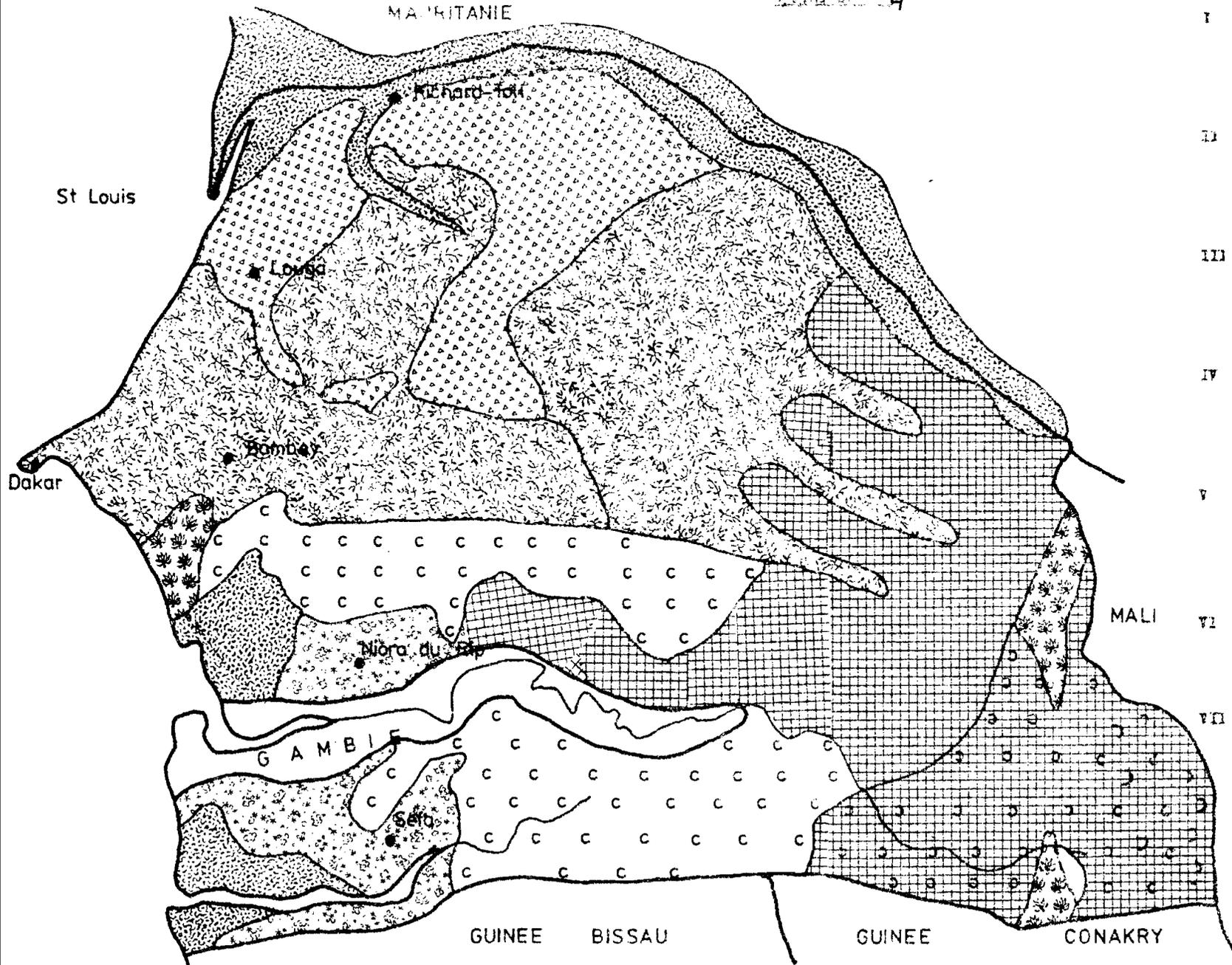
PARAMETRES GAMMA 3.434 S = 55.570 FO = 0.0 XO = 0.0

PROBABILITE .01	HAUTEUR	33.01	PROBABILITE .99	HAUTEUR	507.32
PROBABILITE .02	HAUTEUR	41.82	PROBABILITE .98	HAUTEUR	456.10
PROBABILITE .05	HAUTEUR	58.21	PROBABILITE .95	HAUTEUR	385.50
PROBABILITE .10	HAUTEUR	76.36	PROBABILITE .90	HAUTEUR	328.91
* PROBABILITE .20	HAUTEUR	103.41	PROBABILITE .80	HAUTEUR	267.85
PROBABILITE .25	HAUTEUR	115.26	PROBABILITE .75	HAUTEUR	246.73
PROBABILITE .30	HAUTEUR	126.68	PROBABILITE .70	HAUTEUR	228.73
PROBABILITE .40	HAUTEUR	149.23	PROBABILITE .60	HAUTEUR	198.44
PROBABILITE .50	HAUTEUR	172.66	PROBABILITE .50	HAUTEUR	172.66

* Lire : 10 chances sur 100 d'avoir moins de 76,4 mm de pluie
 90 chances sur 100 d'avoir plus de 76,4 mm pendant les 30 jours suivant le 201ème jour de l'année



CONDITIONS PLUVIOMETRIQUES DE L'AGRICULTURE SENEGALAISE SCHEMATISEES PAR CINQ STATIONS REPARTIES DU NORD AU SUD



- I  Calcaire à liasse calcaire et hydromorphe
- II  Vertisols atromorphe sur marges de schistes
- III  minéraux bruts et peu évolués, à cuirasse, avec inclinaison de VI
- IV  Isohumiques bruns subarides ou bruns rouges sur sables colluviaux ou alluviaux
- V  ferrugineux tropicaux faiblement lessivés, lessivés en fer sur sables siliceux à l'Ouest, et grès argilo-sableux à l'Est
- VI  Ferrugineux tropicaux lessivés, sans tâches ni concrétions ferrugineuses au Nord, avec tâches et concrétions ferrugineuses vers le Sud, sur sables ou grès sableux argileux, cuirasse pouvant affleurer
- VII  Idem précédent avec tâches et concrétions ferrugineuses et parfois pseudogley, sur schiste gréseux ou grès - cuirasse pouvant affleurer
- VIII  Sels ferallitiques sur grès sableux argileux

N.B. Les sols numérotés IV, V, VI, VII et VIII partiellement, sont essentiellement sablonneux

Carte pédologique simplifiée du SENEGAL au 1/3.000.000

d'après la carte pédologique ORSTOM au 1/1.000.000 par P. MAIGNIEN

Certains sont dits peu lessivés ; en fait, tous peuvent l'être pendant les séquences les plus pluvieuses. Dans l'ensemble, ces sols sont relativement perméables et leur réserve en eau utile est assez faible. D'une façon très schématique, on disposerait, sur une profondeur de sol d'un mètre, de 50 à 75 mm d'eau utile selon que l'on est sur des sols à sables plus ou moins grossiers. Une perméabilité importante et de très faibles réserves en eau utile sont obtenues dans les sols sableux de la vallée du Fleuve Sénégal (Diori) où nous avons été surpris de constater la grande profondeur d'humectation assurée par des pluies par ailleurs fort modestes (travaux de M. SOMO).

Pour les sols Dior du Centre Sénégal dont la réserve en eau utile est de l'ordre de 70 mm sur un mètre de profondeur, il n'est pas rare que pour une pluviométrie de l'ordre de 650 mm, plus de 250 mm percolent en dessous de 2 mètres, échappant ainsi à l'enracinement des cultures annuelles comme les mils, sorghos et arachides (voir les profils hydriques-type de deux hivernages différents, -l'un normal, l'autre très déficitaire- et l'évolution des profondeurs d'humectation correspondantes, sur les graphiques n° 5 et 6).

Pour l'alimentation hydrique des cultures, il ne faut donc pas considérer la seule pluviométrie globale, il faut avoir à l'esprit qu'une part importante de cette eau pluviale peut percoler et échapper aux plantes, aggravant encore les conditions de sécheresse.

Ainsi, en 1968, année très déficitaire à Bambey (360 mm), plus de 120 mm tombés en une seule décade, début septembre, ont permis au front d'humectation de descendre à près de 3,5 m de profondeur, sur une culture d'arachide tardive encore peu développée et couvrant imparfaitement le sol ; par contre, sur un mil nâtif et pleine épiaison, couvrant bien le sol et à enracinement fasciculé dense, l'eau n'est pas descendue en dessous d'1,5 mètre, restant ainsi entièrement disponible pour la culture. Il est évident que par la suite l'arachide à cycle long ne pouvait qu'être défavorisée du fait de l'eau échappée en profondeur.

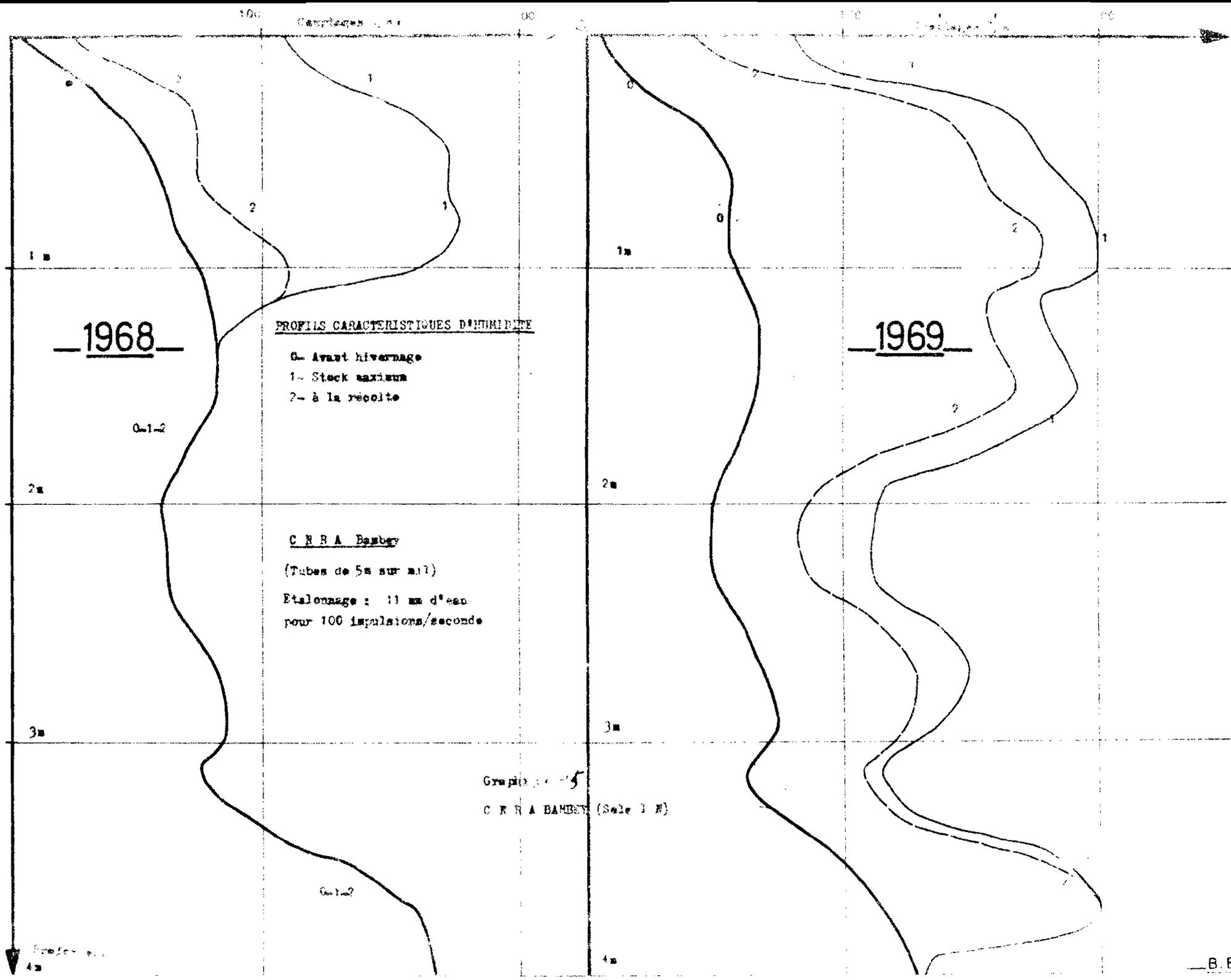
Cependant, il existe des aspects très favorables des sols sableux, sur lesquels nous reviendrons plus loin, à propos des techniques de travail du sol à envisager en vue d'une gestion de l'eau plus rigoureuse et plus économique. Par ailleurs, les sols sableux d'origine éolienne posent un général des problèmes d'aménagement souvent moins complexes que les sols alluviaux toujours très hétérogènes.

I-2 La demande évaporative d'ordre climatique (publications n° 9, 10, 17, 18, 41, 51...)

Comme le montre le graphique illustrant la démarche de la recherche dans le domaine des relations "eau - sol - plante", la détermination des besoins en eau des principales cultures est nécessaire. Ces besoins en eau (Evapotranspiration maximale ou ET_M) varient bien sûr avec la demande évaporative d'ordre climatique qui va en augmentant, du Sud vers le Nord (carte d'Evapotranspiration potentielle : graphique n° 7).

Ainsi, cette évapotranspiration potentielle (ou ETP), terme qui représente la consommation hydrique potentielle d'un couvert végétal continu, dense et vigoureux, toujours bien alimenté en eau, a été mesurée sur gazon par l'IRAT, au Sénégal, entre 1965 et 1971 : ses variations sont les suivantes :

- de l'ordre de 1 700 mm par an, à Séfa, au Sud du pays
- autour de 2 000 mm par an, à Bambey, au Centre du pays
- près de 2 400 mm par an, à Richard-Toll au Nord du pays.



1968

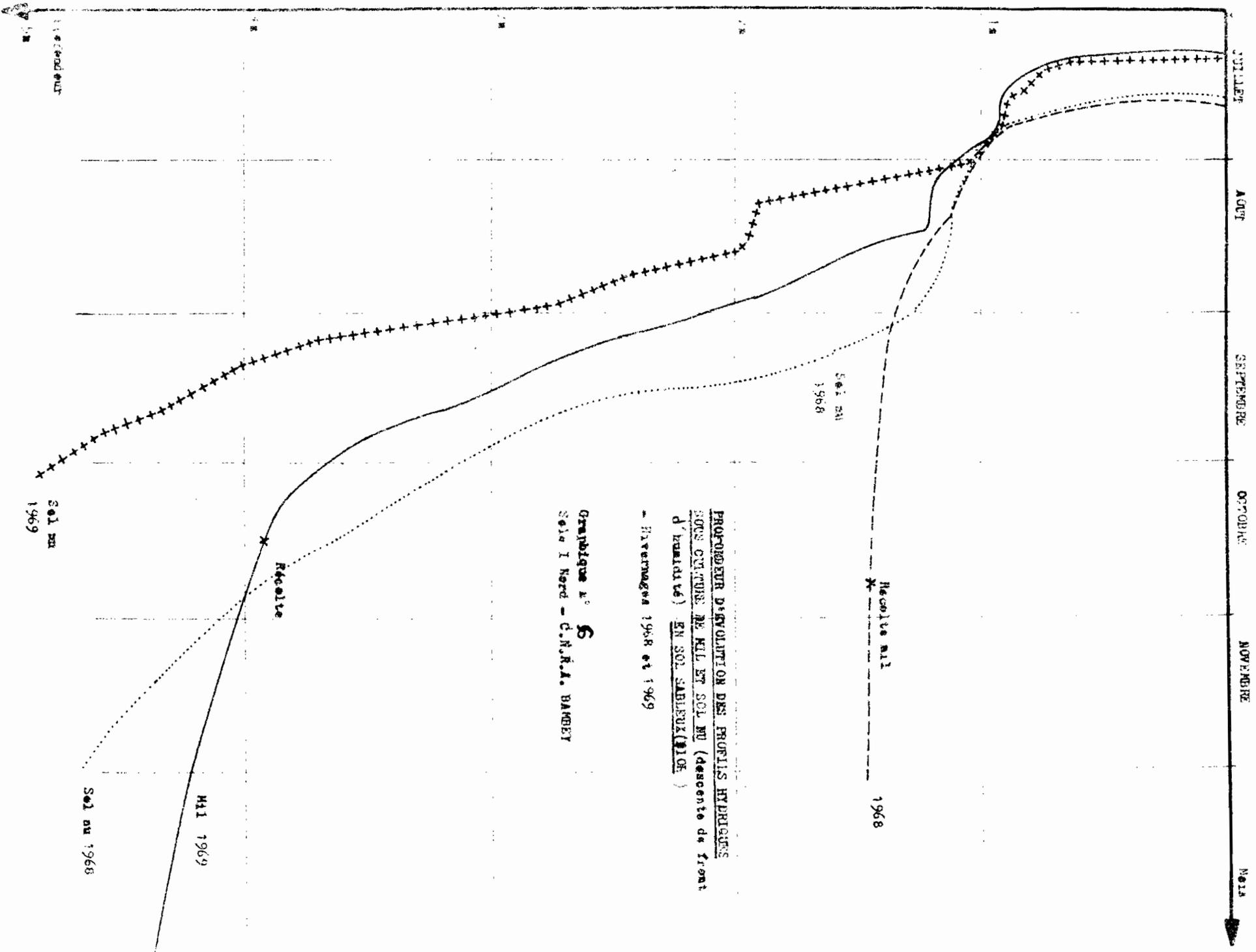
1969

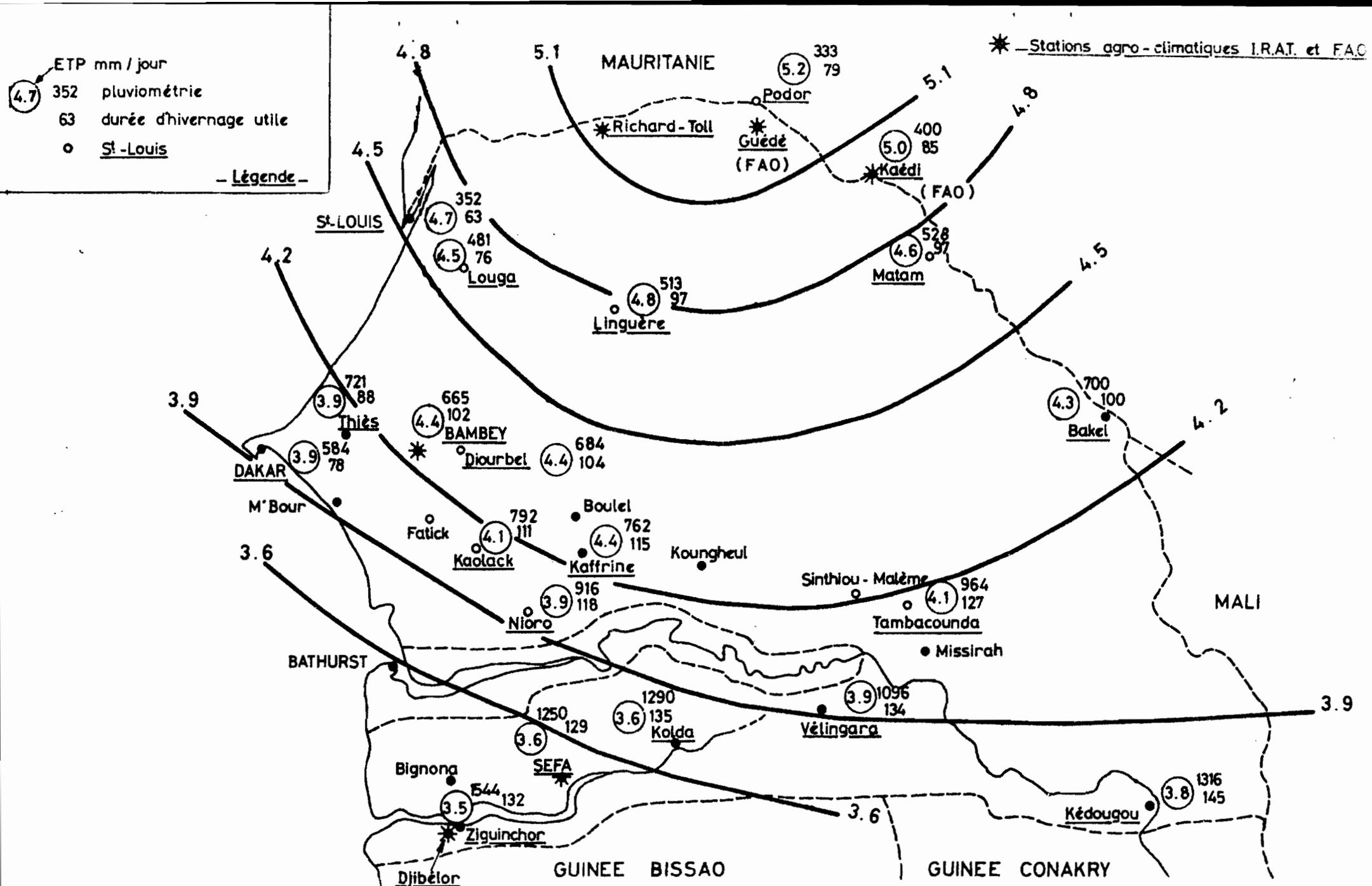
PROFILS CARACTERISTIQUES D'HUMIDITE

- G. Avant hivernage
- 1- Stock maximum
- 2- à la récolte

C. R. R. A. Bamby
 (Tubes de 5m sur ml)
 Etalonnage : 11 mm d'eau
 pour 100 impulsions/seconde

Graphie n° 5
 C. R. R. A. BAMBY (Sole 1 F)





ETP moyenne d'hivernage utile en mm / jour d'après la pluviométrie moyenne par jour d'hivernage utile 1932 - 1965.

graph. n° 7

Les mesures directes d'évapotranspiration potentielle (ETP) étant difficilement généralisables (coût et complexité) et les calculs à partir de formules souvent délicats (manques de données, formules souvent mal adaptées, etc...), nous préférons prendre comme facteur de référence climatique, l'évaporation d'eau libre en bac normalisé classe A. En effet, il a été démontré, tant au Sénégal qu'en d'autres pays, qu'il existait une corrélation excellente entre l'ETP mesurée et l'évaporation d'eau libre.

Ainsi pouvons-nous écrire :

$$ETM \text{ culture} = K. Ev \text{ Bac}$$

K est variable au cours du cycle d'une même culture, mais est relativement constant pour une même plante et un même stade, d'une localité à l'autre et d'une année à l'autre. Il devient donc possible, à partir d'un réseau de mesure d'évaporation bac suffisamment dense*, d'établir la carte des besoins en eau d'une espèce et d'une variété donnée pour une grande zone.

* Des formules mises au point par des chercheurs de l'UTAH (CHRISTIANSEN-PATIL-MENTA) permettent par ailleurs de retrouver cette évaporation bac, même si on ne l'a pas mesurée, à partir de données climatiques usuelles.

II - CONNAITRE LES BESOINS ET LES EXIGENCES HYDRIQUES DES CULTURES, POUR MEILLEUR REPARTIR GEOGRAPHIQUEMENT LE MATERIEL VEGETAL (et le transformer éventuellement)

II-1 Les besoins en eau (publications n° 18, 19, 44, 51) - graphique n° 8

Tant pour l'adaptation judicieuse des plantes au milieu naturel (en conditions strictement pluviométriques ou à la rigueur en conditions de décrue) que pour une irrigation économique, il est essentiel de connaître quantitativement et qualitativement les besoins en eau des cultures (évapotranspiration maximale). De nombreux progrès ont été réalisés surtout depuis 1971. Les cultures suivantes ont été testées et, comme nous l'avons dit plus haut, les résultats peuvent être largement généralisés à partir des données d'évaporation d'eau libre relevées simultanément et servant de référence climatique ; citons entre autres :

- plantes fourragères herbacées (genre Cynodon dactylon et Digitaria documbens) : c'est en fait l'ETP gazon

- riz pluvial dans la moitié Sud du pays (variétés allant de 90 à 115 jours)

- mils hâtifs : variétés de 90 jours (souma) et de 75 jours (mil nain du projet GAI)

- arachides : hâtives de 90 jours (V. 55-437) et semi hâtives de 105 jours (V. 57-422)

- sorgo : de 100 jours (V. CE 90).

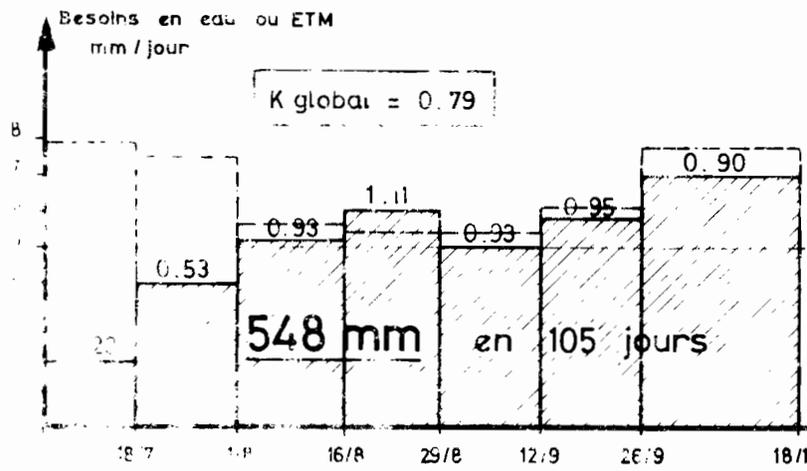
II-2 Pondération et généralisation des résultats portant sur les besoins en eau

Les besoins en eau varient en fonction des années, des dates de pluie, des différents lieux. C'est pourquoi nous avons insisté plus haut (paragraphe I-2) sur l'importance des mesures d'évaporation d'eau libre en bac normalisé classe A, qui caractérisent à la fois l'année, la période et le lieu. Nous travaillons en relation avec la Division nationale de la Climatologie, avec l'ASECNA et avec la FAO (OMVS), pour étoffer au maximum le réseau sénégalais de bacs normalisés classe A.

Les coefficients culturaux $K = \frac{\text{Besoins en eau}}{\text{évaporation bac}}$ permettent d'ores et déjà de généraliser dans l'espace et dans le temps les besoins en eau établis à Bambey, pour les cultures pré-citées. Nous n'insisterons pas davantage sur ces mesures et sur ces résultats, complètement détaillés dans d'autres publications. Le graphique n° 8 donne un aperçu de ce qui peut être fait dans ce domaine. Il est certain que l'économie de l'eau en zone sahélienne peut être très améliorée à partir du choix des espèces et des variétés qui diffèrent essentiellement par leur longueur de cycle végétatif et par leur aptitude individuelle à consommer plus ou moins d'eau (rôle de l'architecture de la plante et surtout de ses régulations stomatiques). En outre, ces études sur les besoins en eau des plantes peuvent bien sûr s'appliquer directement à une gestion économique de l'eau d'irrigation.

II-3 Contrôles physiologiques et observations racinaires (publications n° 8, 14, 21, 27, 50)

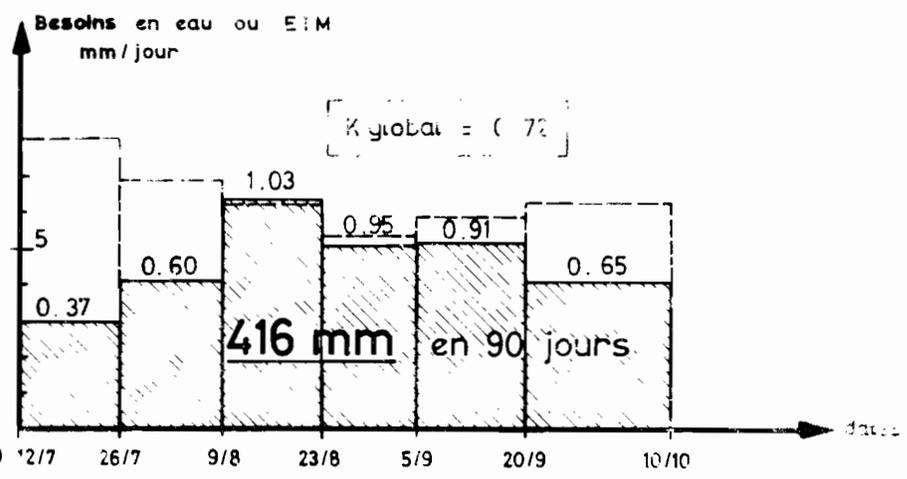
Des tests en serre, de résistance à la sécheresse aux différents stades d'une culture, permettent (publication n° 21), de préciser les stades de plus grande sensibilité à une sécheresse d'intensité donnée et les incidences de ces sécheresses sur les rendements : nous souhaitons que ce travail puisse être aussi



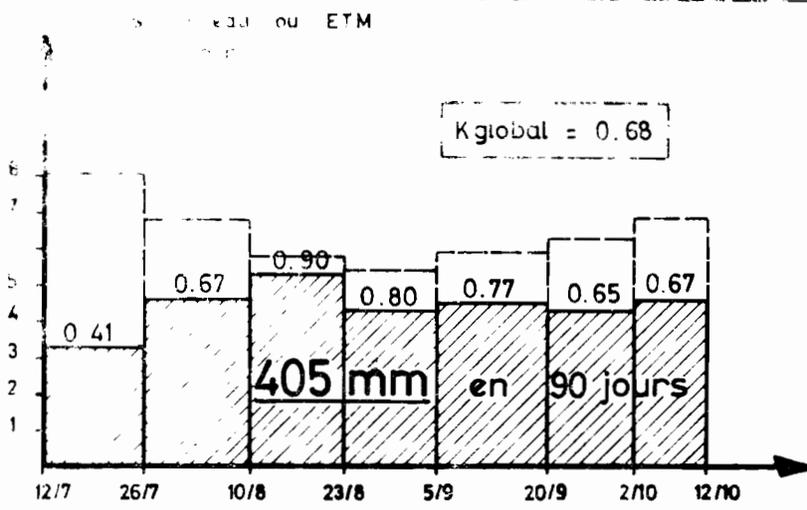
Arachide 57-422
- Bambey 1973

- - - - - Besoins en eau
 - - - - - Evaporation Bac

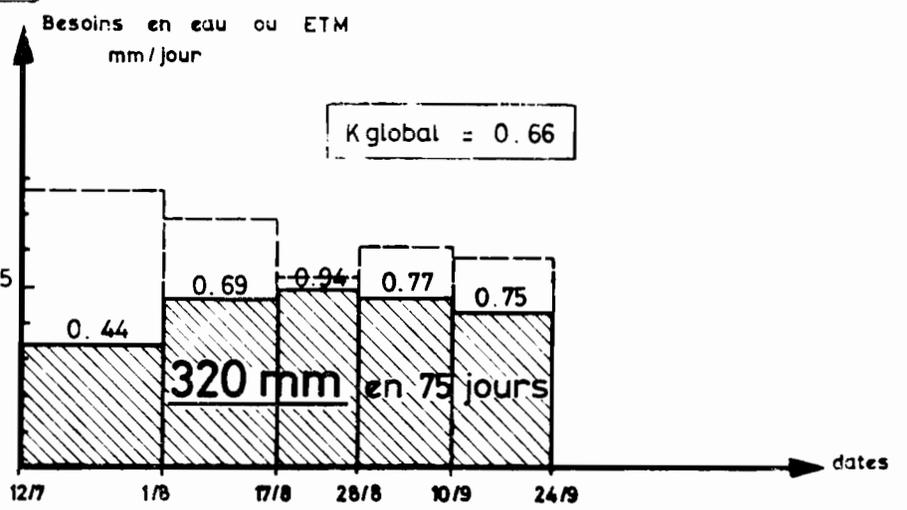
$$K = \frac{\text{ETM mm}}{\text{Evap. Bac mm}}$$



Mil Souna III
Bambey 1974



Arachide 55 - 437
- Bambey 1974



Mil nain G.A.M.
Bambey 1974

Graphique n° 8

La durée des cycles de végétation et les caractéristiques variétales influent sur l'économie de l'eau

réalisé sur les cultures traditionnelles du Centre et Nord Sénégal : mils, sorgho, arachide, niébé. Mais pour cela, l'appui des physiologistes est nécessaire ; tout sélectionneur devrait pouvoir bénéficier comme dans le projet d'amélioration des mils (GAM) et dans l'équipe travaillant à Bambey sur l'arachide, de l'appui à part entière d'un physiologiste. Ce physiologiste se spécialiserait, pour les cultures de la zone sahélienne, dans l'étude de la résistance à la sécheresse.

L'adaptation des plantes à la sécheresse est en liaison étroite avec les caractéristiques du système racinaire : ce dernier contrôle à la fois l'alimentation hydrique et minérale des cultures.

Un sol peut être profond, mais agronomiquement, sa véritable profondeur dépend de l'enracinement utile des plantes cultivées. On ne se contente d'ailleurs pas de constater les profondeurs atteintes, mais on mesure aussi les densités racinaires aux diverses profondeurs. L'efficacité des enracinements est aussi contrôlée (CHOPART) et des variétés sont comparées entre elles (NICOU-CHOPART).

Heureusement, les sols sableux sont souvent très profonds et des études d'enracinement ont pu montrer que les racines de mil ou d'arachide pouvaient descendre à plus de 2 mètres, ce qui est assez remarquable et important au point de vue adaptation à la sécheresse. Même si le débit d'absorption de l'eau par les racines est limité par un enracinement peu dense à ces profondeurs et ne permet pas une alimentation hydrique optimale, il n'en demeure pas moins que les dégâts de la sécheresse peuvent ainsi être réduits et que la survie des plantes peut être facilitée. La profondeur d'enracinement d'une culture fixe donc la profondeur et le volume du réservoir en eau que constitue le sol.

II-4 Confrontation des connaissances portant sur les exigences hydriques des plantes, avec les données pluviométriques, en liaison avec la nature des sols (publications n° 10, 14, 18, 46, 49, 50...)

C'est à partir de tous les résultats de mesure et d'observations détaillés dans les paragraphes précédents :

- besoins en eau,
- stades de sensibilité à la sécheresse,
- efficacité du système racinaire et profondeur utile du sol,
- caractéristiques hydriques et hydrodynamiques du sol...

confrontés aux données climatiques, essentiellement pluviométriques :

- durée de l'hivernage utile,
- répartition des pluies,
- probabilités pluviométriques...

que l'on peut envisager d'établir des cartes d'adaptation au milieu, pour les principales cultures. Il devient possible de chiffrer par zone les chances de réussite de ces cultures, à des niveaux de rendement et de technicité donnés. Les stations agronomiques de Richard-Toll, Louga, Bambey, Nioro du Rip, Séfa doublées de postes agroclimatiques et disposant d'une période d'observation maintenant assez longue (tant pour les rendements que pour les données météorologiques) permettent déjà de se faire une idée assez juste des potentialités agro-pédoclimatiques. Les indications fournies par ces stations sont précieuses pour les responsables du Développement et pour les Financiers qui peuvent ainsi estimer quelles seront les plus-values résultant des fonds investis dans la Recherche et dans la Vulgarisation.

Ce genre de tableau concernant la production arachidière et qui demande encore à être complété et affiné a été établi pour les stations de Louga et de Bambey :

Tableau n° 3

<u>Louga</u>	Rendements escomptés (kg/ha)		Nombre d'années	Pour- centage
	Thèmes de recherche appliqués	Paysans non encadrés		
Production nulle	0	0	2	5
Mauvaise production	0 à 600	moins de 300	3	7
Production médiocre	600 à 1100	300 à 600	12	29
Bonne production potentielle	1100 à 2000	600 à 1000	24	59
			41	100

<u>Bambey</u>	Rendements escomptés (kg/ha)		Nombre d'années	Pour- centage
	Thèmes de recherche appliqués	Paysans non encadrés		
Production nulle	0	0	0	0
Mauvaise production	moins de 1000	moins de 500	1	2
Production médiocre	1000 à 1600	500 à 1000	15	37
Bonne production potentielle	1600 à 3000 et plus	1000 à 1500	25	61
			41	100

N.B. Les critères de qualité de la production sont basés à la fois sur les rendements obtenus au cours de la période, sur l'allure de la saison des pluies (répartition, durée et quantité) et sur les potentialités des variétés les mieux adaptées actuellement à chaque zone.

III - AMELIORATION DU MILIEU PEDOCLIMATIQUE EN VUE D'UNE MEILLEURE EFFICIENCE DE L'EAU

III-1 Techniques culturales appropriées aux terres arides (publications n° 4, 6, 8, 15, 16, 20, 26, 24, 25, 29, 40...)

Tous les moyens propres à réduire les pertes et les consommations d'eau sous culture doivent être envisagés. Nous avons déjà parlé des choix de durée de cycle et de matériel végétal ; il nous faudrait parler tout aussi longuement des techniques de culture. Nous passerions rapidement sur les techniques classiques, sans sous-estimer toutefois leur extrême importance :

- semis en sec et rapidité du semis tout de suite après la première pluie utile, lorsque le semis en sec n'est pas envisageable
- désherbage et sarclage très précoces permettant de supprimer toute consommation hydrique superflue
- destruction aussi complète que possible des adventices
- récolte effectuée dès que le cycle est bouclé afin de ne pas continuer à consommer inutilement de l'eau et de pouvoir réaliser les travaux de post-récolte indispensables : en particulier ceux que l'on ne peut pas faire en début de campagne, afin de profiter tout de suite des premières pluies utiles pour semer, etc...

Nous insisterons davantage sur les points suivants, peut-être plus inédits pour le Sahel, bien qu'assez classiques en d'autres zones arides (Etats-Unis, Afrique du Nord, Australie, etc...).

Pendant la saison des pluies, il est possible de stocker de l'eau dans des sols sableux de la zone tropicale sèche et d'en conserver une partie importante jusqu'à la saison des pluies suivantes, ce qui augmente beaucoup les chances de succès des cultures. Le phénomène de self-mulching, ou formation d'une croûte de surface très sèche et isolante, assure cette conservation de l'eau en profondeur. Le meilleur stockage de l'eau est assuré dans un sol restant nu en surface pendant toute une saison des pluies. Sans aller jusqu'à recourir à cette solution extrême (ce serait le *dry farming*, envisageable dans les zones où tombent moins de 300 mm, avec une année d'emmagasinement de l'eau, suivie d'une année de culture), DALCETZ et NICOU, montrent qu'un "dry farming dérobé" peut être pratiqué avec succès. Pour cela, des cultures à cycle court libèrent très vite le sol ; on peut alors, grâce à un labour d'enfouissement, supprimer toute repousse de la culture ou des adventices et emmagasiner les dernières pluies de la saison ou tout au moins conserver une partie de l'eau non consommée par la culture.

Si pour diverses raisons (calendrier de travail entre autres) le labour d'enfouissement ou le labour simple n'ont pu être réalisés, les interventions suivantes restent possibles :

- paillage avec les résidus de récolte (pailles de mil et de sorgho)
- simples sarclages, une fois enlevés (le plus tôt possible) les pailles (consommation du bétail et fumier qui sera restitué plus tard)
- désherbage chimique ; cependant ces deux dernières techniques demanderont quelques contrôles supplémentaires : en effet, les sols labourés s'avèrent les plus résistants à l'érosion éolienne, les particules fines étant très efficacement retenues entre les mottes.

Ce qu'il faut avant tout, c'est éliminer toute mèche évaporante, qu'elle soit morte ou vive... dès que la récolte est faite.

Les graphiques n° 9 à 11, établis en sol dior à Bambeï, illustrent des diverses remarques :

- graphique n° 9 : l'évaporation à la surface d'un sol nu sableux diminue très vite, pour devenir négligeable, dès que les pluies s'arrêtent ou deviennent très espacées

- graphique n° 10 : le stockage et la conservation de l'eau en sol sableux et nu ont été mis en évidence de façon spectaculaire, même au cours des hivers très déficitaires de 1972 et 1973

- graphique n° 11 : la conservation de l'eau dans le profil d'un sol est très variable selon le précédent cultural ; tout économie d'eau est compromise lorsque les adventices envahissent le terrain (cas d'un mauvais paillage de mil où les adventices se sont développées entre les pailles).

Il faut bien noter que les saisons des pluies 1972 et 1973 à Bambeï ont été exceptionnellement sèches (respectivement 387 mm dont 330 utiles et 400 mm) et que ces résultats peuvent donc être transposés à juste raison, aux zones septentrionales recevant ces pluviométries en temps normal (de Louga à Richard-Toll par exemple).

Quant au tableau suivant (n° 4), il montre les différences de rendement considérables que l'on peut enregistrer en année de sécheresse en fonction des précédents culturaux.

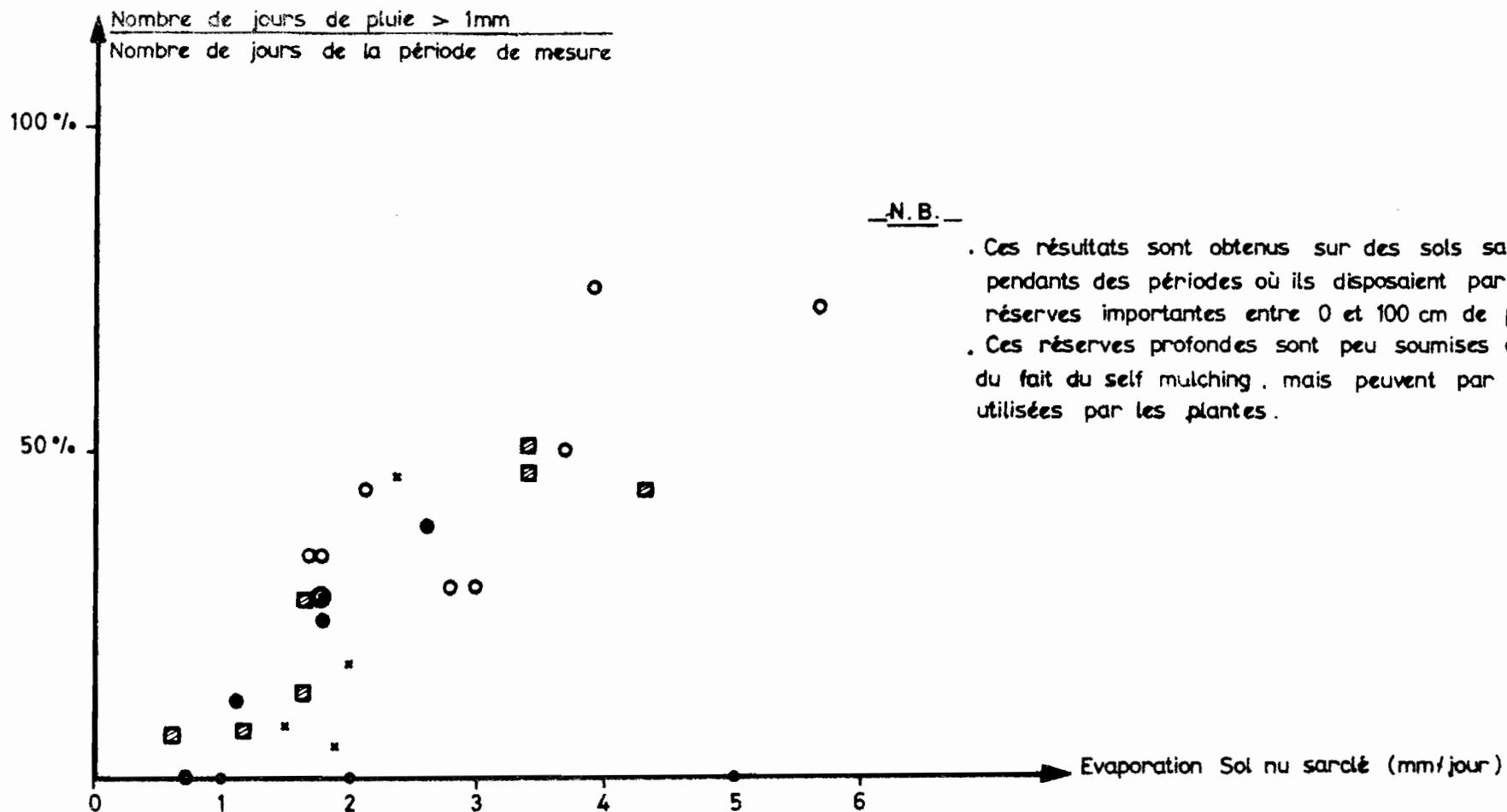
Tableau n° 4

Précédent cultural (1971)	Réserves en eau sur 2 m de profondeur après 35 jours de sécheresse (saison des pluies suivante : 1972)	Rendements d'arachide gousse en kg/ha	Rendements de mil grain en kg/ha
Jachère (brûlée en fin de saison sèche)	21 mm	929	64
Mil récolté et pailles aussitôt enfouies par labour	79 mm	2 135	1 600

d'après R. NICOU)

Dans le tableau n° 5 résumant les divers moyens d'intervention en vue d'améliorer l'économie de l'eau, nous avons énuméré d'autres techniques envisageables qu'il serait trop long de détailler dans les limites de cette communication.

Ce tableau n'est certes pas exhaustif et nous saurons gré aux chercheurs spécialisés en économie de l'eau de nous aider à le compléter et de nous apporter leur point de vue.



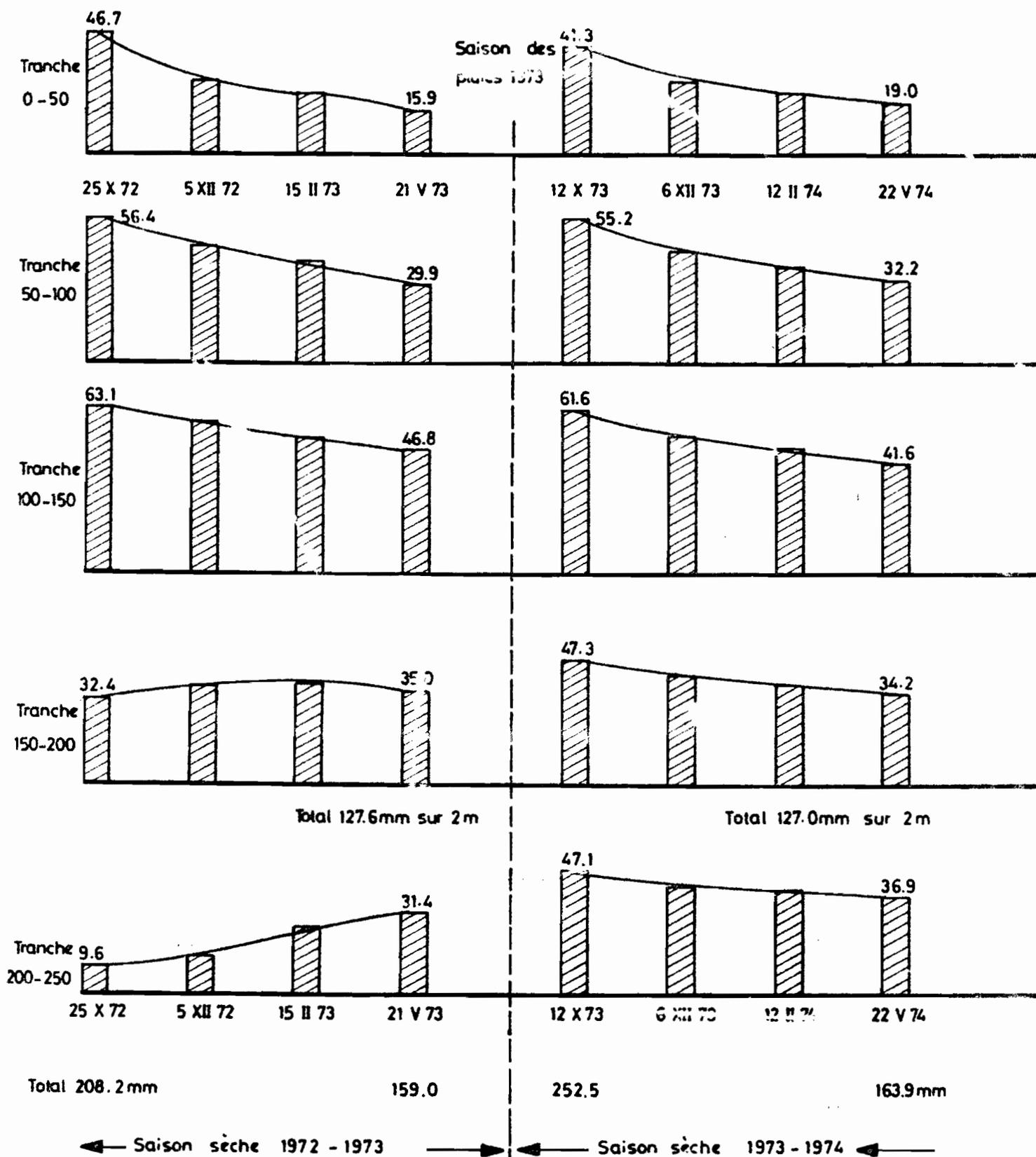
N. B.

- . Ces résultats sont obtenus sur des sols sableux (Dior) pendant des périodes où ils disposaient par ailleurs de réserves importantes entre 0 et 100 cm de profondeur.
- . Ces réserves profondes sont peu soumises à l'évaporation du fait du self mulching, mais peuvent par contre être utilisées par les plantes.

x 1968
o 1969
● 1972
◻ 1973

- Evaporation mesurée au moyen de l'humidimètre à neutrons.

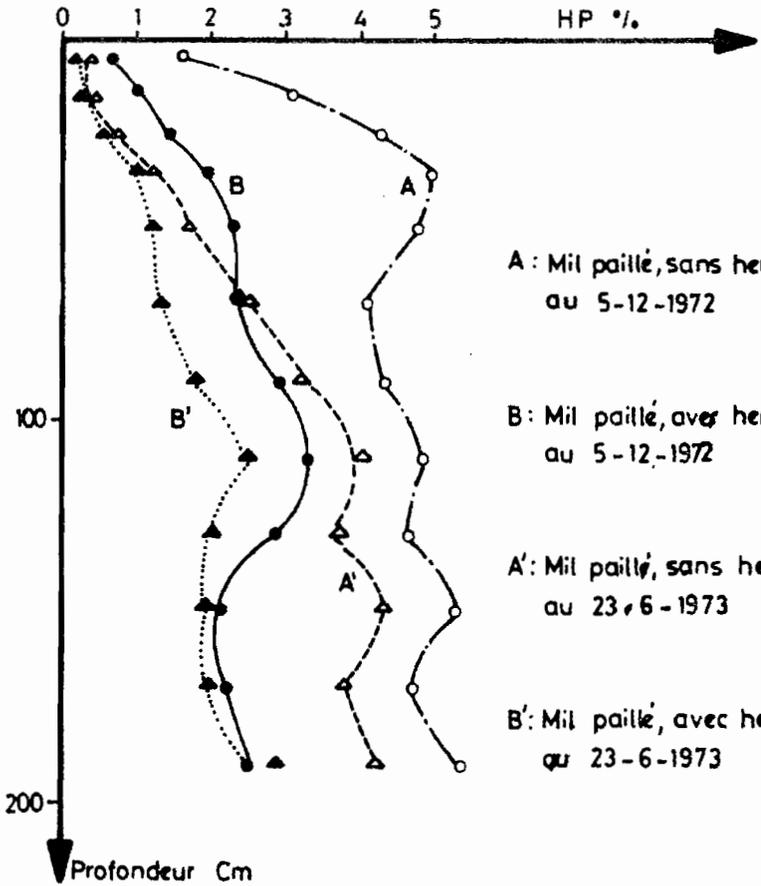
EVAPORATION A LA SURFACE D'UN SOL NU EN RAPPORT AVEC LA REPARTITION DES PLUIES (périodes de 15 jours en moyenne)



STOCKAGE DE L'EAU UTILE EN SOL SABLEUX NU

DESHERBE PAR SARCLAGES (en mm)

SR / BIO : C.N.R.A.-BAMBEY

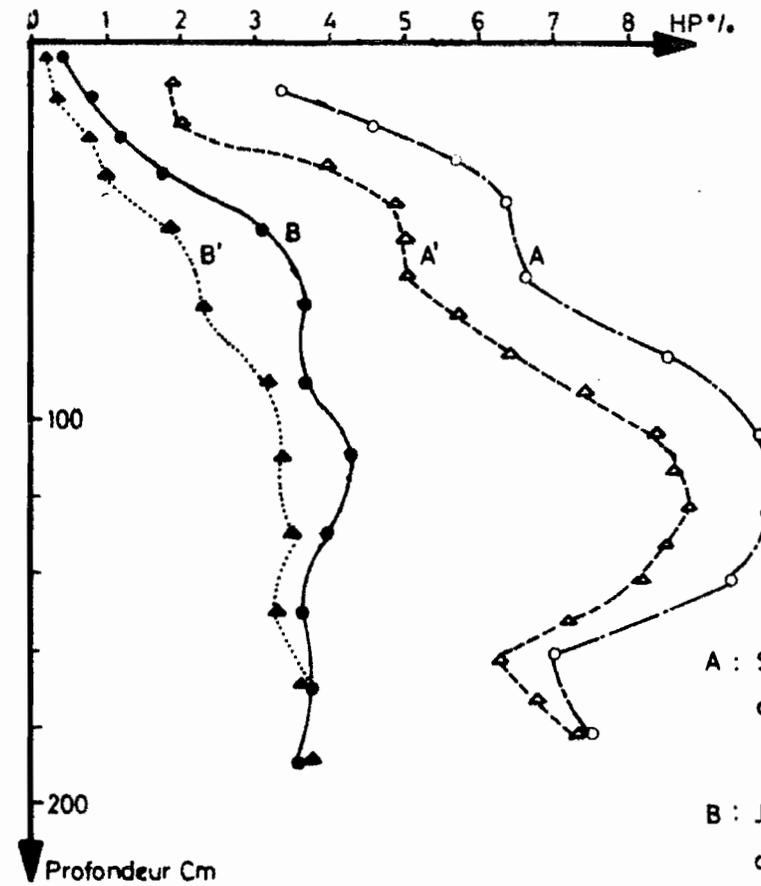


A : Mil paillé, sans herbes
au 5-12-1972

B : Mil paillé, avec herbes
au 5-12-1972

A' : Mil paillé, sans herbes
au 23-6-1973

B' : Mil paillé, avec herbes
au 23-6-1973



A : Sol nu sarclé
au 5-12-1972

B : Jachère sur pied
au 5-12-72

A' : Sol nu sarclé
au 21-5-73

B' : Jachère sur pied
au 23-6-73

EXEMPLES DE PROFILS D'HUMIDITE TYPIQUES RELEVES APRES

L'HIVERNAGE 1972 ET EN FIN DE SAISON SECHE DANS DES SOLS DIOR

SOLE GRILLAGEE

SR / BIO : C.N.R.A.-BAMBEY 1972 - 1973

Tableau n° 6 : Moyens d'intervention pour l'amélioration de l'économie de l'eau dans les sols sableux d'Afrique Tropicale sèche (Moitié Nord du Sénégal - moins de 700 mm de pluie)

ACTIONS ENTREPRISES OU A ENTREPRENDRE	ETAT DE REALISATION	IMPORTANCE ACCORDEE	INTERET PRATIQUE	RESULTATS POSITIFS ACQUIS
COLLECTE DES EAUX PLUVIALES				
1) Pluies artificielles	Travaux ASECNA et Bureau météorologique du Sénégal	Grande	A démontrer	- peu probants - difficiles à démontrer
2) Lutte contre le ruissellement. Amélioration de l'infiltration	Travaux dans le Sud du pays, très peu dans la moitié Nord	Faible	Faible: ruissellement limité, sols perméables	Très limités
3) Favoriser le ruissellement par imperméabilisation du sol pour collecter l'eau dans des bass-fonds ou terrasses privilégiés	R i e n (coût des aménagements?)	Faible	Limité: reliefs assez peu accentués, sols perméables	R i e n
REDUCTION DES PERTES DUES A L'EVAPORATION				
4) Réduction de l'évaporation du sol nu - sarclage-binage, labour - désherbage chimique - paillage - Dry Farming total ou dérobé - espacer les irrigations	- Quelques résultats - Nombreux essais à entreprendre avec suivi des profils hydriques et des consommations	Moyenne (l'évaporation se réduit d'elle-même en sol très sableux).	Certain (début de culture surtout et après récolte) peu de paille disponible	encore limités quelques résultats probants
5) Imperméabilisation chimique des sols	- rien - coût ?	Faible	faible peu de coût	rien
6) Imperméabilisation des surfaces d'eau libre (polyalcools gras)	rien	faible	très limité (peu de surfaces d'eau libre et procédé peu efficace sur des grandes surfaces)	rien
7) Ralentissement des percolations profondes Conditionneurs de sol, en la fumure et les coque fouissement divers, fumure d'arachide	Trop peu de travaux systématiques, un peu sur la fumure et les coques d'arachide	faible	assez grand	très peu
REDUCTION DES PERTES AU NIVEAU DES CULTURES (EVAPOTRANSPIRATION)				
8) Raccourcissement des durées de cycle	- Quelques travaux (mil, arachide, sorgho) tendant à la généralisation - manque de contrôles hydriques	Très grande	Très grand	Sur mil et sur arachide ; à poursuivre
9) Variétés consommant moins, ou plus résistantes à la sécheresse, à durée de cycle égale architecture et port foliaire, réaction stomatiques, etc...	Assez avancé pour l'arachide, peu pour les autres cultures de la zone Nord. Aménagé pour mils et sorghos. Manque de suivi purement hydrique (profils, consommations)	relative - dépend des espèces	certain	Contestables (manque de contrôle hydrique), Différences possibles sur les rendements (arachide)

TABEAU N° 6 (suite)

ACTIONS ENTREPRISES OU A ENTREPRENDRE	ETAT DE REALISATION	IMPORTANCE ACCORDEE	INTERET PRATIQUE	RESULTATS POSITIFS ACQUIS
110) Agents chimiques (anti- conception réducteurs de croissance...)	Travaux de l'IRHO sur l'arachide	Assez grande	Non négligeable coût ?	sur l'arachide (I R H O)
11) Densités de semis	Les essais effectués par le passé seraient peut-être à revoir sous l'aspect consommation hydrique. A reconsidérer avec les variétés très latives	- relative - dépend des espèces	certain	Contestables, (manque de contrôle hydrique)
112) Techniques culturelles diverses : - rapidité du semis, délai - mariage précoce, destruction des adventices	- terminé - rarement chiffré sur le plan hydrique	Très grande	- très grand - non controversé	Nombreux, portant sur les rendements et non les consommations en eau
113) Récolte précoce suivie de labour d'enfouissement ou labour ordinaire, sarclage, destruction repousses et adventices	- Très avancé... - à poursuivre avec plus de contrôles hydriques	Très grande	Très grand	Nombreux, surtout sur rendements
114) Tailles en vert ... - défoliation... éclaircissage, suppression de tiges	Rien de très notable	Faible	Limité	Rien de notable
115) Cultures associées	- Abandonné. Serait à reprendre sous cet angle de l'économie de l'eau (amélioration du climat des plantes... réduction d'ETP).	Minime (peut-être à tort...)	A démontrer	Expérimentation critiquable... rien de probant
116)- Brise vent artificiels - brise vent d'arbres arbustes	- abandon des recherches à reconsidérer - On en reste encore au paysage arboré traditionnel (arbustes dispersés) déjà valable mais à améliorer	- grande pour les cultures irriguées en contre saison - grande pour les rideaux d'arbres et arbres en général	- très grand Rôle capital des arbres - paysage rural à améliorer	- Essais très délicats peu de résultats chiffrés. - Pas d'expérimentation brise vent arbres très valable (épaisseur maille etc.) sur le plan de l'économie de l'eau - Beaux aménagements (en station)
117) Aménagements intégrés à l'échelle des unités de paysage - petits bassins versants (watershed)	Projets seulement	grande	certain	rien de notable

Beaucoup de voies restent à explorer ou à élargir, mais les moyens de la recherche sont, hélas, limités ; les solutions à trouver sont urgentes et nous devons forcément nous en tenir aux procédés que nous jugeons les plus sûrs, les plus aisés, parfois même les moins coûteux, à adopter et à vulgariser.

III-2 Préservation et amélioration du paysage rural (publications n° 6, 13, 16, 48, 50)

Le rôle de l'arbre est capital dans le cadre de la lutte contre la désertification de ces régions ; il assure :

- une restitution continue de l'humidité profonde à l'atmosphère, facteur contribuant à réduire l'aridité et à tempérer les rigueurs d'une saison sèche caractérisée par des températures élevées et par une humidité relative de l'air très basse

- une rugosité du paysage permettant de diminuer l'évapotranspiration potentielle (et donc les pertes d'eau des cultures sous-jacentes protégées) et de réduire l'érosion éolienne.

Les densités d'arbres compatibles avec le volume des réserves hydriques profondes du sol et avec une profondeur des nappes qu'il est vital de ne pas trop abaisser, sont hélas encore mal définies.

La principale question posée est de savoir s'il faut se contenter de l'équilibre naturel atteint au cours des siècles de culture traditionnelle (arbres dispersés au milieu des cultures, avec des densités variables allant en général de 10 à 40 arbres à l'hectare) ou essayer de l'améliorer (bandes forestières, alignements en brise-vent, etc...). Il s'agit là d'un problème très délicat qui ne pourra être résolu avec succès que lorsque le bilan hydrique complet sera mieux connu à l'échelle de toute une zone écologique. Une grande prudence est nécessaire.

Dans cette région où l'Evapotranspiration potentielle annuelle varie de Sud au Nord entre 2 000 et 2 400 mm, et où la pluviométrie moyenne annuelle tombe de 600 à 500 mm et moins, il serait illusoire de vouloir transformer le paysage en forêt de type semper virens, tant le déficit hydrique est grand. La ligne directrice de la recherche agronomique est d'assurer tout d'abord l'alimentation hydrique des cultures annuelles :

- en s'efforçant de faire tomber toujours plus bas les besoins en eau des cultures (actuellement 320 mm pour une culture de mil nain de 75 jours ...et on peut certainement faire mieux avec des mils encore plus hâtifs et avec des niébé ou autres plantes très résistantes à la sécheresse, qu'il faut rechercher et améliorer avec persévérance),

- en supprimant au maximum toutes les pertes d'eau inutiles (chapitre précédent).

On peut alors disposer de la différence que l'on peut espérer à juste raison (au moins en années normales et excédentaires) entre pluviométrie et besoins en eau des cultures annuelles ; cette différence très variable selon les années (de 0 à plusieurs centaines de mm) peut être utilisée de la façon suivante :

- repousses d'herbe après la récolte de la culture principale (mil souma par exemple) ; cette herbe sera utilisée pour l'alimentation des animaux et dans ce cas, il ne restera bien sûr pas une goutte d'eau dans le sol jusqu'à 2,5 m de profondeur. C'est le cas, cette année, des environs de Bamboyo où la densité d'occu-

pation des terres est si forte que l'on ne trouve pratiquement plus de jachères

- culture dérobée, chevauchant puis prolongeant la culture principale : c'est l'exemple bien connu des cultures de niébé ; dans ce cas encore, il est vain de vouloir économiser et conserver de l'eau

- enfin, l'eau non consommée par la culture principale de cycle court suivie de travaux destinés à stocker les dernières pluies et à réduire les pertes d'eau par évaporation sol nu et par évapotranspiration de repousses végétales, peut servir :

- . à un report sur la saison suivante, dans la tranche de sol exploitable par l'enracinement d'une culture annuelle, qui permettra de mieux supporter d'éventuelles sécheresses

- . à une percolation plus intense contribuant à au gonflement des réserves profondes utilisables par les arbres, arbustes et haies

et à la recharge des nappes peu profondes (Continental terminal et lutétien par exemple).

C'est cette dernière tranche d'eau qui assure la survie du couvert arboré dont bénéficie le Sénégal. On comprend aisément que le maintien de ce boisement **soit** lié à une gestion très stricte de la couverture du sol (cultures annuelles, jachères, défens, sol nu, etc...). L'essentiel est de bien saisir qu'avec la faible pluviométrie dont on dispose, il est difficile de tout vouloir faire en même temps (cultures vivrières, fourrages, forêt et défens, irrigation à partir des nappes, etc...) et qu'il devient de plus en plus impératif de fixer les proportions de terres qui seront destinées aux différentes fins dont nous venons de parler. La connaissance de plus en plus poussée du bilan hydrique intégré (au niveau de toute une grande zone écologique) est indispensable : elle est inscrite à notre programme de **recherche**, en collaboration avec les différents organismes compétents (dont le BRGM entre autres, pour le suivi des nappes).

Le tableau suivant (n° 6) représente une amorce de bilan hydrique intégré.

De plus en plus, dans tous nos projets, nous insistons sur la nécessité de mettre au point des systems d'aménagement et de culture permettant de lutter efficacement contre la sécheresse et de gérer plus rationnellement les ressources hydriques.

Pour cela, des aménagements intégrés, au niveau d'une unité de paysage, ou de petits bassins versants lorsqu'il y en a, sont nécessaires ; ils doivent être basés sur :

- l'utilisation du relief, la plantation de brise-vent, haies, bandes forestières, etc...

- des assolements et rotations à base d'espèces et de variétés résistantes à la sécheresse et à cycle le plus court possible

- l'intégration de l'élevage, avec une meilleure gestion des jachères et des cultures fourragères sur le plan hydrique (liaisons avec l'IEMVT et l'ORSTOM) et sur le plan des restitutions organiques (enfouissements de matière verte et fumier)

Ressources hydriques et besoins en eau des cultures
dans la zone de Bambey - Diourbel
(tableau provisoire)

Disponibilités en eau (mm)		Possibilités de culture (usuelle)		Besoins en eau des cultures en mm
Pluviométrie excédentaire	Plus de 750 mm (23 % des cas)	Cultures d'hivernage possibles sur toute la surface cultivable ; l'excédent éventuel	Jachère non fauchée (120 à 150 jours, jusqu'à épuisement des réserves)	650
Pluviométrie normale	550 à 750 mm : en moyenne 650 mm sur les 46 dernières années à Bambey (42 % des cas)	pluie-besoins ou pertes permet de re-constituer les réserves profondes (alimentation hydrique des arbres, arbustes, haies) et de réalimenter les nappes peu profondes (tabler en moyenne sur 50 mm par an).	Arachide tardive semi-hâtive (120 à 105 jours)	550
Pluviométrie déficitaire	400 à 550 mm (28 % des cas)		Mil tardif type Sanio et Sorgho (120 j)	500 à 550 (estim.)
Pluviométrie exceptionnellement faible	350 à 400 (1968-1972-1973) (7 % des cas)		Arachide hâtive (90 jours)	405
			Mil hâtif type Souma (90 jours)	420
			Mil nain type GAA (75 jours)	320
			Sol non arrosé : hivernage (100 j) (sol dior) saison sèche (265j)	200 à 250 60 (pertes par évaporation)
Ressources souterraines	Nappe du Lutétien (20 à 50 m de profondeur) Pour ne pas épuiser rapidement le capital hydrique qu'elle représente on table sur une réalimentation (et donc sur une utilisation) de 50 mm/an	<ul style="list-style-type: none"> Irrigation complémentaire des cultures d'hivernage (appoint moyen de 100 mm) : serait possible sur 40 à 50 % des surfaces. Irrigation totale permanente possible sur 4 % des surfaces Combinaisons intermédiaires : 4 à 15 % environ 		Une culture à longueur d'année (cultures maraîchères successives, cultures fourragères...) aurait besoin de 2 000 mm environ
	Nappe du Maestrichtien (200 à 250 m) problèmes de qualité surtout et de coût de forage	doit permettre d'augmenter très notablement les pourcentages mentionnés ci-dessus		

- le contrôle du bilan hydrique général, pouvant déboucher sur une utilisation prudente et rationnelle des nappes peu profondes, pour l'irrigation en complément des pluies d'hivernage ou en contre saison. Nous allons d'ailleurs aborder maintenant ce point très important : l'amélioration du milieu par le recours à l'irrigation.

III-3 L'irrigation en complément des pluies et l'irrigation totale de contre-saison (au CNRA de Bambey) (publications n° 19, 23, 31, 39, 50, 51)

Chapitre rédigé avec l'aide de M. T. M. DUC, hydraulicien agricole.

Les ressources hydriques fluviales et souterraines sont loin d'être négligeables au Sénégal et peuvent contribuer de façon très appréciable à l'essor et à une plus grande régularité de la production agricole nationale. Nous passerons très rapidement sur l'utilisation des eaux du Fleuve Sénégal, liée à la concertation entre les Etats riverains et à la réalisation d'importants aménagements hydrauliques (travaux de M. RIJKS, Bioclimatologiste à l'OMVS-FAO).

En ce qui concerne l'utilisation des eaux souterraines, une opération originale a été décidée par le Gouvernement sénégalais et entreprise depuis 1973 par la Recherche et plus particulièrement par la Division d'hydraulique agricole du CNRA de Bambey. L'opération est basée sur l'aménagement de fermes irriguées de petites dimensions, utilisant les nappes souterraines. Parmi ces dernières, la nappe du Lutétien peu profonde et alimentée par les pluies excédentaires, dessert une zone assez vaste de la région de Diourbel - Bambey et Louga : cependant cette eau est caractérisée par des réserves très limitées et par un pouvoir pétrifiant élevé. Il existe une nappe beaucoup plus profonde (Maestrichtien) dont la puissance et l'étendue sont considérables, mais qui est malheureusement très salée. Dans la zone Centre Nord, dans l'immédiat, la nappe du Lutétien est celle qui devrait poser le moins de problèmes à l'utilisation, des points de vue profondeur et salinité.

Si l'irrigation était effectuée sur toute la surface concernée par la nappe du Lutétien, cette dernière serait épuisée en une seule campagne, ce qui bien entendu serait catastrophique pour l'alimentation humaine, animale et végétale (arbres notamment). S'appuyant sur certaines considérations et hypothèses bioclimatologiques et hydrogéologiques, la recherche estime que seulement 4 % de la surface totale pourrait être irriguée à longueur d'année et jusqu'à 15 % au maximum en système mixte comprenant irrigation en complément des pluies d'hivernage et irrigation totale en saison sèche (cultures maraîchères, fourragères et plantations fruitières).

Deux fermes "pilotes" fonctionnent depuis 1973 à Bambey : irrigation par aspersion d'un sol sableux, ferrugineux tropical (Dior) à partir de la nappe du Lutétien. Quant au programme de recherche, il aborde aussi les problèmes d'utilisation de la nappe du Maestrichtien, d'autres types de sol (Dok) et d'autres modes d'irrigation (goutte à goutte par exemple). Nous insisterons surtout sur les fermes "pilotes".

Chaque ferme, de superficie légèrement inférieure à 4 hectares, comprend 3 soles irrigables en complément des pluies (50 à 100 mm en général suffisent pour pallier les irrégularités pluviométriques) avec les cultures suivantes : mil, arachide, coton (0,3 hectare pour chaque culture) et 1 sole irrigable en contre-saison, c'est-à-dire pendant la saison sèche, avec les cultures maraîchères suivantes : tomates, oignons, aubergines, diakhatou, choux, etc.

Des arbres fruitiers, des cultures fourragères ou de diversification (gombo, niébé...), un élevage intégré à l'exploitation (boeufs pour la culture attelée) complètent ce système et contribuent à en assurer la rentabilité.

Outre l'excellente régularité des rendements des cultures classiques que permet l'irrigation de complément : plus de 3 tonnes d'arachide et de coton entre 2,5 et 3 tonnes de mil à l'hectare, les rendements suivants ont été atteints en saison sèche 1973-1974 :

Tableau n° 7

Saison	Spéculation agricole	Rendement maximum obtenu en tonnes/ha	Revenu brut en millions de francs CFA par hectare (base 73)
saison sèche	tomates en semis direct	109	1 520
	oignons	69	688
	aubergines	75	526
	choux	39	469
	diakhatou	37	309
saison des pluies	coton BJA	3,1	93
	mil souana	2,5	62
	arachide 59-127	3,3	100
divers	arbres fruitiers	pas encore en production	

Malgré le prix de revient élevé de l'eau qui était de 23 f le m³, base 1973-1974 et qui représente près de 56 % du total des dépenses (32 % constituent les charges variables et 12 % l'amortissement de l'équipement), le bilan financier de la ferme s'équilibre ; même au cours de la première année, pendant laquelle la surface prévue en cultures maraîchères n'avait pu être implantée entièrement, le revenu net par ferme a atteint 57 000 francs soit 22 500 par actif ; dès la seconde année, un revenu de 100 000 francs par actif est prévu. Enfin, dès que les arbres fruitiers seront productifs, un revenu de 170 000 f par actif devrait être atteint.

Alors que la rentabilité de ce type d'aménagement hydro-agricole n'était pas du tout évidente au départ et paraissait même très problématique, les résultats obtenus dès la première année sont encourageants et peuvent être encore très améliorés. Il s'agit donc d'une opération intéressante pour le SaneI qui va dans le sens d'une sécurité de la production et d'une régularité du travail, parallèlement à une augmentation sensible du revenu agricole.

C O N C L U S I O N

L'amélioration de l'agriculture sahélienne et sub-sahélienne se dessine nettement avec la conjonction d'espèces et de variétés à cycle végétatif très court, résistantes à la sécheresse et de techniques d'entretien et de travail du sol appropriées.

L'irrigation pratiquée avec sagesse et souci d'efficacité maximale peut apporter elle aussi une contribution très importante à la lutte contre la sécheresse.

Dans tous les cas, qu'il s'agisse d'une meilleure adaptation de l'agriculture au milieu naturel, ou d'une transformation bénéfique et irréversible du milieu (modification du paysage rural et irrigation), une économie permanente et toujours **attentive** de l'eau, doit être pratiquée.

L'expérience acquise nous montre que notre vigilance ne doit pas se relâcher, même avec le retour d'années pluvieuses. Au contraire et plus que jamais, un parti maximum doit être tiré de tout surplus hydrique, si faible soit-il, afin de reconstituer les réserves profondes du sol et des nappes et d'en faire bénéficier :

- le couvert arboré
- les cultures irrigables en saison sèche
- les cultures pluviales ultérieures qui peuvent **tirer parti** de l'eau stockée au cours des hivernages précédents ou d'irrigation complémentaire éventuelle.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - Aménagement du Territoire - 1967
 Quelques données agroplyuviométriques de 16 stations du Sénégal
 (Période 1932-1965)
 Minist. Plan et Développ. - Dakar, Avril 1967
- 2 - BOCKELEEE-MORVAN M., GAUTREAU J., MORTREUIL J.C., ROUSSEL O., 1974
 Résultats obtenus avec les variétés d'arachide résistantes à la sécheresse en Afrique de l'Ouest.
 Oléag. 29e année, n° 6, Juin 1974
- 3 - BOCKELEEE-MORVAN M., et GILLIER P., 1973
 Action d'un régulateur de croissance sur l'arachide au Sénégal.
 Oléag. 28e année, n° 10 Octobre 1973
- 4 - de BOODT M., VERPLANCKE M., de BISSCHOP F., 1973
 Soil conditioning and its effect on water use - note n° 37
 Symposium IAEA - SM . 176 - Vienne - 1-5 Octobre 1973
- 5 - CHAROY J., 1971
 Dynamique de l'eau dans les sols ferrugineux tropicaux d'origine danubienne de Tarna et application au mil, à l'arachide et au sol nu
 IRAT-Niger - Janvier 1971
 IRAT-France - 110 rue de l'Université - Paris VII
- 6 - CHARREAU C., 1963
 Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal
 Agron. Trop. XVI 5, 504-62
- 7 - CHARREAU C., NICOU R., 1971
 L'Amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-africaine et ses incidences agronomiques.
 Agron. Trop. 1971 n° 2, 5, 9, 11
- 8 - CHOPART J.L. et NICOU R., 1974
 Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal - Conséquences sur leur alimentation hydrique.
 Doc. multigraphié DGRST Sénégal - Mai 1974
- 9 - CHRISTIANSEN J., ASCE F., 1968
 Pan evaporation and evaporation from climatic data - Proceedings of the American Society of Civil engineers journal of the irrigation and drainage division - June 1968 - Traduction IRAT
- 10 - COCHEME J., FRANQUIN P., 1967
 A study of the agroclimatology of the semi arid area south of the Sahara in West Africa
 Rapport technique FAO-UNESCO-WMO Rome
- 11 - CONSELMAN F.B., 1974
 Operation waterstretch
 Symposium "frontiers of the semi-arid world" ICASALS - Lubbock Texas - 14-18 Octobre 1974
- 12 - DANCETTE C., 1966
 Détermination de la durée de l'hivernage utile à Bambeý
 in rapport bioclimatologie 1966 - IRAT/Sénégal et annexe de MAUBOUSSIN J.C., 1973

- 13 - DANCETTE C. et POULAIN J.F., 1968
Influence de l'Acacia albida sur les facteurs pédoclimatiques et les rendements des cultures
Sols Africains/African soils Vol. XIII, n° 3.
- 14 - DANCETTE C., MAUBOUSSIN J.C., MONNIER J., 1970
Production arachidière au Sénégal, premiers éléments pour une explication de ses variations annuelles.
Doc. multigraphié IRAT/Sénégal - CNRA Bambey
- 15 - DANCETTE C., 1970
Contrôle avec l'humidimètre à neutrons de l'alimentation hydrique du mil Souna pendant deux hivernages très différents.
Agron. Trop. Vol. XXVI n° 6-7 Juin-Juillet 1970
- 16 - DANCETTE C., 1972
Principales études de l'IRAT/Sénégal portant sur les caractéristiques hydriques et hydrodynamiques des sols et sur leurs aptitudes à l'irrigation.
Agron. Trop. Vol. 28 n° 9 Sept. 1973
- 17 - DANCETTE C., 1973
Mesures d'évapotranspiration potentielle et d'évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal - Orientation des travaux portant sur les besoins en eau des cultures
IRAT/Sénégal - CNRA Bambey - Mai 1973
- 18 - DANCETTE C., 1973
Les besoins en eau des plantes de grande culture au Sénégal
Coll. emploi des isotopes et rayonn.phys.sol, irrig.and drain.
AIEA Vienne, Octobre 1973
- 19 - DANCETTE C., TRAN MINH DUC, 1974
Travaux récents de l'IRAT/Sénégal portant sur les relations eau-sol-plante
DGRST - IRAT/Sénégal (Mai 1974. Réunion d'Agronomie IRAT-Paris
Juillet 1974
- 20 - DANCETTE C., et NICOU R., 1974
Economie de l'eau dans les sols sableux du Sénégal
Doc.provisoire - DGRST - IRAT/Sénégal - Réunion d'Agronomie
IRAT Juillet 1974
- 21 - DANCETTE C., 1974
Stades de sensibilité à la sécheresse et influence des stress hydriques sur deux variétés très différentes utilisés en riziculture pluviale
Doc. multigr. DGRST - IRAT/Sénégal - CNRA Bambey Sept. 1974
- 22 - DANCETTE C., MAUBOUSSIN J.C., NICOU R., TOURTE R., 1974
Pour une meilleure rentabilisation agricole des ressources pluviales dans les sols sableux d'Afrique tropicale sèche.
Comm.présentée au Coll. sur les frontières du monde semi- aride
ICASALS - Lubbock - Texas - 14-18 Octobre 1974
- 23 - DUC T.M., 1973 et 1974
Fiches d'action élémentaire de recherches de la Division d'Hydraulique agricole
IRAT/Sénégal - CNRA Bambey

- 24 - FENSTER C.R., 1974
Conservation tillage for the semi-arid world
Symposium "Frontiers of the semi-arid world" ICASALS -
Lubbock - Texas - 14-18 Octobre 1974
- 25 - FRYREAR D.W., 1974
Dryland farming sandy soils in a semi-arid region
Symposium "Frontiers of the semi-arid - world" ICASALS
Lubbock - Texas - 14-18 Octobre 1974
- 26 - GAUDEFROY-DEMOMBYNES P., CHARREAU C., 1963
Possibilité de conservation de l'humidité dans le sol pendant la saison
sèche; influence corrélative sur le degré d'ameublissement du sol.
Agron. Trop. XVI 3, 238-54
- 27 - GAUTREAU J., 1970
Etude comparative de la transpiration relative chez deux variétés
d'arachide.
Oléag., 25e année, n° 1.
- 28 - GAUTREAU J., 1973
Influence des facteurs climatiques sur la croissance et le développe-
ment d'une arachide hâtive.
IRHO - CNRA Bambey - Oléag. 28e année, n° 12, Déc. 1973
- 29 - GIBBON D. et coll., 1974
Dryland crop production in Botswana - a review of research 1969-1974
Symposium "Frontiers of the semi-arid - world"
ICASALS - Lubbock, Texas - 14-18 Oct. 1974
- 30 - GIGOU J., 1972
Régularité des précipitations et cycles cultureux en Côte d'Ivoire.
Sémin. intern. irrig. Ibadan Nigeria, Oct. 1972
- 31 - GILLET N., DUC T.M. et coll., 1973
Esquisse d'une unité de production en cultures irriguées pour le Centre
Nord du Sénégal
IRAT/Sénégal - CNRA Bambey - Janvier 1973
- 32 - IRAT/Niger, 1974
La sécheresse dans le Sahel - Cas du Niger
Doc. multigr. 1974
- 33 - IRAT/Sénégal (BIRIE HABAS J., et coll.) 1973
La recherche agronomique face à la sécheresse
Doc. multigr.- exposés conférences visite Président L.S.SENGHOR
CNRA Bambey, Janvier 1973
- 34 - IRAT/SENEGAL, 1973
Projet d'études pluviométriques appliquées à l'agriculture sénégalaise:
A - Analyse fréquentielle des pluies
B - Application possible: station d'avertissement agro-météorologique.
Doc. multigr. IRAT/Sénégal, CNRA Bambey, Avril 1973
- 35 - KRISHNAMOORTHY CH. et coll., 1974
Dryland agriculture in the economy of India
Symposium "Frontiers of the semi-arid world" ICASALS
Lubbock - Texas - 14-18 Oct. 1974

- 36 - LANDSBERG H.E., 1973
 Statistical characteristics of the annual rainfall totals at Bambey and Ziguinchor (Sénégal)
 National science Foundation (atmosph. Sciences section) Grant n° GA 29304 x - University of Maryland - College Park
- 37 - MAUBOUSSIN J.C., 1973
 Les objectifs de l'amélioration variétale face aux contraintes du milieu
 Doc. multigr. IRAT/Sénégal - CNRA Bambey
- 38 - METEOROLOGIE DU SENEGAL (Division dirigée par M. SECK M.), 1973
 Approche d'une analyse de l'évolution de la pluviométrie au Sénégal, depuis plus d'un siècle.
 Division de la météorologie, Direction des Transports, Ministère T.P.U.T. Sénégal
- 39 - MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL (M.D.R.), 1973
 Programme préliminaire de mise en valeur d'une zone semi-aride au Sénégal, par irrigation à partir de forages - Mars 1973
- 40 - NICOU R., 1974
 Le problème de la prise en masse à la dessiccation des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche.
 Doc. multigr. IRAT/Sénégal - CNRA Bambey
- 41 - PENMAN, 1948
 Natural evaporation from water, bare soil, and grass
 Proceedings, Royal Society - London serie A volume 193
- 42 - RIJKS D., 1972
 Compte-rendu des études portant sur l'analyse de la régularité des pluies dans le bassin du fleuve Sénégal.
 OMVS - FAO - Mars 1972
- 43 - RIJKS D., 1974
 Données météorologiques recueillies à Richard Toll, Guédé et Samé 1970 à Mai 1974 (4 rapports)
 OMVS - FAO - DAKAR.
- 44 - RIJKS D., 1974
 Les besoins en eau des cultures (Compte-rendu des travaux réalisés à Guédé et à Kaédi - 1971-1974 - Projet pour le développement de la recherche agronomique et de ses applications dans le bassin du fleuve Sénégal. D.T. 130 - Juillet 1974
- 45 - SECK M.
 Etude des principaux facteurs agrométéorologiques au Sénégal
 Agron. Trop. Vol. XXV, n° 3 - Mars 1970
- 46 - SENE D., et DANCETTE C., 1973
 Sauvetage de la zone Nord de la région de Diourbel
 IRAT-Sénégal - Oct. 1973
- 47 - SENE D. et coll., 1973
 Rapport de synthèse 1972 des activités de l'IRAT Sénégal
 Doc. multigr. IRAT/Sénégal - CNRA Bambey pp. 29-40

- 48 - SCHOCH P.G., 1966
Influence de l'évapotranspiration potentielle d'une ~~strate~~ arborée
au Sénégal et conséquences **agronomiques**
Agron. Trop. Nov. 1966
- 49 - TOURTE R. et coll., 1974
Idées de recherches pour une opération de relance de l'agriculture
sahélienne - Proposition pour l'immédiat
DGRST - IRAT/Sénégal - Février 1974
- 50 - TOURTE R. et coll., 1974
Rapport de synthèse 1973 des activités de l'IRAT/Sénégal
Doc. multig. IRAT/Sénégal - CNRA Bambey
- 51 - VAN EEDEN P.J., 1970
Irrigation requirements of south Africa **crops**
Farming in S.A. (Pretoria) vol. 46 n° 2.