

C N O 1 0 0 3 2 1  
P 4 2 1  
D A N

1 9 7 8 / 1 7

CD/AD  
REPUBLICQUE DU SENEGAL  
PRIMATURE

DELEGATION GENERALE  
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

BESOINS EN EAU ET ADAPTATION DU MIL A LA  
SAISON DES PLUIES, AU SENEGAL.

Par

C. DANCETTE

Février 1978

Centre National de Recherches Agronomiques  
de BAMBEY

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

## Avertissement au lecteur

Cette étude a été réalisée grâce à la participation du personnel du service de Bioclimatologie :

### M. Sitor NDOUR

Observateur principal du service, responsable de la conduite des essais, manipulateur de l'humidimètre à neutrons et calculateur ;

### M. Ndongo NGOM

Observateur agroclimatologique manipulateur de l'humidimètre à neutrons et calculateur ;

### M. Amadou THIAM . ,

Observateur météorologique, chargé notamment des mesures d'accompagnement climatique (pluviométrie, demande évaporative etc...)

### M. Bounama SENE

Ouvrier agricole, chargé des travaux de culture et animateur des équipes de temporaires ; maintenant retraite.

Mous tenons à les remercier de leur total engagement et de la qualité de leur travail.

BESOINS EN EAU ET ADAPTATION DU MIL A LA SAISON DES  
PLUIES, AU SENEGAL

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
INTRODUCTION :.....	1
I - BESOINS EN EAU DU MIL (E.T.M.) MESURES AU CNRA DE BAMBEY .....	2
1.1 - Conditions générales.....	2
1.2 - Principaux résultats . . . . .*	3
1.3 - Variations inter-annuelles de l'E.T.M. globale, pour une même variété. . . .*	3
1.4 - Variations de l'ETM du mil et des facteurs culturels K, au cours d'un même cycle cultural..	6
II- GENERALISATION DES RESULTATS A L'ECHELLE DU SENEGAL..	8
II.1- Méthode .....	8
II.2- Critiques .....	Y
III- QUELQUES COMMENTAIRES ET APPLICATIONS . . . . .*	10
III.1- Potentialités des variétés de mil actuelles dans le Centre du Sénégal.~.....	10
III.2- Influence des stress hydriques sur la production de mil . . . . .*	11
III.3- Cartes d'adaptation du mil aux conditions pluviales .....	13
III.4- Suivi de la campagne agricole et explication de la production .....	14
Conclusion .....	15
- BIBLIOGRAPHIE .....	16

## R E S U M E

Les besoins en eau du mil (Pennisetum typhoides) ont été mesurés au CNRA de Bambey, entre 1973 et 1977. Des variétés de 75, 90 et 120 jours ont été testées. En gros, les besoins en eau sont directement proportionnels à la durée du cycle végétatif. En ce qui concerne les rendements en grain et en paille, les choses sont beaucoup moins simples, surtout si on considère la quantité d'eau nécessaire pour produire un kilo de matière sèche. Les résultats sont interprétés dans une optique d'économie de l'eau et d'adaptation aux conditions pluviométriques marginales. On ne se borne pas à l'énumération des résultats obtenus ponctuellement, mais on essaye de les généraliser à l'ensemble du Sénégal, à partir de la caractérisation de la demande Qvaporative (gradient Nord-Sud notamment).

L'alimentation hydrique n'est pas étudiée seulement en conditions optimales (avec irrigation complémentaire, pour la mesure des besoins en eau optimaux ou E.T.M.) mais aussi en conditions hydriques limitantes ; l'incidence des stress hydriques sur les rendements en grain et paille est chiffrée lorsque les conditions pluviométriques et les variétés s'y prêtent. Quelques orientations de travail sont données quant à l'utilisation pratique au niveau de la Recherche et du Développement, des résultats obtenus.

Mots clé ; Mil pénicillaire, évapotranspiration maximale (E.T.M.) et réelle (E.T.R.), demande Qvaporative, bac normalisé classe A, stress, durée de cycle, satisfaction des besoins, courbe de réponse, carte d'adaptation, Sénégal.

## INTRODUCTION

Le mil pénicillaire (Pennisetum typhoides) constitue la céréale de base du Sénégal, au point de vue alimentaire. On estime ainsi, en Pays Sérère, qu'il faut en moyenne 400 grammes de mil par jour et par personne, pour satisfaire les besoins de nourriture (A.F. BILQUEZ - 1975) ; cultivés sur plus de 600.000 hectares, ces mils ont des rendements très médiocres (520 kilos par hectare, en moyenne), alors que les arachides peuvent dépasser couramment 1.000 kilos de gousse par hectare, soit autour de 730 kilos de graine.

Si l'incitation à produire du mil est forte pour les paysans, en ce qui concerne l'auto-consommation, elle est par contre faible actuellement sur le plan financier (36 francs CFA le kilo de grain pour le mil, au lieu de 42 francs le kilo de gousse d'arachide, sur le marché officiel en 1977 avec, nous l'avons vu, des rendements bien plus faibles. Il n'en demeure pas moins que le cultivateur a toujours intérêt à améliorer ses rendements de mil, soit pour se garantir une meilleure autosuffisance alimentaire, soit pour consacrer des superficies plus randes à des cultures plus rentables (arachide, coton, niébé... 3 De plus, la situation du mil pourrait évoluer très vite, dans un sens favorable à la fois pour l'Etat et pour le cultivateur, par la politique des prix d'une part et par l'amélioration de la technologie du mil d'autre part (stockage, battage, broyage, utilisation pour la panification etc...).

Sur le plan purement agronomique, l'augmentation des rendements de mil peut être très raisonnablement envisagée à partir des efforts actuels de la recherche, dans les domaines de la sélection, des techniques culturales, de la fertilisation et des traitements phytosanitaires entre autres.

Les besoins en eau du mil et l'adaptation rationnelle de cette culture aux conditions sénégalaises de sol et de pluviométrie, font l'objet de la présente communication. La connaissance des besoins en eau optimaux, ou évapotranspiration maximale E.T.M., et de la courbe de réponse du mil aux stress hydriques subis pendant son cycle de végétation, conditionne en particulier, une meilleure compréhension de la production du mil et par là, de meilleurs choix (variétés, techniques culturales...), au niveau de la recherche et de la vulgarisation,

# I - BESOINS EN EAU DU MIL (E.T.M.) MESURES AU CNRA DE BAMBEY

## 1.1 - Conditions générales

Les besoins en eau du mil ont été mesurés entre 1973 et 1977, au CNRA de Bambeï, dans la zone centrale du Sénégal. Les variétés testées avaient des longueurs de cycle végétatif de 75, 90 et enfin 120 jours.

Les cultures étaient réalisées en grandes parcelles de 196 m<sup>2</sup> (4 répétitions) et en bonnes conditions agronomiques (fumure forte préconisée, labours, traitement phytosanitaire, propreté, gardiennage contre les oiseaux etc...). Le sol était qualifié de "sableux, ferrugineux tropical, faiblement lessivé, d'appellation vernaculaire : DIOR", et profond.

Les écartements étaient ceux recommandés par la recherche et par la vulgarisation : 100 cm sur 100 cm pour le mil souna de 90 jours en 1973 et 1974 ; 50 cm sur 20 cm en 1974, puis 45 cm sur 15 cm en 1975, pour le mil nain de 75 jours du G.A.M. (Groupe d'Amélioration des Mils) ; 90 cm sur 90 cm en 1976, puis 100 cm sur 100 cm en 1977, pour les mils sanio de 120 jours.

L'irrigation en complément des pluies était réalisée par aspersion au moyen de sprinklers d'angle, à secteur réglable ; les apports d'eau étaient contrôlés au moyen de pluviomètres installés juste au dessus de la végétation.

Les bilans de consommation étaient effectués de deux façons différentes :

a/- En place, au moyen de tubes d'accès de 4 mètres de profondeur et de relevés périodiques (hebdomadaires le plus souvent) d'humidité du sol au moyen d'humidimètres à neutrons français ou américains, fournis par l'Agence Internationale à l'Energie Atomique (A.I.E.A.), par la Coopération française (assistance spéciale GERDAT) et enfin par le Centre d'Energie Nucléaire de Cadarache (France). A chaque campagne, on partait d'un sol asséché au maximum, sur la plus grande profondeur possible. En 1976 et 1977, les flux ont été contrôlés par des tensiomètres "soil moisture" (aide A.I.E.A.) installés soit verticalement jusqu'à 150 cm de profondeur, soit horizontalement, de 150 à 400 cm de profondeur, à partir d'une fosse. Les mesures de bilan hydrique ont été très facilitées par des saisons des pluies exceptionnellement déficitaires et telles que le sol n'était pas humecté profondément (moins de 250 cm et le plus souvent moins de 150 cm). Le bilan hydrique pouvait donc être maîtrisé facilement au moyen d'irrigations non excessives, sans percolations incontrôlées et sans ruissellement (lames verticales de protection autour des tubages),

b/- Au moyen de cuves de végétation (évapotranspiromètres) de 4 m<sup>2</sup> de surface et 1 mètre de profondeur. Dans l'ensemble, après une première campagne "à blanc" de mise en place et de contrôle (en 1972), les évapotranspiromètres qui étaient prévus pour relayer éventuellement la 1ère méthode "en place", en cas de pluies excédentaires ou même normales et de percolations incontrôlables, n'ont pas donné de résultats très différents de cette première méthode de bilan hydrique. Il apparaît même, au terme de ces cinq années déficitaires en pluie, que nous aurions pu nous dispenser de l'utilisation des évapotranspiromètres, ce qui n'était pas évident au départ et qui pourrait être infirmé par des saisons plus pluvieuses. A noter que des tubages d'accès pour sonde à neutrons, étaient installés au

milieu des cuves et permettaient? de faire des bilans classiques de consommation, en attendant un drainage gravitaire naturel des cuves. En effet, il s'avère que la saturation des cuves dès le début de la culture, afin d'assurer le drainage et de procéder au bilan classique, n'est pas souhaitable et peut induire des différences de traitement et donc de comportement des plantes, par rapport au reste de la parcelle de garde.

En plus du traitement E.T.M., il y avait aussi un traitement E.T.R. (évapotranspiration réelle) sans irrigation de complément et qui pouvait donc être plus ou moins stressé, selon les pluies reçues. Nous en reparlerons à propos de la satisfaction des besoins en eau du mil.

1.2 - Principaux résultats

Nous en donnerons un résumé seulement. En effet, d'autres résultats partiels mais détaillés, peuvent être consultés par ailleurs en ce qui concerne les mils à cycle court (DANCETTE 1975). Dans le tableau qui suit, les chiffres indiqués sont une moyenne de 4 répétitions ; précisons à ce sujet que les coefficients de variation sont le plus souvent inférieurs à 10 % pour les consommations hydriques globales et pour les rendements en grain et en paille (voir le tableau n° V). Les rendements en grain sont parfois moins homogènes que ceux en paille, car les dégâts dus aux oiseaux ne peuvent pas toujours être complètement évités.

1.3 - Variations inter-annuelles de l'ETM globale, pour une même variété de mil.

D'une année à l'autre et avec la même variété testée, on peut noter des différences dans les besoins en eau mesurés. Il peut y avoir certes de légères modifications dans les pratiques culturales, dans la répartition des pluies et irrigations et dans le parasitisme, mais ce qui peut varier surtout, c'est la demande évaporative. C'est pourquoi nous estimons jour par jour cette demande évaporative, au moyen de mesures d'évaporation potentielle d'eau libre, en bac normalisé classe A (modèle O.M.M.) et nous la raccordons pour des périodes correspondantes, aux consommations hydriques des cultures.

Ainsi, nous l'avons mesurée de 1972 à 1977 compris, pour des durées de 75, 90, 105 et 120 jours, correspondant aux cycles végétatifs des principales cultures. Dans le tableau n° II, nous avons reporté les cumuls d'évaporation bac en mm, pour les périodes mentionnées, et entre parenthèses, un indice qui caractérise cette demande évaporative, par rapport à la moyenne 1972 - 1977. Notons que les coefficients de variation vont de 5 % pour des durées de 120 jours, à 7% pour des durées de 75 jours.

Pour toute comparaison, l'idéal est donc de prendre comme référence cette évaporation bac. Si on compare ainsi les 2 cultures de mil sanio de 120 jours, on constate que les besoins en eau ont été :

en 1976, de 562 mm, pour une évaporation bac de 774 mm et un indice de 0.95

en 1977, de 628 mm, pour une évaporation bac de 812 mm et un indice de 1.03.

Culture	Traitement	ETM ou Besoins en eau en mm	Rendements en kg/ha et (humidité)		
			Grain	Rachis	Paille
MIL SANIO 120 jours - 1976 (souche Maka) Pluie = 399 mm	Arrosé (E.T.M.) i = 215 mm	562 $\frac{E.T.M.}{Ev_{Bac}} = 0,75$	2035 (7,5%)	1426 (10,1)	13 950 (3,2)
MIL SANIO 120 jours - 1977 (souche Bambey) Pluie = 374 mm	Arrosé (E.T.M.) i = 283	628 K = 0,77	1623 (3,5)	1388 (4,0)	14 425 (7,5)
MIL SOUNA III 90 jours - 1973 Pluie = 400 mm	Arrosé (E.T.M.) i = 68 mm	417 K = 0,72	2690 (7,8)	1360 (7,8)	6 680 (4,3)
MIL SOUNA III 90 jours - 1974 Pluie = 492 mm	Arrosé (E.T.M.) i = 73 mm	416 K = 0,74	2948 (5,4)	1600 (5,4)	5 760 (5,2)
MIL G.A.M. 75 jours - 1974 Pluie = 447 mm	Arrosé (E.T.M.) i = 51 mm	320 K = 0,67	2151 (9,0)	2165 (9,0)	5 943 (8,4)
MIL G.A.M. 75 jours - 1975 (structure "céréalière") Pluie = 510 mm	Non arrosé (pluies excédentaires)  ETR = $\leq$ TM	327  K = 0,63	1721 (9,2)	1395 (9,2)	5 652 (10,2)

Tableau n° I : Principaux résultats obtenus sur les mils de 120 à 75 jours de cycle

Année / Période	1972	1973	1974	1975	1976	1977	Moyenne 1972-77
75 jours	550 (1,12)	486 (0,99)	477 (0,98)	438 (0,90)	489 (1,00)	496 (1,01)	489
90 jours	631 (1,10)	583 (1,02)	564 (0,99)	523 (0,91)	560 (0,98)	573 (1,00)	572
105 jours	722 (1,06)	702 (1,03)	695 (1,02)	620 (0,91)	648 (0,95)	687 (1,01)	679
1120 jours	811 (1,03)	817 (1,04)	809 (1,03)	714 (0,91)	744 (0,95)	812 (1,03)	785
Date de 1 <sup>ère</sup> pluie utile	15 Juin	2 Juil	12 Juil	7 Juil	13 Juil	17 Juil	

Tableau n° II : Evaporation d'eau libre en bac normalisé classe A, cumulée en mm, à Bambey

Cependant, le coefficient global  $K = \frac{ETM}{Ev \text{ Bac}}$  reste voisin = 0.75 en 1976 et 0.77 en 1977. En se ramenant à la demande Qvaporative moyenne (1972-1977) et à l'indice 1.00, on trouve respectivement des besoins hydriques de :

$$\frac{562}{0.95} = \underline{592} \text{ mm en 1976 et } \frac{628}{1.03} = \underline{610} \text{ mm, en 1977 ;}$$

les résultats deviennent donc très comparables et voisins, avec des écarts, bien en dessous des erreurs d'ordre expérimental possibles : besoins en eau mesurés en gros à  $\pm 8 \%$  près, lorsque le maximum de précautions est pris,

Bien que les variations de demande Qvaporative d'une année à l'autre, soient de cet ordre de grandeur et même inférieures, ce n'est pas une raison suffisante pour ne pas en tenir compte lorsqu'on le peut. Ainsi, les besoins en eau globaux peuvent être actuellement évalués de la sorte, en les ramenant à la demande évaporative moyenne (1972-1977).

Mil Sanio de 120 jours :

On fera la moyenne entre 592 et 610 mm, soit en gros 600 mm

Mil Souna de 90 jours :

On retiendra la moyenne entre  $\frac{417}{1.02} = 409$  et  $\frac{416}{0.99} = 420$   
soit environ 415 mm

Mil Nain de 75 jours :

Là, les écarts sont un peu plus grands, compte tenu du fait que les variétés n'étaient pas encore bien fixées en 1974 et 1975 et qu'entre ces 2 années, on avait changé de matériel végétal, en

adoptant un composite d'architecture légèrement différente (structure dite "céréalière"). On peut cependant retenir valablement la moyenne entre :

$$\frac{320}{0.98} = 327 \text{ et } \frac{327}{0.90} = 363, \text{ soit } \underline{\underline{34.5 \text{ mm}}}$$

De la même façon, nous pouvons caractériser les extrêmes, compte tenu des demandes  $Q_{\text{vaporatives}}$  les plus fortes et les plus faibles, enregistrées au cours de ces 6 années. On retiendra en définitive les chiffres suivants, en attendant de disposer d'une période d'observation plus longue.

	E.T.M. minimale	E.T.M. moyenne	E.T.M. maximale
Mil Sanio de 120 jours	546	600	624
Mil Souna de 90 jours	378	415	457
Mil Nain de 75 jours	311	345	386

Tableau n° III

Ceci peut être mis sous forme graphique (graphique n° 1)

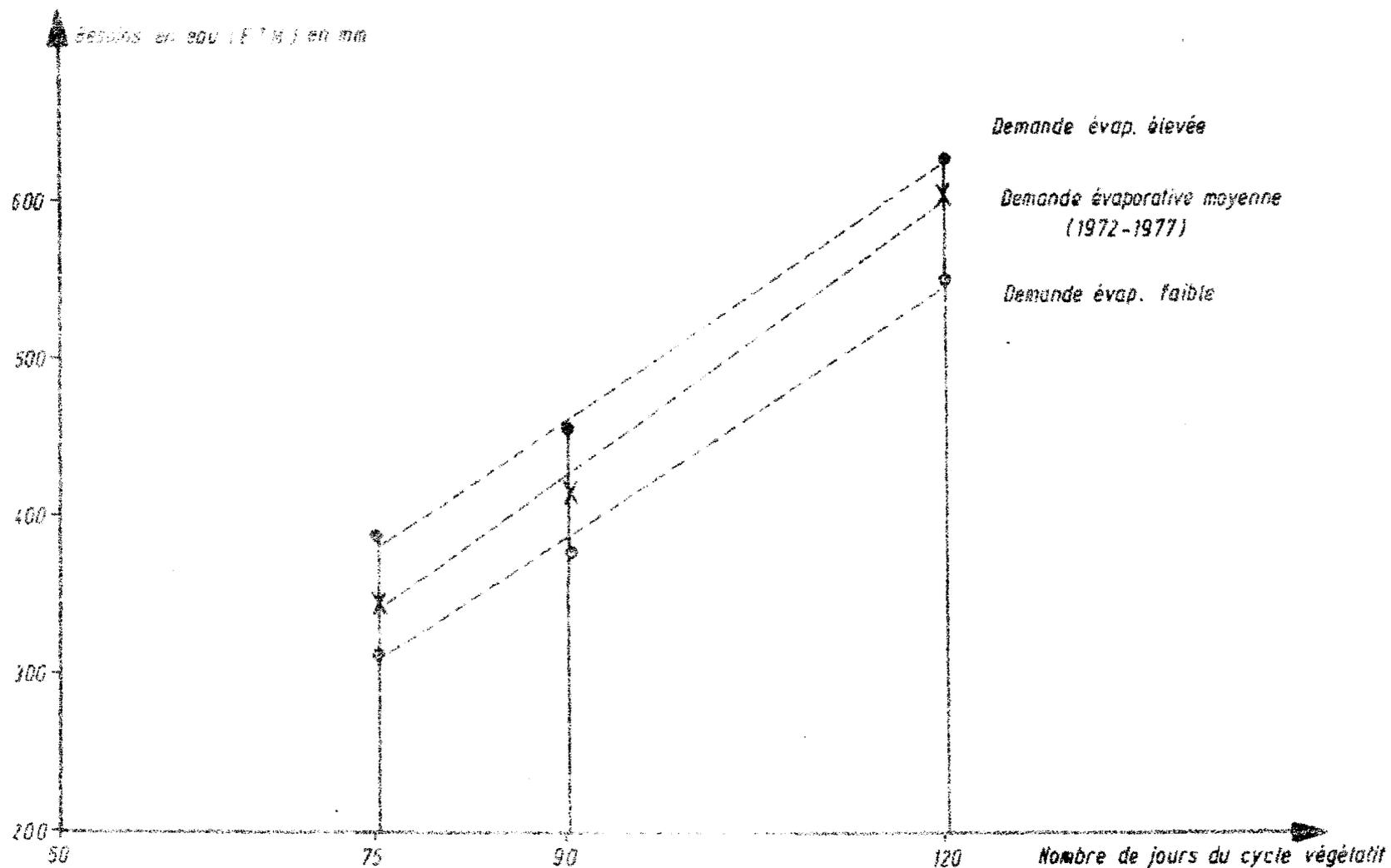
#### 1.4 - Variation de l'ETM du mil et des facteurs culturaux K, au cours d'un même cycle cultural

La demande évaporative varie au cours de la saison des pluies : très forte au début (jusqu'à 8 mm par jour d'évaporation bac à Bambey; en Juin), elle diminue ensuite avec l'installation des pluies et avec l'augmentation de l'humidité ambiante (4 à 4.5 mm/jour en Septembre), puis elle remonte avec le ralentissement des pluies (7 à 8 mm en Octobre).

Elle peut subir des fluctuations brusques, du fait des sécheresses anormales en cours de saison, ou au contraire, de phases pluvieuses surabondantes.

Quant aux besoins en eau, ils varient surtout en fonction du degré et de la rapidité de couverture du sol nu au départ de la culture, par la végétation : ainsi, des variétés très précoces (croissance et développement accélérés) ou semées à des densités fortes, couvrent plus rapidement le sol que d'autres, et expriment des besoins hydriques plus importants. Ces besoins en eau décroissent aussi avec le vieillissement de la culture ; or ce vieillissement peut coïncider avec une demande évaporative faible, au coeur de la saison des pluies, pour une variété très hâtive comme le mil de 75 jours, ou au contraire coïncider avec une demande  $Q_{\text{vaporative}}$  de plus en plus élevée, en fin de saison des pluies, pour une variété de cycle long, comme un mil de 120 jours.

C'est pourquoi, là encore, il convient de ramener les besoins en eau à la demande évaporative (évaporation d'eau libre en bac normalisé classe A) et de calculer les coefficients  $K = \frac{E.T.M.}{E_v \text{ Bac}}$ ,



VARIATIONS DES BESOINS EN EAU GLOBAUX DU MIL EN FONCTION DE LA DUREE DU CYCLE

VEGETATIF ET DE LA DEMANDE EVAPORATIVE

CNRA BAMBEY

GRAPHIQUE N° 1

tout au long du cycle. Nous avons donc fait cela, pour les trois sortes de mil testées et pour des périodes successives de 15 jours, ce qui donne le tableau suivant (n° IW). Comme chaque type de mil a été testé au moins pendant 2 années successives, nous avons comparé les coefficients K obtenus et retenu une valeur moyenne caractéristique.

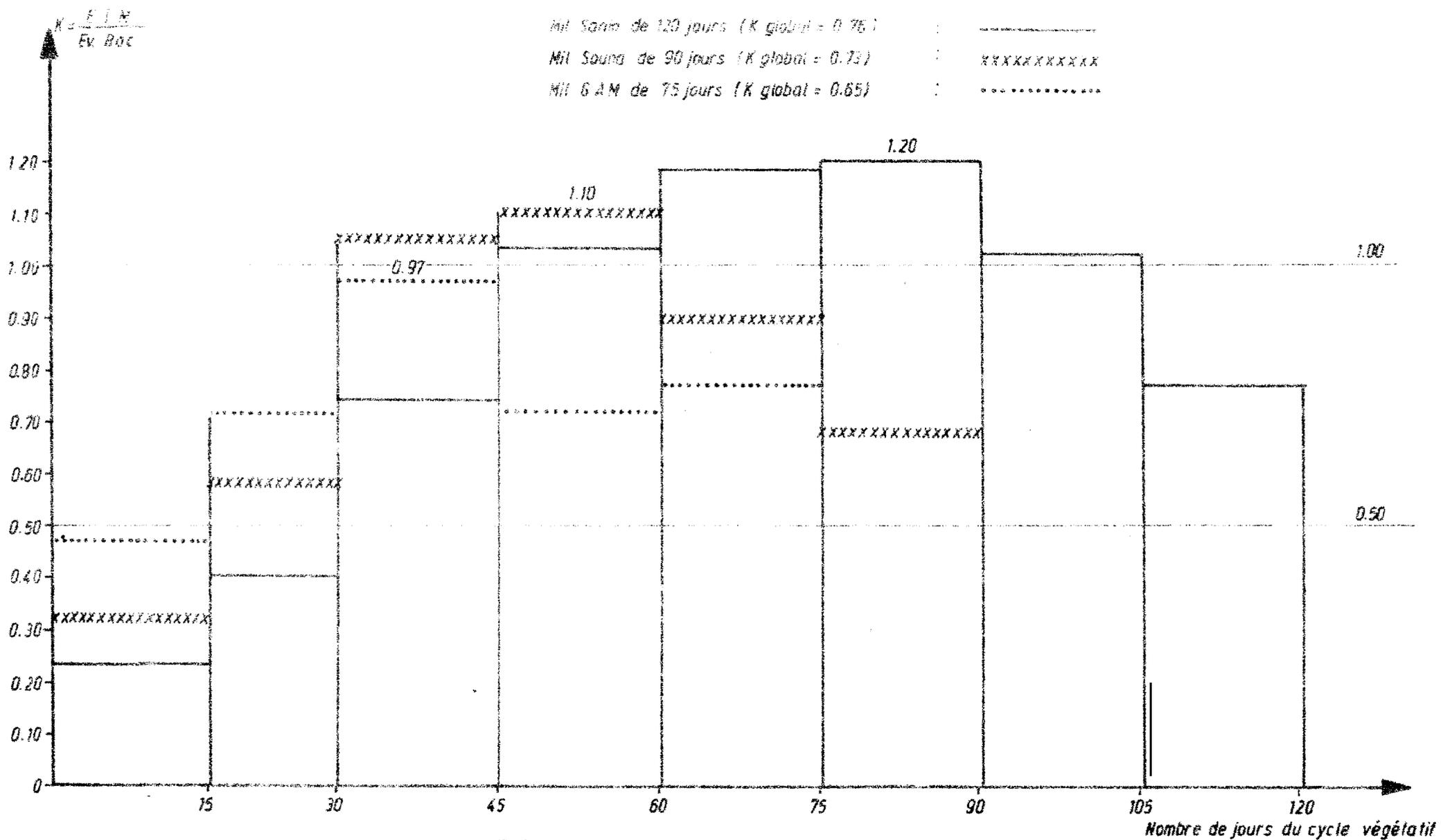
Période en jours	Mil Sanio 120 jours			Mil Souna 90 jours			Mil GAM, Nain 75 jours		
	1976	1977	Valeur reten	1973	1974	Valeur reten	1974	1975	Valeur reten
0-15	0.15	0.30	0.23	0.26	0.38	0.32	0.44	0.49	0.47
15-30	0.35	0.44	0.40	0.49	0.66	0.58	0.61	0.80	0.71
0-30	0.25	0.37	0.31	0.38	0.52	0.45	0.53	0.65	0.59
30-45	0.77	0.70	0.74	1.09	1.01	1.05	0.84	1.10	0.97
45-60	1.07	0.99	1.03	1.26	0.94	1.10	0.79	0.65	0.72
30-60	0.92	0.84	0.88	1.18	0.98	1.08	0.82	0.88	0.85
60-75	1.12	1.24	1.18	0.98	0.82	0.90	0.75	0.80	0.77
75-90	1.24	1.15	1.20	0.72	0.65	0.69			
60-90	1.18	1.20	1.19	0.85	0.74	0.80			
90-105	1.09	0.94	1.02						
105-120	0.71	0.82	0.77						
90-120	0.90	0.88	0.89						

Tableau n° IV : Evolution des coefficients  $K = \frac{L.F.TM}{Ev Bac}$  au cours du cycle, pour des variétés de mils de 75 à 120 jours

Le graphique n° II dans lequel ne sont utilisées que les valeurs de K retenues, met très bien en évidence les différences entre les 3 sortes de mil. On remarquera en particulier les valeurs maximales de K, atteintes :

- 1.20, pour le mil Sanio ; 1.10 pour le mil Souna ; 0.97 pour le mil G. A. M.

De la même façon, nous avons vu dans le tableau 1, que les coefficients K globaux étaient de l'ordre de 0.76 pour le mil Sanio ; 0.73 pour le mil Souna et 0.65 pour le mil GAM. Il semble que ces 2 faits soient liés à la taille respective de ces mils : les mils Sanio sont très hauts (plus de 3,5 mètres), les mils Souna sont inter-médiaires (2 à 2,5 mètres) et les mils Nains ont autour d'1,0 mètre de haut. De plus, alors que la surface d'un champ de mil Sanio est très irrégulière (en vagues), celles du mil Sanio et surtout du mil GAM sont beaucoup plus homogènes : tous ces facteurs font que les advections d'énergie sont certainement plus élevés pour le Sanio que pour les autres cultures et que les besoins en eau sont ainsi majorés. Il n'est cependant pas évident que les mêmes résultats soient trouvés en très grandes parcelles (plus d'un hectare) où les advections d'énergie seraient probablement réduites. Ceci repose en fait le problème



EVOLUTION DES COEFFICIENTS  $K = \frac{ETM}{Ev. Bac}$  AU COURS DU CYCLE DE 3 VARIETES DE MIL, DE 75, 90 ET 120 JOURS

de l'échelle de la caractérisation agroclimatique : petite parcelle, champ, zone écologique ? Mais il se peut aussi que les différences trouvées, soient vraiment liées à la physiologie ou à l'architecture des plantes testées, ce qui reste à démontrer y la vérité se trouve peut-être entre ces diverses hypothèses.

A partir des valeurs K retenues et de l'évaporation du bac normalisé classe A, par quinzaines de jours successives et moyennées sur la période 1972-1977, à compter de la date de démarrage de la culture, il devient possible de comparer valablement les trois variétés : graphique n° III. De cette comparaison ressortent très bien les besoins en eau supérieurs pour les variétés de cycle court, en début de culture, et pour les variétés de cycle plus long, en fin de campagne.

II - GENERALISATION DES RESULTATS A L'ECHELLE DU SENEGAL

II.1 - Méthode

On sait qu'au Sénégal, la demande Qvaporative varie au cours d'une même période, en allant du Nord vers le Sud et même de la côte vers l'intérieur des terres. Elle est élevée vers le Nord et plus faible vers le Sud ; elle augmente en allant à l'intérieur du Continent. Cette demande évaporative est bien sûr en liaison avec l'humidité de la zone, c'est-à-dire avec le facteur pluie, principal responsable de l'humidification.

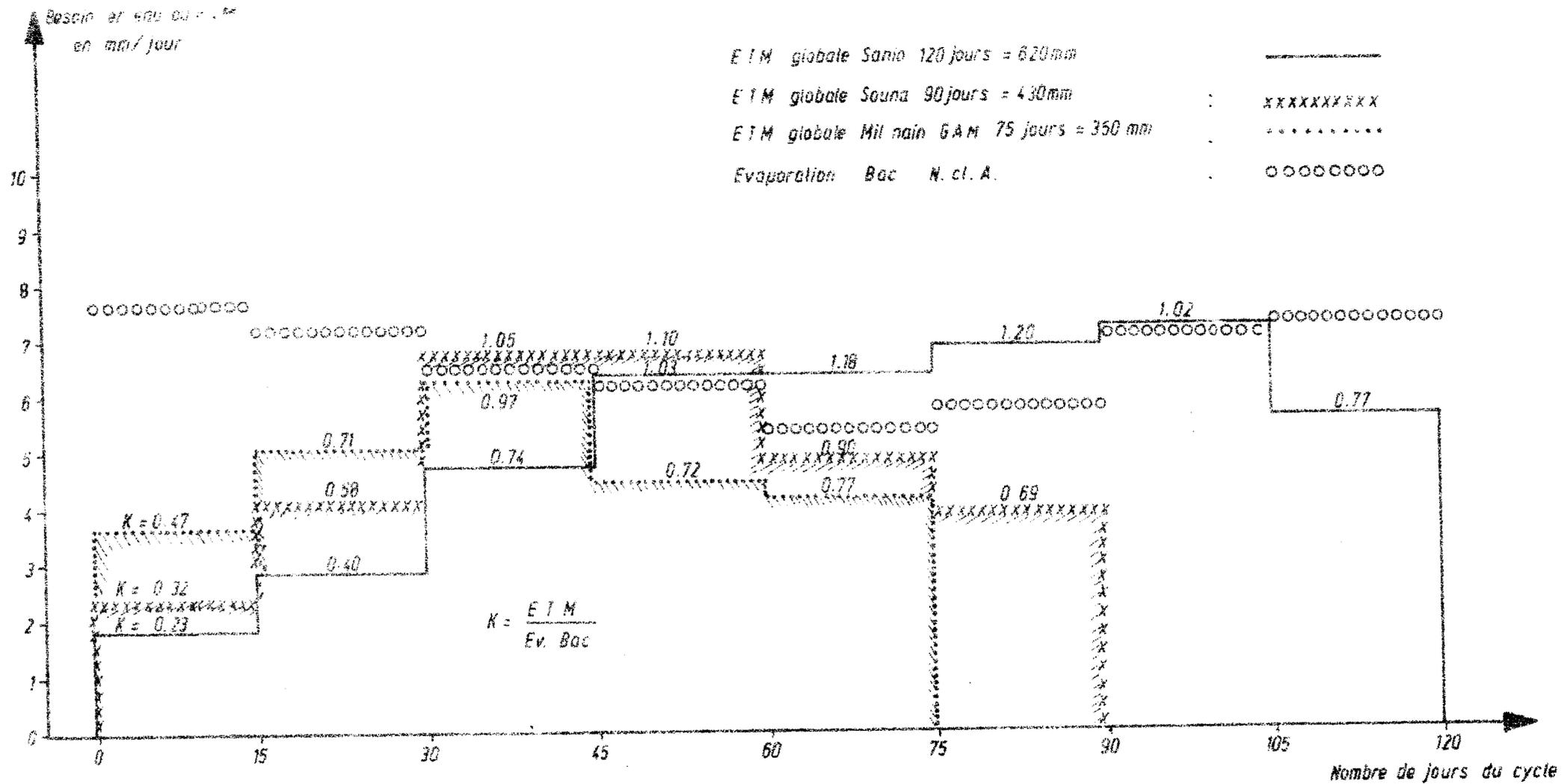
La remontée du Front Inter-Tropical, vers le Nord, amène des masses d'air humide ; les pluies s'installent et humectent le sol. La végétation commence à couvrir le sol et l'évapotranspiration des cultures contribue, de même que les conditions caractéristiques de la saison des pluies (diminution des durées d'insolation et des températures, augmentation de l'humidité relative de l'air, réduction de la vitesse des vents...) à réduire la demande évaporative.

Des corrélations négatives entre les quantités de pluie reçues et l'évapotranspiration potentielle mesurée sur gazon (DANCETTE 1973), entre la pluie et l'évaporation potentielle d'eau libre en bac normalisé classe A (DANCETTE 1977), ont pu être établies et permettent de caractériser localement la demande évaporative pendant la saison des pluies. Ceci était essentiel pour nos travaux d'adaptation des cultures pluviales, basés sur la généralisation à l'ensemble du Pays, de mesures de besoins en eau réalisées ponctuellement. On peut ainsi valoriser un réseau pluviométrique relativement dense et ancien, ce qui n'est pas le cas du réseau de mesure de l'évaporation.

En ce qui concerne les relations entre la pluvionétrie et l'évaporation Bac, elles sont mensuelles ou globales pour la durée de la saison des pluies, et du type :

$$\underline{Ev \text{ Bac} = A + Bx + CY + DZ}$$

- où X est la pluviométrie du mois ou de la saison considérée
- Y est la pluviométrie moyenne annuelle de la station (liaison avec la latitude)
- Z est la continentalité, c'est-à-dire la distance séparant la côte Océanique de la station (liaison avec la longitude surtout).



BESoins EN EAu COMPARES DE TROIS VARIETES DE MIL, A BAMBEY, RAMENES A UNE DEMANDE

EVAPORATIVE MOYENNE (1972-1977)

GRAPHIQUE N° III

Ce type de relation est déterminé pour des mois de transition (début de saison des pluies) ou pour des mois de pleine saison des pluies, ou enfin pour toute une période de pluies possibles (Juin à Octobre compris) ; les coefficients de corrélation trouvés sont respectivement de 0.73 ; 0.78 et 0.86.

Il existe un genre de relation plus simple, à l'échelle des 5 mois de saison des pluies, de la forme :

$$Ev \text{ Bac} = 10.4 - 2.76 \text{ Ln } P \quad (r = 0.92)$$

où Ev est l'évaporation bac moyenne en mm/jour pour les 5 mois considérés

et P est la pluviométrie moyenne par jour pendant la même durée.

A partir de ces relations, on peut établir le genre de carte suivant, pour caractériser localement la demande Qvaporative (traduite par l'évaporation en bac normalisé classe A), pendant la saison des pluies au Sénégal. Sur cette carte, sont chiffrées les évaporations moyennes en mm/jour (Juin à Octobre compris) et, entre parenthèses, un indice calculé par rapport à la station de Bambey, où nous avons mesuré les besoins en eau du mil. (Graphique n° IV).

## 11.2 - Critiques

Elles peuvent porter sur de nombreux points, entre autres :

- La relativité des données mensuelles dans ce domaine (la pluie peut tomber en début de mois, ou en fin de mois, sans être bien répartie au cours de ce mois ; la pluie d'un mois donné peut influencer le mois suivant par le biais des réserves hydriques du sol etc...) ;

- La durée globale de 5 mois retenue ; selon que l'on retient ces 5 mois, ou la durée exacte entre la 1ère pluie utile et la date de fin de saison des pluies utiles (dernière pluie + période d'utilisation des réserves hydriques du sol), ou un nombre de mois entiers bénéficiant vraiment de pluies notables, les relations restent très voisines et ne justifient pas à notre avis, de compliquer davantage les calculs.

Le problème qui se pose de façon plus cruciale est de savoir quelle période on veut ou doit retenir pour caractériser cette demande Bvaporative. En 1973, pour la relation entre la pluie et l'ETP pendant la saison des pluies utile et la carte d'ETP alors esquissée, nous avons considéré une grande période (1931-1965) ; ce qui atténuait beaucoup le gradient de demande évaporative : 1.20 en gros à l'extrême Nord du Pays et 0.80 à l'extrême Sud du Sénégal, par rapport à Bambey.

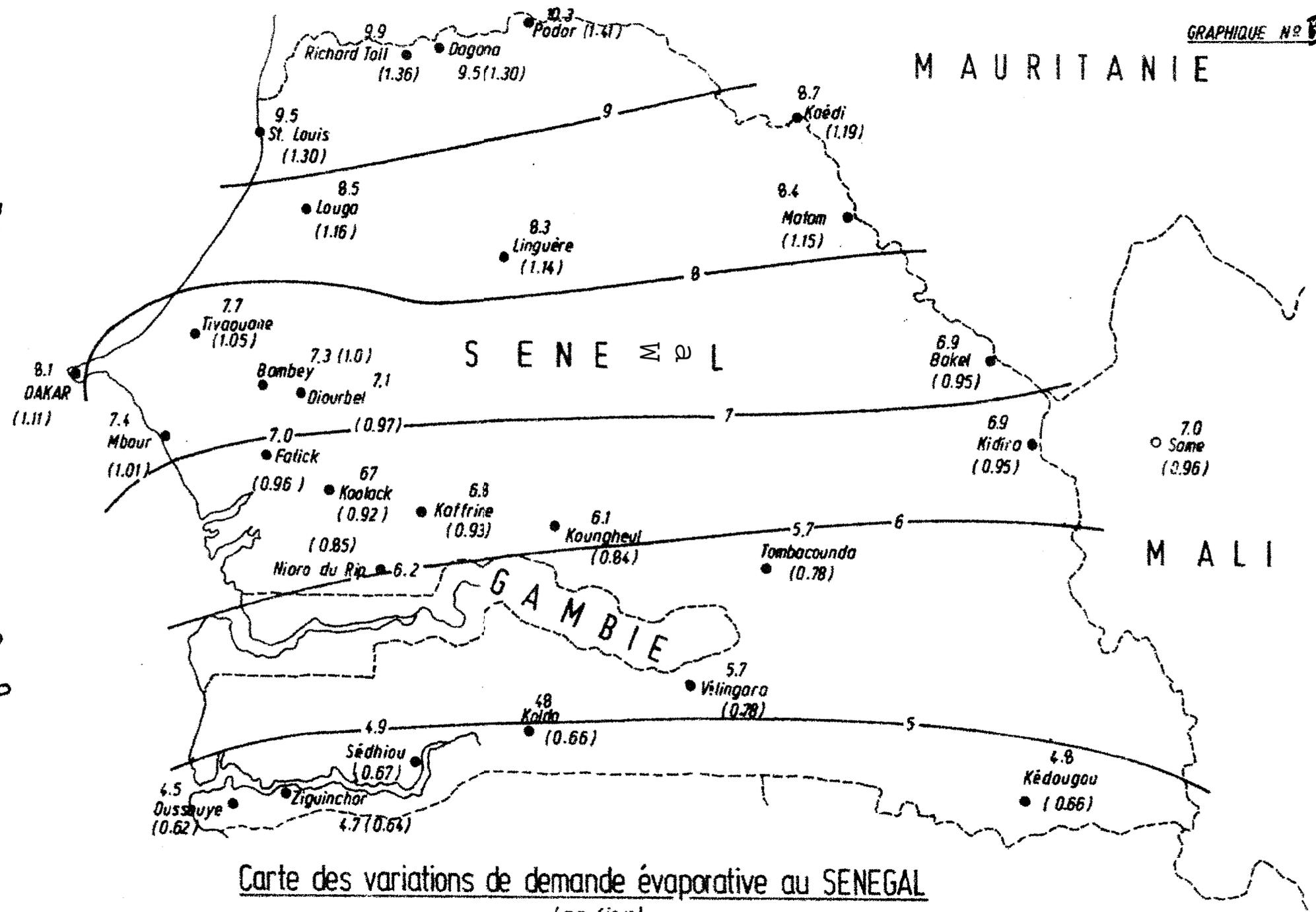
Par contre, entre 1971 et 1976, période de mise en place et extension de notre réseau de bacs normalisés classe A, nous avons subi une période de sécheresse exceptionnelle, Nous n'avons pas osé généraliser à la période 1931-1976, notre relation entre la pluie et l'évaporation bac. Cette relation, en attendant confirmation sur une période plus longue de relevés d'évaporation et de pluie, est caractéristique d'années déficitaires en pluie et à demande évaporative anormalement élevée.

ATLANTIQUE  
OCEAN

MAURITANIE

SENEGAL

MALI



Carte des variations de demande évaporative au SENEGAL

(mm / jour)

pendant les mois d'hivernage (Juin à Octobre compris) Période 1971 - 1976

Ainsi, la carte exprimant la demande évaporative et son gradient Nord-Sud, indique des indices par rapport à Bambey, compris cette fois entre 1.40 au Nord du Pays et 0.65 au Sud. Cependant, à notre avis, il vaut mieux orienter nos travaux vers une adaptation des cultures aux conditions défavorables de ces dix dernières années, sachant qu'il n'en sera que plus facile de s'adapter à des conditions meilleures.

utilisation de la carte de demande évaporative  
et des indices Calculés par rapport à Bambey

D'après cette carte, un mil de 120 jours qui aurait besoin en moyenne de 620 mm à Bambey, exigerait :

$$620 \times 0.82 = 530 \text{ mm à Nioro-du-Rip}$$

$$\text{et } 620 \times 0.67 = 420 \text{ mm à Séfa.}$$

De même pour un mil de 75 jours qui exigerait 350 mm d'eau à Bambey, il faudrait :

$$350 \times 1.16 = 410 \text{ mm à Louga}$$

$$\text{et } 350 \times 1.30 = 400 \text{ mm vers Dagana.}$$

III - QUELQUES COMMENTAIRES ET APPLICATIONS

III.1 - Potentialités des variétés de mil actuelles dans  
le Centre du Sénégal

A partir du tableau n° V, on peut constater que les meilleurs rendements grain sont obtenus actuellement avec le mil Sauna de 90 jours (près de 3 tonnes/hectare). D'ores et déjà, les mils de 75 jours (G.A.M.) en cours d'amélioration variétale permettent d'obtenir les mêmes rendements grain que le mil Sanio de 120 jours (en cours d'abandon total dans la région de Diourbel) : ce dernier plafonne à 2 tonnes tout en consommant près de 2 fois plus d'eau que le mil G.A.M.

Si on chiffre la valorisation de l'eau par le mil, en nombre de litres d'eau effectivement consommés par la culture et nécessaires pour fabriquer un kilo de grain sec, elle est peu différente entre les mils Sauna et G.A.M. ; par contre elle est beaucoup plus mauvaise pour le mil Sanio (3 à 4 000 litres par kilo de grain au lieu de 1 500 à 1 600 pour les autres mils).

En ce qui concerne la paille, il faut reconnaître les potentialités de production élevées du mil Sanio : autour de 14 tonnes à l'hectare, soit plus du double des mils Sauna et G.A.M. Pour fabriquer un kilo de paille, il faut en moyenne :

- 440 litres d'eau pour le mil Sanio irrigué (moyenne entre 1976 et 1977)
- 616 litres d'eau pour le mil GAM (moyenne entre 1974 et 1975)
- 707 litres d'eau pour le mil Sauna irrigué (moyenne entre 1973 et 1974).

		Evapotranspiration en mm	Rendements en kg/ha		Quantité d'eau nécessaire en litres/kilo de:		Taux satisfaction des besoins en eau
			Grain	Paille	Grain sec	m.s. aérienne totale	
SANIO 1976 P = 399 mm	Arrosé 215 mm	562 C.V. 6%	2035 (7.5) C.V. 7%	13950 (3.2) C.V. 11%	2986	337	100 %
	Non Arrosé	403 C.V. 3%	1092 (7.4) C.V. 16%	10478 (2.2) C.V. 10%	4045	334	72 %
SANIO 1977 P = 374 mm	Arrosé 283 mm	628 C.V. 4%	*NB1 1623 (3.5) C.V. 8%	14425 (7.5) C.V. 4%	4010	387	100 %
	Non Arrosé	397 C.V. 4%	153 (3.5) C.V. 71%	11172 (8.5) C.V. 14%	26890	364	63 %
SOUNA 1973 P = 400 mm	Arrosé 68 mm	417 C.V. 3%	2690 (7.8) C.V. 5%	6680 (4.3) C.V. 7%	1681	412	100 %
	Non Arrosé	378 C.V. 3%	2770 (7.8) C.V. 3%	6240 (4.3) C.V. 6%	1443	383	91 %
SOUNA 1974 P = 492 mm	Arrosé 73 mm	416 C.V. 7%	2948 (5.4) C.V. 3%	5760 (5.2) C.V. 4%	1492	426	100 %
	Non Arrosé	415 C.V. 8%	2951 (5.2) C.V. 2%	5590 (5.1) C.V. 8%	1483	434	100 %
MIL GAM 1974 * NB2 P = 447 mm	Arrosé 51 mm	320	2151 (9.0)	5943 (8.4)	1635	342	100 %
	Non Arrosé	324	2288 (8.3)	5780 (8.1)	1544	350	100 %
MIL GAP1 1975 P = 510 mm	Non Arrosé (pluies suffisantes)	327 C.V. 6%	1721 (9.2) C.V. 12%	5652 (10.2) C.V. 10%	2093	414	100 %

Tableau n° V : Consommation hydrique et rendements du mil

- A côté des rendements sont notées entre parenthèses les humidités et en [dessous, les coefficients de variation C.V.
- La matière sèche aérienne comprend : paille, grain, enveloppes et rachis
- NB1 : 3 parcelles sur 4 ont été gardées seulement
- NB2 : en 1974, on est passé sur l'essai mil GAM, de 2 points de mesure à 5 en fin de campagne d'où l'impossibilité de faire une analyse statistique.

On remarquera que le mil nain de 75 jours ne fait rien perdre par rapport au mil Souna, en production de paille : les rendements paille sont très voisins, mais bien sûr, ils sont obtenus en 75 jours au lieu de 90, ce qui est appréciable.

On ne peut pas actuellement négliger cet aspect "production de paille", compte tenu de son utilisation croissante pour l'alimentation du bétail, la fabrication du fumier et l'habitat (toitures, clôtures, combustible...).

Sans vouloir revenir au mil Sanio de 120 jours, à proscrire pour sa faible potentialité en grain et pour sa consommation hydrique excessive) on peut se demander si l'abandon du mil Sanio, dans la région de Diourbel, n'a pas contribué à accroître le déficit en paille des exploitations (un des freins actuels au développement de l'élevage fixé) ; il en est de même lorsqu'on passe des arachides de 120 jours à celles de 90 jours. La "sécurisation" des rendements en grain est peu compatible avec des productions de paille élevées.

### III.2 - Influence des stress hydriques sur la production de mil.

Les mils Souna et G.A.M., très bien adaptés dans l'ensemble aux conditions hydriques de la zone de Bambey, n'ont pas été vraiment stressés au cours de ces années d'expérimentation, pourtant déficitaires en pluie. Ainsi, en 1973, le mil Souna non arrosé a vu ses besoins en eau satisfaits à 91 % et ses rendements en grain et paille, très peu différents de ceux du mil arrosé en complément. Pour les autres années, l'irrigation d'appoint n'a rien apporté de plus, tant pour le mil Souna que pour le mil GAM. T. M. DUC (77) sur la ferme irriguée de Bambey a eu des résultats assez voisins en ce qui concerne les mils Souna pendant la saison des pluies : l'irrigation d'appoint est surtout valorisée en remontant plus au Nord. Par ailleurs, il existe d'autres moyens que l'irrigation pour "sécuriser" la production de mil dans le Centre du Pays ; ce sont en particulier les techniques de dry farming, avec un report de réserves hydriques dans le sol, d'une année sur l'autre (CHOPART et NICOU 76).

Par contre, pour le mil Sanio, très mal adapté à ces années déficitaires (470 mm de pluie à Bambey, au cours des 10 dernières années, au lieu de 640 pour la période 1921-1976) les différences entre parcelles irriguées et non, sont très fortes. Un mil Sanio dont les besoins en eau ont été satisfaits globalement à 72 % en 1976, voit son rendement grain chuter de 46 % et son rendement paille de 25 %. Pour un mil Sanio dont les besoins ont été couverts à 63 % en 1977, le rendement grain tombe de 1623 à 153 kilos/hectare, soit une chute de 91 % ! Le rendement paille est moins affecté, puisqu'il ne chute que de 23 %.

En regardant de plus près ce qui se passe au moment de la floraison qui a eu lieu pour le mil irrigué :

- le 2 Octobre (82<sup>ème</sup> jour de cycle) en 1976, à la mi-épiaison
- le 7 Octobre (92<sup>ème</sup> jour de cycle) en 1977 (floraison plus étalée)

On s'aperçoit que le stress hydrique pendant les 20 jours encadrant ces dates moyennes, peut être chiffré à :

$$\frac{(ETM - ETR)\%}{E.T.M} = \frac{5.8 - 4.7}{5.8} = 20 \% \text{ en 1976, ce qui correspond à}$$

une chute de rendement grain de 46 % et :

$$\frac{6.5 - 2.9}{6.5} \% = 55\% \text{ en 1977, qui correspondent à une réduction de}$$

rendement grain de 91 %.

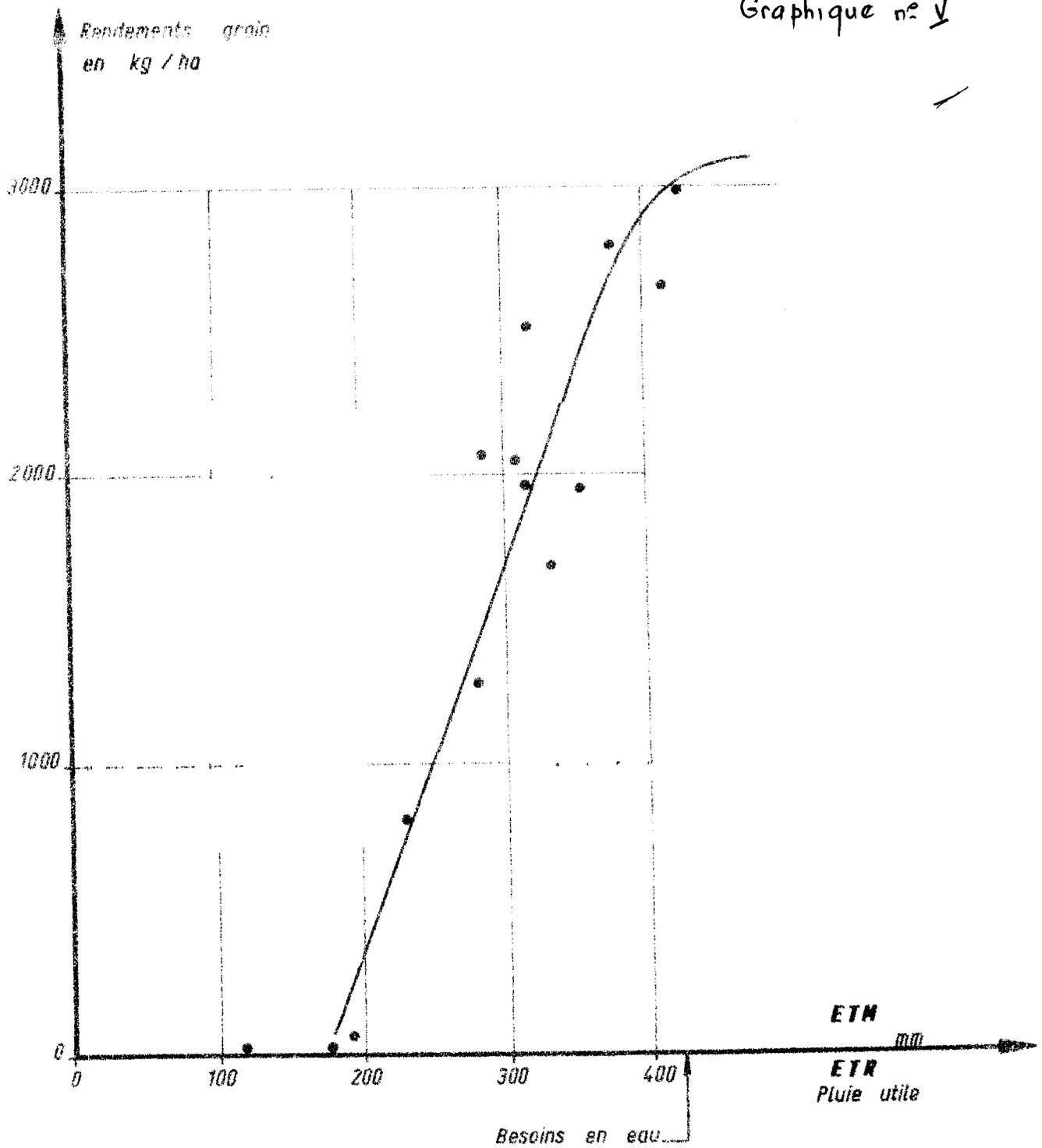
Plus que le stress global sur toute la durée du cycle, il convient donc de surveiller particulièrement ce qui se passe au moment de l'épiaison.

En l'absence de véritable essai de "courbe de réponse à l'eau", pendant la saison des pluies, ce qui implique des toitures mobiles ou des serres parfaitement climatisées, nous avons essayé d'approcher cette courbe, en utilisant les divers essais agronomiques de Bambeï et des autres stations. Suite les consommations hydriques étaient effectivement mesurées par bilan hydrique in situ, soit elles étaient assimilées à la pluie utile relevée, lorsque cette dernière était relativement bien répartie (et donc stockée à une profondeur du sol prospectable par les racines) et nettement inférieure aux besoins. Ceci nous a permis d'obtenir, à ce premier stade d'investigation, la courbe de réponse à l'eau du mil souma de 90 jours, pour la zone Centrale (Thiès-Elambeï-Diourbel), en très bonnes conditions de technicité : graphique n° V

Nous essayerons prochainement de faire le même travail, pour les mils de 75 et de 120 jours, non seulement en conditions de station, mais aussi en conditions paysannes. Ce genre d'enquête permet entre autres informations, de mieux expliquer la production, et d'apprécier plus objectivement l'impact des efforts de vulgarisation, en dissociant les facteurs techniques et les facteurs climatiques par exemple. Le graphique n° VI est une première tentative dans ce sens, bien que très critiquable : les mils de 90 et 120 jours et les sorghos n'étant pas différenciés et l'estimation des rendements étant sujette à caution. Quelle que soit la valeur exacte des chiffres, on retrouve toutefois une logique dans les tendances discernées : l'effet des sécheresses exceptionnelles de 1968 (record de sécheresse sur 50 ans), 1972 et 1973, et peut-être une tendance qui demande à être confirmée, dans l'augmentation des rendements de mil constatée en 1974 et 1975. Les raisons qui peuvent être invoquées sont les suivantes : abandon quasi-total des mils de 120 jours et des sorghos dans la zone considérée ; changement de méthode d'estimation au niveau de la D.G.P.A. (?); progrès technique (démariage, fertilisation, etc...). Il est utile, aussi bien pour la recherche que pour la vulgarisation, de mieux comprendre les mécanismes de la production, afin de mieux orienter les interventions ultérieures.

### III.3 - Cartes d'adaptation du mil aux conditions pluviales

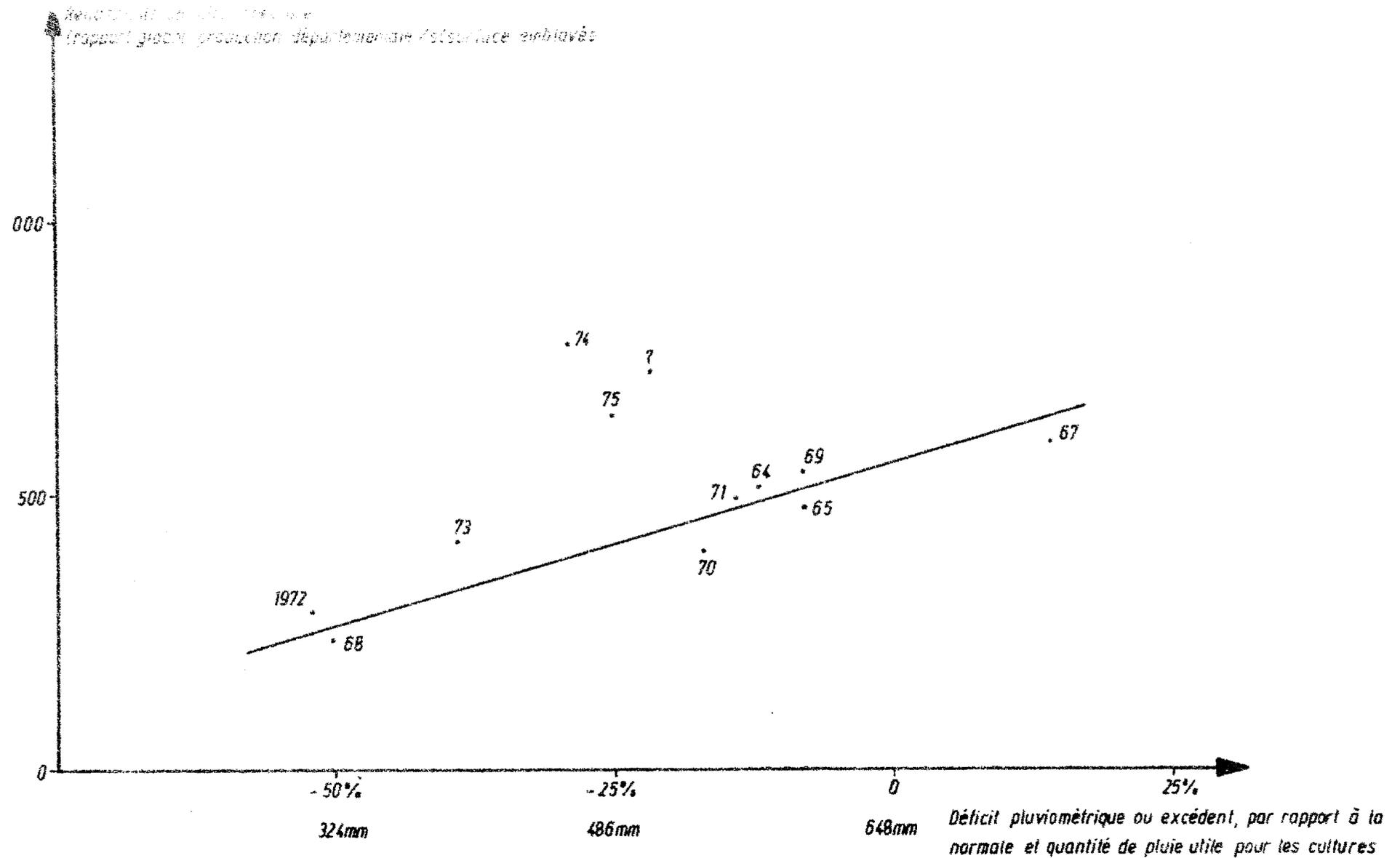
Nous n'insisterons pas beaucoup sur ce point qui a fait l'objet d'une communication au Comité Consultatif A.I.E.A. de 1975 à Bambeï (DANCETTE 1975). Cette note concernait les mils à cycle court de 75 et 90 jours, dans la moitié Nord du Sénégal. Il faudrait étendre ce travail à l'ensemble du Territoire, en considérant en plus les mils Sanio de 120 jours, pour le Centre et le Sud du Pays.



COURBE DE REPONSE A L'EAU DES MILS SOUNA  
(90j) EN TRES BONNES CONDITIONS DE TRAVAIL.

FUMURE ET ENTRETIEN

(Stations et Papem I. S. R. A. Centre - Nord)



**EVOLUTION DES RENDEMENTS -MIL ET SORGHO EN CONDITIONS PAYSANNES DANS LE DEPARTEMENT DE BAMBEY (Evaluation D. G. P. A.)**

Nous rappellerons qu'en 1975, le gradient de demande évaporative avait été chiffré à partir d'une carte d'ETP établie pour la période 1931-1965 (corrélation pluie - ETP) ; les résultats seraient encore plus pessimistes si on considérait la demande évaporative des 10 dernières années, à partir des corrélations Pluie - Evaporation Bac.

La méthode est basée sur l'étude de la saison des pluies utiles pour une culture de mil semée en sec, et sur la confrontation entre la pluie reçue et stockée dans le sol (à concurrence de 100 mm) et les besoins en eau du mil estimés à  $\pm 10\%$ , au cours de la culture. Il faut donc tenir compte à la fois de la longueur de la saison des pluies utiles et de la satisfaction des besoins en eau, pour savoir si, rétrospectivement, chaque année analysée dans une station, avait été favorable ou non sur le plan hydrique. Ceci nécessite d'analyser en détail une quarantaine d'années par station et d'étudier toutes les stations disposant d'une série d'observations relativement longue et complète, et par ailleurs bien réparties sur le Territoire. La carte ci-jointe (graphique n° VII) donne une idée des renseignements que l'on peut obtenir. La partie hachurée représente la zone de sécurité accrue (80 % de chances de réussite et plus) que l'on peut gagner en passant d'une variété de 90 jours (Souna) à une variété de 75 jours (mil nain GAM).

#### III,4 - Suivi de la campagne agricole et explication de la production

Nous avons tenté en 1977 (DANCETTE 1977), un suivi très général de la campagne agricole, axé essentiellement sur les cultures de mil, arachide et niébé, dont les besoins en eau, sont en fin de compte assez voisins, à longueur de cycle égale. Pour ces cultures, les besoins en eau sont directement proportionnels à la longueur du cycle végétatif (Graphique n° 8). Aussi est-il possible graphiquement de porter les courbes cumulées de besoins en eau et de pluviométric, à partir du jour de 1ère pluie utile (Graphique n°9). Cette première pluie utile est celle qui permet à la culture de mil semée en sol sec, de commencer à pousser. L'idéal serait de pouvoir éventuellement translater cette courbe des besoins en eau, le long de l'axe des abscisses (Jours), et aussi de la décaler le long de l'axe des ordonnées (mm), en cas de rcsemis d'une part ou de retard au semis tout simplement.

En effet, dans ces cas, soit la culture commence avec un stock d'eau initial que l'on peut estimer, soit toute la pluie a été perdue (évaporation) et il faut faire partir la courbe de besoins en eau, du niveau de la pluviométrie cumulée atteinte (cas de Thiès en 1977). Enfin, dans certains cas exceptionnels (stations de recherche), il peut exister un stock hydrique initial dû à des techniques de dry farming (labour de fin de cycle par exemple) : dans ce cas, il conviendrait d'en tenir compte, en abaissant par rapport à la simple pluviométrie, le point de départ de la courbe de besoins en eau.

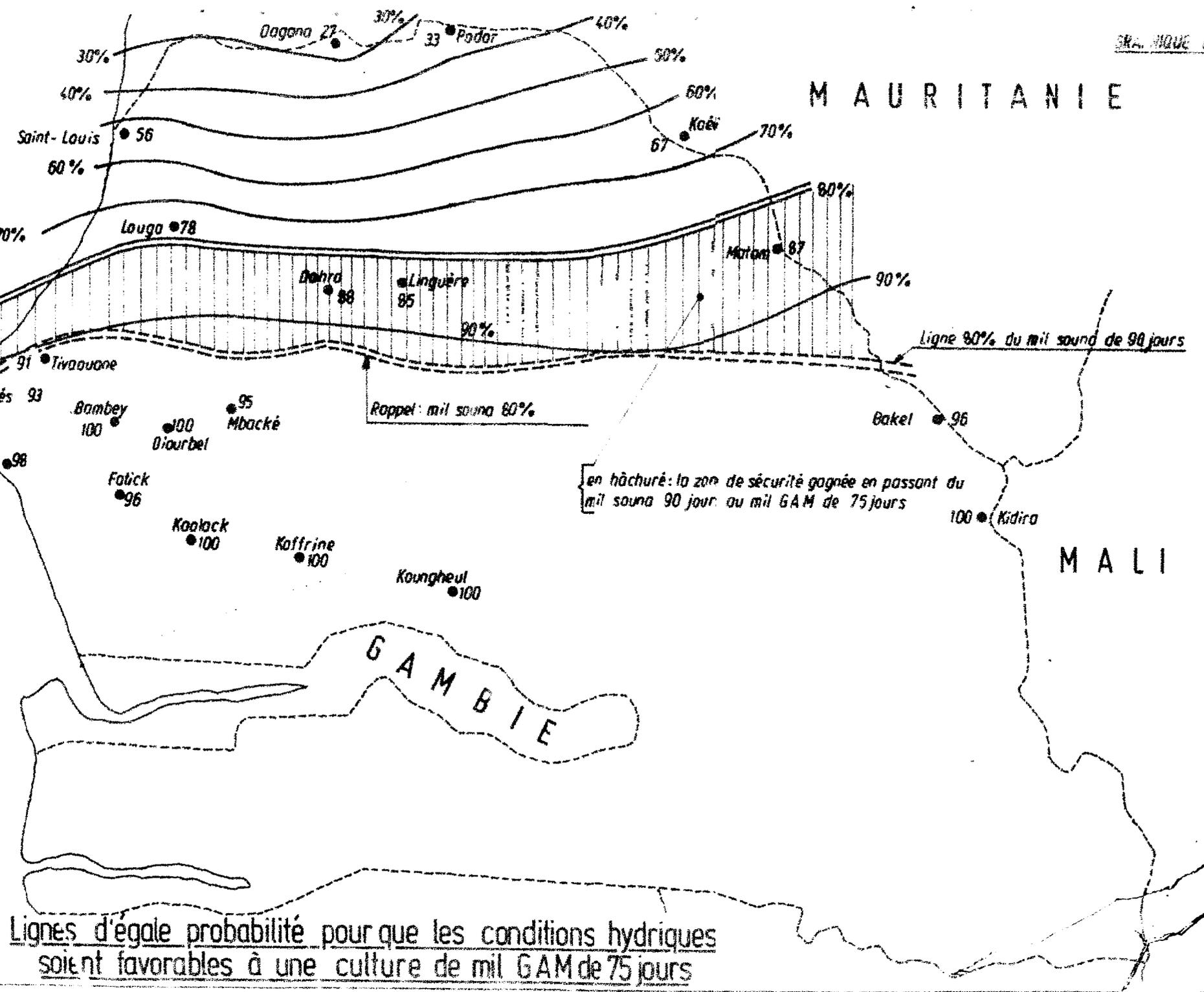
Pour le suivi de la campagne de mil proprement dite, il suffirait de reprendre exactement les résultats de besoins en eau spécifiques exposés plus haut et de leur affecter par station, un indice tenant compte du gradient de demande évaporative. On peut voir ainsi très facilement, quelles sont les périodes de stress et même avoir une idée de l'intensité de ce stress et de ses effets possibles sur les rendements (en s'aidant aussi des courbes de réponse à l'eau). Dans le cas de Thiès, extrait des 25 autres cas étudiés en 1977, on voit que le début de la culture a été exceptionnellement tardif, et

ATLANTIQUE  
OCEAN

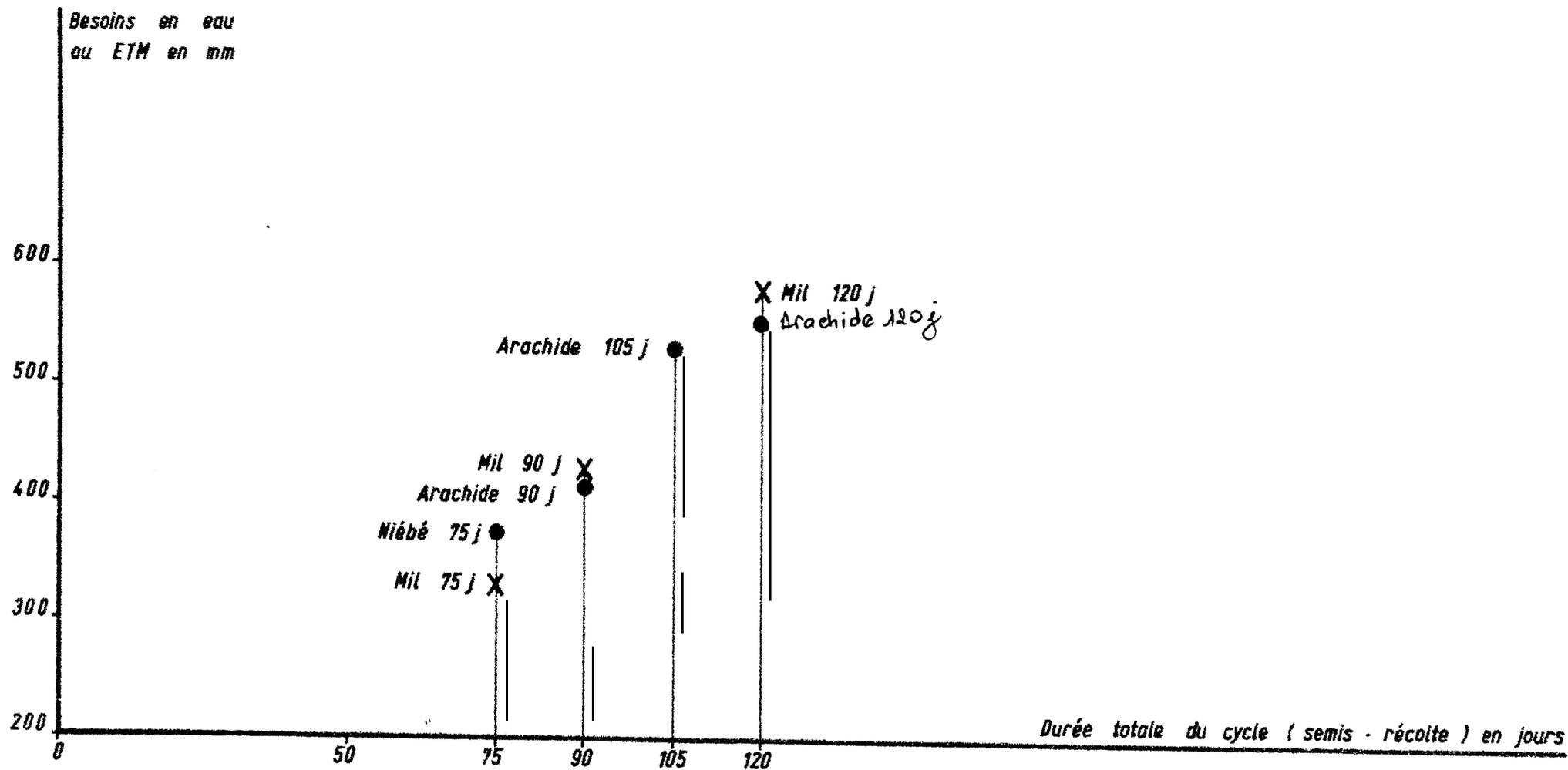
MAURITANIE

MALI

GAMBIE



Lignes d'égale probabilité pour que les conditions hydriques soient favorables à une culture de mil GAM de 75 jours

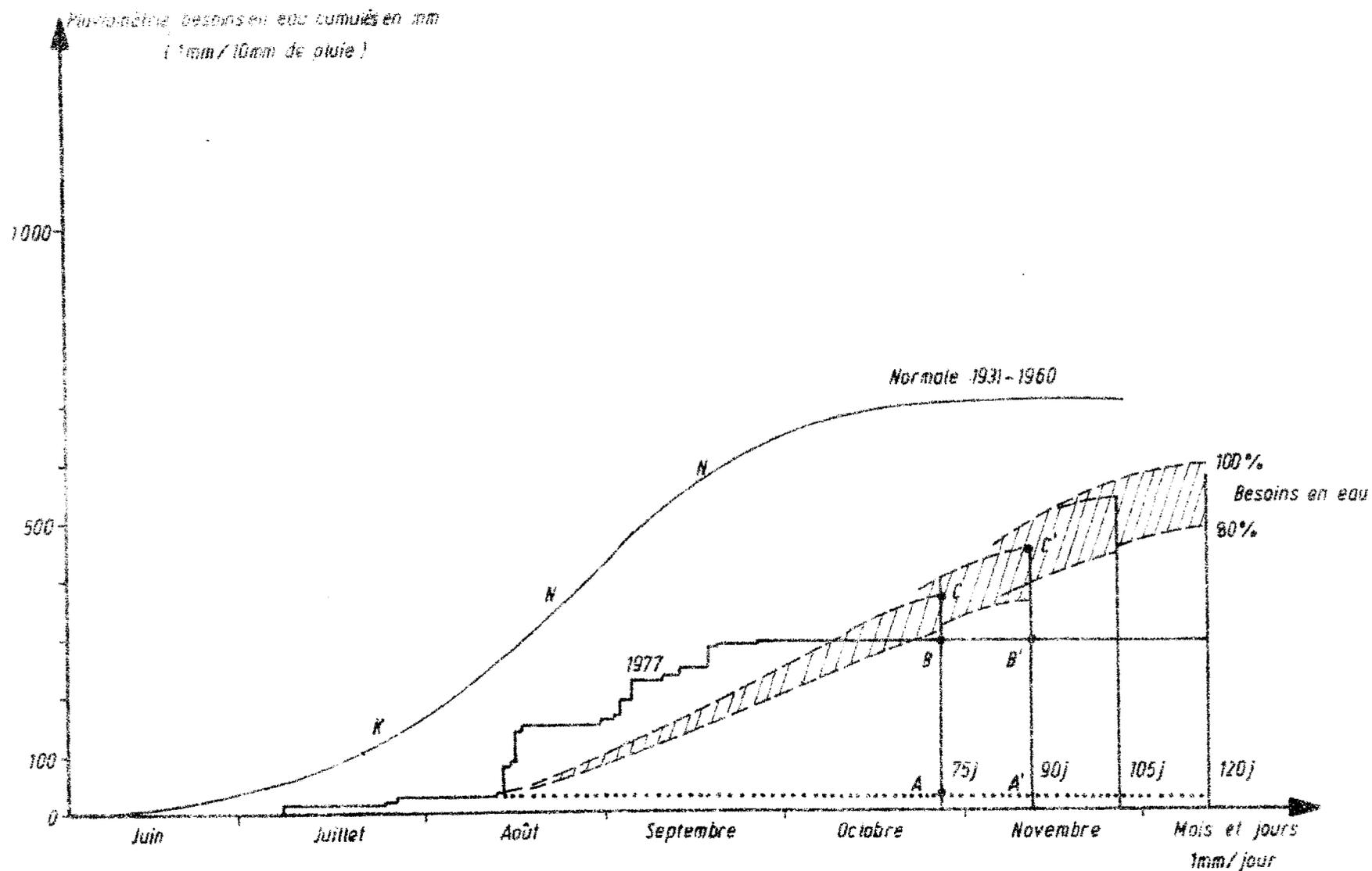


LES BESOINS EN EAU DES CULTURES AU SENEGAL SONT PROPORTIONNELS A LA LONGUEUR  
DU CYCLE DE VEGETATION

Géographique n° 10

L. E. / M. S.

— I. S. R. A. - C. N. R. A. BAMBEY.



## SUIVI DE LA SAISON DES PLUIES 1977

**THIES-METEO**

3 resemis de mil en sec.

Pluie de semis le 14 Août (52mm)

Date moyenne dernière pluie = 5 X

la pluviométrie très faible. A supposer qu'il y ait eu un ruissellement et une percolation négligeables, et que toute la pluie ait pu être stockée dans le sol et utilisée par la culture, on peut se rendre compte que seules les variétés de 75 jours avaient quelque chance de réussite (besoins en eau satisfaits au mieux à 76 %) y les mils de 90 jours avaient déjà commencé à souffrir au moment de l'épiaison (vers le 60ème jour) et leurs besoins hydriques n'ont été couverts globalement qu'à 62 %  $\left(\frac{A+B}{A+C}\right)$ , sur le graphique n° Y).

## CONCLUSION

La mesure des besoins en eau est un préalable à tout travail portant sur l'adaptation des cultures à un milieu pédoclimatique donné. Ainsi, pour le mil, on sait maintenant assez bien quelles sont ses exigences hydriques, à un haut niveau de technicité. On sait mais ce qu'exigerait un mil médiocrement cultivé et mal alimenté sur le plan minéral. Cependant, il est normal que la recherche vise à l'obtention de hauts rendements et donc à l'adaptation de plantes relativement plus exigeante en eau que des plantes chétives. Par ailleurs, nous avons vu que la production de paille devait elle aussi être considérée avec intérêt, au niveau d'une exploitation intégrant l'élevage et d'autres besoins.

Ces diverses raisons font que plus qu'autrefois, (on disposait alors de variétés médiocres, mais peut être plus plastiques), il faut être très strict en ce qui concerne les critères de sélection variétale et la délimitation géographique, sur des bases pédo-pluviométriques entre autres, des aires de vulgarisation des principales variétés. On peut dire qu'au Sénégal, c'est la démarche qui a été adoptée par le Groupe d'Amélioration des Mils (G.A.M.), dont les travaux de sélection et création variétales sont basés sur une concertation permanente avec les agronomes et les agro-économistes. Ces derniers peuvent préciser ce que veulent vraiment les cultivateurs, comment ils utilisent les produits et sous-produits de culture et à quelles contraintes ils sont soumis (temps, matériel, marche etc...), Quant aux agronomes, ils peuvent préciser comment ces diverses contraintes peuvent être levées (pluviométrie, travail du sol, fumure et matière organique) et quelle sorte de matériel végétal serait pour eux la plus commode afin de résoudre les divers problèmes agronomiques.

Sélectionneurs et Physiologistes peuvent ainsi tendre leurs efforts vers des objectifs précis et répondant exactement aux besoins du développement, même si ces besoins ne sont pas toujours définis de façon aussi claire qu'il le faudrait, ou s'ils évoluent trop rapidement. Ainsi, le grand développement de l'élevage fixé et de l'embouche, semble incompatible avec les labours d'enfouissement des pailles de mil, autrefois préconisés. Il est nécessaire en revanche de préserver la fertilité des sols, par des apports de fumier dont les modalités de fabrication et d'épandage demandent encore à être étudiées.

Tout ceci demande beaucoup de vigilance et de concertation et suppose des équipes pluridisciplinaires importantes et mobilisables pour des opérations planifiées, précises et régionalisées, comme le serait par exemple : l'augmentation de la production de mil, en vue d'assurer l'autosuffisance vivrière, dans une zone écologique donnée qui pourrait recouvrir une ou plusieurs régions administratives.

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

---

- BILQUEZ A.F. 1975.- Amélioration des mils au Sénégal - ISRA Sénégal  
Synthèse 1970 - 1974
- CHOPART, J.L. et NICOU R. 1976.- Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal - Conséquences sur leur alimentation hydrique.  
AGRO. TROP. Vol XXXI - Janvier à Mars 1976
- DANCETTE C. 1971.- Contrôle avec l'humidimètre à neutrons de l'alimentation hydrique d'une culture de mil "Souna" pendant deux hivernages très différents.  
AGRO. TROP, Vol XXVI n°s 6-7 - Juin-Juillet 1971
- DANCETTE C. 1974.- Les besoins en eau des plantes de grande culture au Sénégal "Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies"  
I. A. E. A. - SM 176/36 - Vienna
- 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.  
AGRO. TROP. 1976 n°4 Oct. Déc.
- DANCETTE C. 1975.- Cartes d'adaptation à la saison des pluies des mils à cycle court dans la moitié Nord du Sénégal - "efficiency of water and fertilizer use in semi-arid regions" - Comité consultatif AIEA - Bambey - Sénégal - 10-14 Novembre 1975 - FAO/AIEA  
Techn. doc. n°192 - Vienna 1976
- DANCETTE C. 1977.- Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau, en zone soudano sahélienne - CNRA Bambey - ISRA - Avril 1977
- DANCETTE C. , SECK M., NDIAYE A. 1977.- Point de vue agroclimatique sur la saison des pluies de 1977 au Sénégal, à la date du 31 Octobre - ISRA - CNRA de Bambey
- DOORENBOS J. et PRUITT W.O. 1975.- Crop water requirements - irrigation and drainage paper n° 24 - F.A.O. Rome
- DUC T.M. 1975.- Irrigation de la zone Centre-Nord du Sénégal - Résultats de recherches et perspectives ; Comité consultatif FAO-AIEA ; efficiency of water and fertilizer use in semi-arid régions - Bambey - Sénégal - 10-14 Novembre 1975  
doc. techn. AIEA 192 - Vienna 1976

- JACQUINOT L. 1971.- Le potentiel photo-synthétique du mil et le rendement utile - Séminaire CSTR/QUA - Dakar 26-29 VII 1971
- KALMS, J.M., VALET S. 1975.- Détermination des besoins en eau de différentes cultures vivrières et industrielles, dans les conditions pédoclimatiques des terrasses du Niger à Tillabéry - Rapport de l'I.N.R.A.N. Juillet 1975
- MONNIER, 3. 1976.- Le démariage précoce du mil hâtif et les techniques qui s'y rapportent - ISRA - CNRA - Eiambey - Juin 1976
- RAMOND, C. 1968.- Pour une meilleure connaissance de la croissance et du développement des mils Pennisetum - Agro. Trop. extrait n° 8 - Août 1968
- ROYER, J.M., VACHAUD, G. 1974.- Détermination directe de l'évapotranspiration et de l'infiltration, par mesure des teneurs en eau et des succions ; hydrological Sciences bull. Vol. XIX p. 319 - 336
- VIDAL P. 1963.- Croissance et nutrition minérale des mils Pennisetum cultivés au Sénégal - Thèse d'université - Dakar.