C. I. L. S. S.

CENTRE REGIONAL DE FORMATION ET D'APPLICATION
EN AGROMETEOROLOGIE ET HYDROLOGIE OPERATIONNELLE

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

PROGRAMME A G R H Y M E T

BESOINS HYDRIQUES DES CULTURES PLUVIALES ET POLITIQUE GENERALE DE L'EAU EN AGRICULTURE DANS LES ZONES CENTRE ET NORD DU SENEGAL

-:-:-:-

REPRODUCTION DE LA NOTE DE Mr. C. DANCETTE
INGENIEUR AGRONOME IRAT
DETACHE A
L'INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES AGRONOMIQUES DE BAMBEY)

N°112 Niamey 1979

J.J. DENIS

C. I. L. S. S.

CENTRE REGIONAL DE FORMATION ET D'APPLICATION

EN AGROMETEOROLOGIE ET HYDROLOGIE OPERATIONNELLE

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

PROGRAMME A G R H Y M E T

BESOINS HYDRIQUES DES CULTURES PLUVIALES ET POLITIQUE GENERALE DE L'EAU EN AGRICULTURE DANS LES ZONES CENTRE ET NORD DU SENEGAL

-:-:-:-

REPRODUCTION DE LA NOTE DE Mr. C. DANCETTE

INGENIEUR AGRONOME IRAT

DETACHE A

L'INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

(CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES AGRONOMIQUES DE BAMBEY)

N°112 Niamey 1979

R E S U M E

Cette note rassemble les principaux résultats obtenus au cours des cinq dernières années, sur le dispositif expérimental de mesure des besoins hydriques des cultures de mil, arachide, niébé et jachère d'herbe, du CNRA de Bambey. Les conditions d'obtention sont précisées, de même que les conditions de généralisation des résultats, à l'ensemble de la zone Centre et le Nord du pays. Cette généralisation est basée sur la détermination de la demande évaporative, à partir des mesures d'évaporation d'eau libre en bac normalisé classe A et de corrélations entre cette dernière donnée et la pluviométrie.

Les céréales (mil) et les légumineuses (niébé et arachide) sont comparées du point de vue de leur consommation hydrique et surtout de la façon dont elles valorisent en grain ou en paille, l'eau effectivement consommée. Quelques applications à la gestion agricole de l'eau et à l'orientation des recherches sont citées ; elles concernent surtout le choix des espèces et des variétés cultivées, les grandes options à prendre (sécurité ou profit immédiat), les moyens de réduire les pertes d'eau et le suivi agroclimatique de la campagne agricole.

En conclusion, l'auteur insiste sur la nécessité d'un effort constant pour économiser l'eau, par le biais des cultures adoptées et des techniques culturales pratiquées. Les principaux choix agricoles peuvent et doivent être raisonnés en termes de bilan hydrique intégré, dans lequel les cultures annuelles certes, mais aussi les arbres et les nappes phréatiques, interviennent.

MOTS CLE :

Besoins en eau ou évapotranspiration maximale (ETM), demande évaporative, bilan hydrique, généralisation, adaptation, durée du cycle économie et valorisation de l'eau, sécheresse, désertification.

-:-:-:-:-:-

BESOINS HYDRIQUES DES CULTURES PLUVIALES
ET POLITIQUE GENERALE DE L'EAU EN AGRICULTURE
DANS LES ZONES CENTRE ET NORD DU SENEGAL

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

TABLE DES MATIERES

-:-

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

Cette note avait été ébauchée et présentée à l'occasion du premier salon sur l'Agriculture et l'Hydraulique en Afrique (Dakar du 1er au 7 Décembre 1977). De document, remanié et réactualisé en Août 1978, vise essentiellement à donner un aperçu (sous forme de tableaux et de graphiques) des principaux résultats acquis au cours des dernières années, sur le dispositif d'étude de l'alimentation hydrique des principales cultures, au CNRA de Bambey. Nous avons par ailleurs précisé les conditions dans lesquelles ces résultats ont été obtenus et les précautions qu'il convient de prendre avant de les extrapoler aux zones Centre et Nord du Sénégal. Enfin, suite à plusieurs journées d'étude consacrées par la SODEVA et certains chercheurs de l'ISRA aux problèmes d'économie de l'eau (réunions de Kaolack, Diourbel et Bambey), nous avons jugé utile de montrer par quelques exemples le parti que l'on peut tirer de ces travaux sur les besoins en eau des cultures et les orientations de recherche complémentaire vers lesquelles ils débouchent. Sans vouloir dresser un inventaire complet de nos résultats et des applications multiples qui en découlent, nous souhaitons en fait, par cette voie, apporter quelques éléments de réflexion pour l'ébauche d'une politique intégrée de l'eau en milieu rural. Nous avons essayé de traduire, à notre niveau, cet esprit d'économie de l'eau qui doit guider les responsables du développement national et plus particulièrement ceux de la vulgarisation et de la recherche, solidaires dans une même lutte contre la sécheresse.

La plupart des résultats présentés dans cette note, ont été obtenus grâce à l'engagement actif et dévoué du personnel de la division de bioclimatologie :

- Monsieur Sitor NDOUR - Observateur principal en agroclimatologie
- Monsieur Ndongo NGOM - Observateur agroclimatologiste
- Monsieur Amadou THIAM - Observateur météorologiste
- Monsieur Bounama SENE - Ouvrier agricole et chef d'équipe

-:-:-:-:-:-

ETP : Évapotranspiration potentielle.

I. INTRODUCTION : (graphique N°1)

Les besoins en eau des cultures dépendent de la demande évaporative d'ordre climatique (notion d'ETP ou évapotranspiration potentielle). Cette demande évaporative varie d'un lieu à un autre (gradient de latitude d'une part et de continentalité d'autre part), au cours d'une même année et d'une année à l'autre ; elle est sous l'influence des principaux facteurs climatiques qui, par ailleurs, interfèrent : durée d'insolation et rayonnement solaire, température, humidité relative, vitesse du vent, pluie etc...

Certaines mesures agroclimatiques comme l'évaporation de l'eau libre dans un bac normalisé classe A, ou dans un évaporomètre Piche, ou encore certaines formules (Penman, Turc, Bouchet, etc...), intègrent plus ou moins bien l'influence de ces différents facteurs sur les pertes d'eau potentielles.

Les besoins en eau des cultures ne devront donc pas être extrapolés hâtivement, et ils seront toujours ramenés à des conditions précises de demande évaporative. Pour nous, le standard de référence climatique le plus pratique est l'évaporation de l'eau libre dans un bac normalisé classe A (Normes O.M.M.) (références bibliographiques N°1, 5, 7, 12). Aussi, nous indiquerons chaque fois, pour les besoins en eau, le coefficient K qui est le rapport entre ces besoins en eau, mesurés (ou évapotranspiration maximale ETM de la culture) et l'évaporation en bac normalisé classe A, pendant la période correspondante :

$$K = \frac{\text{ETM en mm}}{\text{EV bac en mm}}$$

K varie au cours du cycle d'une culture (graphique N°4). Dans le cas précis du tableau N°I, K est un coefficient global portant sur toute la durée du cycle de végétation de la culture.

II. CONDITIONS D'EXPERIMENTATION :

Les besoins en eau (ETM) sont mesurés au champ par la méthode du bilan hydrique (graphique N°2).

ETM = Apports hydriques (pluie + irrigation) $-\Delta$ stock d'eau dans le sol.

On se préserve du ruissellement au moyen de lames verticales et des percolations incontrôlées, en partant d'un sol très sec au départ et en opérant jusqu'à des profondeurs importantes (des tensiomètres permettent en outre de vérifier la direction des flux hydriques).

Quand le stock d'eau du sol diminue entre deux dates de relevés hydriques (signe -), c'est que la plante a puisé dans les réserves hydriques du sol (en l'absence de percolation en dessous de la zone de mesure du bilan) et :

.../...

$$ETM = apports + \Delta \text{ stock d'eau}$$

Quand le stock d'eau du sol augmente (signe +), c'est qu'il y a eu au contraire des apports supérieurs aux besoins de la plante et :

$$ETM = apports - \Delta \text{ stock d'eau}$$

Le bilan de sonsommation en eau peut aussi être établi, à titre de vérification, au moyen d'évapotranspiromètres munis d'un système de drainage par gravité.

Des irrigations en complément des pluies sont effectuées chaque fois qu'il y a le moindre risque de déficit hydrique pour la culture ; la plante est donc constamment bien alimentée en eau.

Les mesures sont réalisées sur quatre répétitions par traitement, dans des grandes parcelles de 200 m2, arrosables chacune par 4 arroseurs sprinkler à secteur variable, dont les apports sont rigoureusement contrôlés avec le nombre de pluviomètres voulu. Nous disposons donc en résumé pour chaque traitement "besoins en eau" de bilans hydriques à partir des relevés effectués avec des humidimètres à neutrons (Aides AIEA* et FAC) sur 4 tubes d'accès de 4 mètres de profondeur, et de bilans hydriques effectués avec deux évapotranspiromètres d'un mètre de profondeur.

Les bilans hydriques réalisés en milieu non perturbé (tubes d'accès pour humidimètre à neutrons) sont retenus de préférence à ceux effectués à partir des évapotranspiromètres : ces derniers représentent surtout une garantie de mesure, en cas de saison des pluies normale à excédentaire et de percolations trop profondes qui dépasseraient la profondeur limite (3,6 m) des tubes d'accès (ce qui empêcherait de faire un bilan rigoureux).

Le dispositif est décrit de façon plusdétaillée dans la publication N°7 (liste bibliographique) et le graphique N°3 en donne un aperçu (annexes).

* Agence Internationale de l'Energie Atomique (basée à Vienne - Autriche).

III. <u>PRINCIPAUX RESULTATS</u> : (références bibliographiques N°7, 11, 12 et 14)

Ils sont exposés dans les tableaux I, II et III suivants où les pluviométries P, les irrigations I et les besoins hydriques sont exprimés en mm, et les rendements en kg par hectare (avec indication du taux d'humidité du produit par rapport à son poids sec, au moment de la pesée). Les deux avant dernières colonnes du tableau II indiquent le nombre de litres d'eau qui doit transiter par la culture, c'est à dire être évapotranspiré, avant de pouvoir obtenir soit un kg de grain sec (à 0 % d'humidité), soit un kg de matière sèche

.../...

aérienne (paille + rachis ou rafle + grains ou gousses). Pour pouvoir comparer équitablement céréale et légumineuse, nous nous ramenons au poids de grain dans les deux cas, bien que le plus souvent, on utilise pour l'arachide les rendements gousse. Enfin dans la dernière colonne, est noté le coefficient $K = \frac{ETM}{EV\ bac}$ global, dont nous vous avons parlé plus haut.

A partir des graphiques 4 et 5, l'évolution des besoins en eau et de ce rapport K, peut être suivie au cours du cycle des cultures. Le graphique 6 met en évidence la proportionnalité existant entre les besoins en eau d'une culture (mil) et la longueur du cycle végétatif, à plusieurs niveaux de demande évaporative.

TABLEAU N°I

Mesure des besoins en eau de quelques cultures, au CNRA de Bambey, dans l'ordre croissant des besoins

CULTURE	Besoins en eau, en mm correspondant à une saison de demande évaporative moyenne* N.B.1. (période 1972-77)	Besoins extrêmes correspondant aux demandes évaporatives les plus fortes et les plus faibles (période 1972-77	K coefficient de culture = Besoins en eau / EV bac
Mil Gam Nain 75 jours	327	368 - 293	0,67
Niébé B 21 75 jours	373	420 - 334	0,76
Arachide V. 55-437/90 jours	411	453 - 376	0,72
Mil Souna 90 jours (moy. 2 années)	415	457 - 378	0,73
Arachide V. 57-422/105 jours	528	561 - 482	0,78
Arachide V. 28-206/120 jours	538	560 - 490	0,69
Mil Sanio 120 jours (moy. 2 années)	600	624 - 546	0,76

N.B.1. : La demande évaporative a été chiffrée à partir des relevés d'évaporation d'une nappe d'eau libre, dans un bac normalisé classe A, installé au-dessus d'un sol non arrosé et nu.

.../...

TABLEAU N°II

Principaux résultats concernant l'alimentation hydrique des cultures dans la zone de Bambey

- ETM = Besoins en eau (irrigation en complément des pluies si nécessaire) ou évapotranspiration maximale : chiffre de l'année, extrême et moyenne.
- ETR = Consommation hydrique en conditions pluviales strictes ou Evapotranspiration réelle.
- i = Irrigation, avec dose totale en mm.

La consommation hydrique est chiffrée pour les traitements ETM à plusieurs niveaux de demande évaporative, observée pendant la période 1972-1977 (3ème colonne).

Niveau de l'année de mesure (- niveau maximum - moyenne 72-77 - niveau minimum)

CULTURE	Traitement	Consommation hydrique en mm		Rendements kg/ha		Eau consommée en l /K.M.S.		K = ETM / Ev Bac
				Grain Gousse et H %	Mat.sèc. aérienne tot.	Grain	M.S. totale	
Mil Souna 90 j 1973	Arrosé (ETM) i=68 mm	417	451 409 374	2690 (7,8 %)	10.120	1681	412	0,72
Pluie = 400 mm	Non arrosé (ETR)	378		2770 (5,4 %)	9.879	1443	383	
Mil Souna 90 j 1974	Arrosé (ETM) i=73mm	416	465 422 386	2948 (5,4 %)	9.760	1492	426	0,74
Pluie = 492 mm	Non arrosé (ETR)	415		2951 (5,2 %)	9.573	1483	434	

.../...

TABLEAU N°II (suite)

CULTURE	Traitement	Consommation hydrique en mm		Rendements kg/ha		Eau consommée en l/K.M.S.		K = ETM / Ev Bac
				Grain Gousse et H %	Mat.sèc. aérienne tot.	Grain	M.S. totale	
Mil nain GAM 75 j 1974	Arrosé (ETM) i=51 mm	320	369 327 294	2151 (9 %)	9.368	1635	342	0,67
Pluie = 447 mm	Non arrosé (ETR)	324		2288 (8,3 %)	9.250	1544	350	
Mil Sanio 120 j Souche Maka 1976	Arrosé (ETM) i=215 mm	562	610 592 533	2035 (7,5 %)	16.668	2986	337	0,75
Pluie = 399 mm	Non arrosé (ETR)	403		1092 (7,4 %)	12.257	4045	334	
Mil Sanio 120 j Souche Bambey 1977	Arrosé (ETM) i=283 mm	628	634 610 555	1623 (3,5 %)	16.227	4010	387	0,77
Pluie = 374 mm	Non arrosé (ETR)	397		153 (3,5 %)	10.907	26890	364	
Arachide 105 j V. 57-422 1973	Arrosé (ETM) i=147 mm	548	564 528 484	3660(G) (5,2 %)	8.060	2080	680	0,78
Pluie = 400 mm	Non arrosé (ETR)	398		2974(G) (5,3 %)	8.047	1884	495	
Arachide 90 j V. 55-437 1974	Arrosé (ETM) i=72 mm	405	453 411 376	2945(G) (6,0 %)	5.392	1977	751	0,72
Pluie = 492 mm	Non arrosé (ETR)	402		2705(G) (5,8 %)	5.113	2132	786	
Arachide 120 j V. 28-206 1976 *N.B.1.	Arrosé (ETM) i=134 mm	468	509 485 444	2927(G) (5,0 %)	6.266	2244	747	0,62
Pluie = 399 mm	Non arrosé (ETR)	379		2236(G) (5,3 %)	5.257	2386	721	

.../...

TABLEAU N°II (suite)

CULTURE	Traitement	Consommation hydrique en mm		Rendements kg/ha		Eau consommée en l/K.M.S.		K = ETM / Ev Bac
				Grain Gousse et H %	Mat.sèc. aérienne tot.	Grain	M.S. totale	
Arachide 120 j V. 28-206 1977	Arrosé (ETM) i=259 mm	557	560 538 490	3698(G) (3,8 %)	7.225	2088	771	0,69
Pluie = 374 mm	Non arrosé (ETR)	387		1309(G) (3,8 %)	4.715	4098	821	
Niébé 75 j V. 8-21 1975	Arrosé (ETM) i=28 mm	335	421 373 335	2012(G) (11,3 %) 1488(gr)	4.720	2538	710	0,76
Pluie = 533 mm	Non arrosé (ETR)	310		1898(G) (11,0 %) 1464(gr)	4.493	2379	690	

N.B.1. : Les besoins en eau de la variété d'arachide 28-206, mesurés en 1976, ne sont pas entièrement satisfaisants. Même avec 2927 kg de gousse/ha, cette culture n'a peut-être pas atteint son rendement potentiel, du fait d'un précédent sorgho défavorable ; une vigueur médiocre peut en effet expliquer des besoins en eau plus faibles que pour une variété 57-422 de 105 jours. En 1977, après un précédent mil sanio, l'arachide 28-206 atteint effectivement un rendement de 3698 kg/ha de gousse et 3668 kg/ha de paille (contre 3485 kg/ha de paille en 1976) ; quant à ses besoins en eau, ils passent cette fois à 538 mm, ce qui semble plus logique que les 485 mm de 1976.

.../...

TABLEAU N°III

Consommation hydrique d'une jachère d'herbe

CULTURE	Pluie en mm	Consommation hydrique en mm ETR = ETM		Rendement en paille par hectare	K
Jachère d'herbe en 1975 Couverture totale, dominante de graminées basses Période de 70 jours	432	276	346 307 276		0,65
Idem Période de 93 jours	534	375	452 410 375		0,68
Idem Période de 115 jours	542	535	612 588 535		0,78
Idem, à épuisement des réserves hydriques du sol (Janvier 1976) ; envahissement par Merrinmia tridentale	542	ETR = 602		8.1 tonnes (à 0,0 %)	

N.B. : Les chiffres de consommation hydrique correspondent bien à des évapotranspirations maximales (ou ETM), c'est-à-dire à des besoins en eau, pendant les périodes de fourniture hydrique suffisante (pluie de l'année, plus réserve hydrique initiale du sol). En revanche, après 115 jours, il y a une limitation hydrique et il faut alors parler d'évapotranspiration réelle et non plus maximale. Du fait des réserves hydriques initiales, l'ETR totale a pu dépasser la pluviométrie de la saison.

.../...

IV. GENERALISATION DES RESULTATS DE BAMBEY AUX REGIONS NORD ET CENTRE DU SENEGAL : (Références bibliographiques N°11 & 14)

Comme nous l'avons déjà dit précédemment, les besoins en eau sont proportionnels à la demande évaporative (d'ordre climatique). Nous avons recommandé de chiffrer cette demande évaporative grâce à une mesure relativement simple qui serait de préférence celle de l'évaporation de l'eau libre dans un bac normalisé classe A (O.M.M.), graphique N°7. Le réseau de bacsclasse A n'étant pas encore assez important et ancien, nous pouvons en revanche caractériser la demande évaporative d'une station, pendant la saison des pluies, à partir d'excellentes corrélations existant entre la pluviométrie et cette évaporation bac, soit à l'échelle du mois, soit à l'échelle de toute la période possible de pluie (entre Juin et Octobre).

a) Relation globale pour toute la saison des pluies (Juin à Octobre compris) :

$$Ev = 10.4 - 0.1947\ P - 0.0037\ Pm + 0.0031\ C$$

Ev est l'évaporation en mm/jour pendant la saison entière. P est la pluviométrie pendant la même période, en mm/j, Pm est la pluviométrie totale des 5 mois, en mm, pour la période des x années de relevés, C est la continentalité qui s'exprime en km séparant à vol d'oiseau la station de la côte océanique.

b) Relations mensuelles :

Du même type, elles ont été établies soit pour des mois de transition (Juin ou Juillet), soit pour des mois de plein hivernage (Août, Septembre ou Octobre).

Ces relations établies entre les années 1971 et 1976, sont caractéristiques d'années pluviométriques déficitaires et donc d'années à demande évaporative anormalement élevée. Elles ne pourront être vraiment généralisées que pour une période plus grande de comparaison, englobant à la fois des années sèches et d'autres à pluviométrie normale à excédentaire. Pour le moment, nous surestimons donc la demande évaporative, en travaillant dans une optique d'adaptation aux conditions actuelles de sécheresse.

La relation globale indiquée plus haut ou une autre encore plus simple ne tenant compte que de la pluviométrie des 5 mois concernés, permet d'effectuer le genre de classement suivant, basé sur des coefficients de demande

.../...

TABLEAU N°IV

Gradient de demande évaporative
dans la moitié Nord du pays

STATIONS	CEOFFICIENT	STATIONS	COEFFICIENT
PODOR	1,41	DAKAR	1,11
DAGANA	1,30	BAMBEY	1,00
SAINT-LOUIS	1,30	DIOURBEL	0,97
LOUGA	1,16	BAKEL	0,95
LINGUÈRE	1,14	MBOUR	1,01
DAHRA	1,15	FATICK	0,96
KAEDI (MAURITANIE)	1,19	KAOLACK	0,92
MATAM	1,15	KAFFRINE	0,93
TIVAOUANE	1,05	KIDIRA	0,95

Ainsi, à partir de ce tableau, on peut estimer que, si une culture a besoin de 400 mm d'eau à BAMBEY, elle aura besoin par exemple :

- de 400 x 1,30 = 520 mm à DAGANA
- de 400 x 0,92 = 368 mm à KAOLACK.

.../...

évaporative calculés en prenant Bambey comme base de référence graphique N°8. Les besoins en eau sont en effet mesurés actuellement à Bambey, sauf ceux du riz pluvial qui sont déterminés en basse Casamance (Djibélor).

Une généralisation à l'échelle de grandes régions, tenant compte des probabilités de durée de la saison de pluies et de pluviométrie, du stockage de l'eau dans les différents types de sols, et enfin des besoins en eau de la culture, permet d'aboutir à l'esquisse de cartes d'adaptation des principales cultures sénégalaises (graphiques N°9 à 12).

Ces cartes d'adaptation et de probabilité de réussite peuvent avoir un grand intérêt, tant pour fixer les orientations de la recherche, que pour aider les organismes de vulgarisation. Une tentative de ce genre a été faite en ce qui concerne les mils à cycle court, pour la moitié Nord du pays (publication N°11 de la liste bibliographique).

V. COMMENTAIRES SUR LES TABLEAUX I A III DES BESOINS EN EAU (OU EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE ETM) :

a) Pendant la saison des pluies, l'évapotranspiration potentielle ETP (assimilée aux pertes d'eau maximum d'un gazon en pleine végétation, sous un climat donné, pour lequel l'énergie disponible serait le seul facteur limitant), est en moyenne égale à 0,75 fois l'évaporation de l'eau libre dans un bac normalisé classe A. Il est donc facile d'estimer cette ETP à partir des éléments fournis dans le tableau (ETM et K), à partir d'une simple règle de trois :

$$ETP = \frac{ETM \times 0,75}{K}$$

en effet, ETP = 0,75 Ev bac et Ev bac = $\frac{ETM}{K}$ (ou $K = \frac{ETM}{Ev\ bac}$).

Pour le mil GAM et pour la jachère d'herbe en 1975, l'évapotranspiration réelle ETR est assimilée à une évapotranspiration maximale ETM pendant la période de fourniture optimale de l'eau ; en effet, il n'y a pas eu d'arrosage complémentaire, mais les pluies et les réserves hydriques initiales du sol ont suffi pour couvrir les besoins en eau de ces couverts végétaux.

b) Le nombre de litres nécessaires pour fabriquer un kilo de grain ou de partie aérienne sèche (paille + rachis + grain ou gousse) caractérise assez bien l'aptitude diverse des plantes à économiser l'eau. On pourrait aussi exprimer cette aptitude par le nombre de kilos du produit recherché, obtenu grâce à la consommation d'un millimètre d'eau ou encore de 10 m3 d'eau par

hectare : le lecteur peut se livrer facilement à ce genre de calcul.

On s'aperçoit que les mils Souna de 90 jours peuvent, en bonnes conditions de culture, se contenter de moins d'eau (ramenée au nombre de litres par kilo de grain sec produit) que les légumineuses mentionnées.

Les mils GAM en début d'amélioration (ce sont des mils nains à cycle très court, de 70 à 75 jours) et dont les rendements grain sont encore insuffisants et inférieurs à ceux des mils Souna pendant la saison des pluies, assurant par contre cette production en une durée bien moindre ; aussi peuvent-ils avoir des performances déjà égales à celles des mils Souna, en ce qui concerne le nombre de litres d'eau nécessaire par kilo de grain : 1635 en 1974, contre 1680 en 1973 pour le mil Souna II. Ces performances devraient s'améliorer sensiblement avec les travaux de sélection entrepris sur ce matériel végétal.

Si on considère maintenant la quantité d'eau nécessaire pour la fabrication d'un kilo de matière sèche aérienne totale (pailles + rachis + grains ou gousses) les mils sont, une fois de plus, nettement plus économes en eau que les légumineuses : les mils GAM sont alors nettement en tête du point de vue rentabilisation de l'eau. A noter qu'une variété d'arachide réputée bien adaptée à la sécheresse comme la variété 55-437, l'est effectivement assez bien en vue de la productions de graines, en comparaison avec la 57-422 (1977 litres au lieu de 2080), mais beaucoup moins bien au point de vue de la production de paille. Tout dépend de l'objectif fixé à la sélection et il est bien sûr difficile de viser en même temps - des consommations hydriques plus faibles, de bonnes productions en grains et en paille à la fois.

Une forte production de partie verte (pailles et feuilles) va de pair pour l'arachide avec d'importantes pertes hydriques par transpiration et il serait intéressant de comparer entre elles, du point de vue hydrique, des variétés à vocation purement fourragère. Les cultures fourragères peuvent prendre, en effet, dans un proche avenir, une grande importance mais il ne faut pas que ce soit au préjudice de l'économie de l'eau. Il n'est donc pas exclu que nous en arrivions prochainement à tester sur notre dispositif, des cultures fourragères et non plus vivrières exclusivement.

.../...

VI. QUELQUES APPLICATIONS DES MESURES DE BESOINS HYDRIQUES RELATIVES A LA GESTION AGRICOLE DE L'EAU ET A L'ORIENTATION DES RECHERCHES : (références bibliographiques N°4, 6, 10, 11, 12 et 14)

1. Choix des espèces et variétés cultivées :

Les applications que l'on peut tirer de ces connaissances sur les besoins en eau sont évidentes. Les chiffres et les graphiques sont éloquents (graphiques N°4, 5 et 6).

Pour une année de demande évaporative moyenne (1972-1977), les besoins en eau peuvent, à conditions de sol et de climat égales, aller de 330 mm pour un mil de 75 jours à 600 mm pour un mil Sanio de 120 jours ; les besoins sont en gros proportionnels à la durée du cycle végétatif de la plante (graphique N°6).

Sur le graphique N°5, la différence de consommation hydrique entre une jachère d'herbe de longue durée et une culture de cycle court comme le niébé, ressort très bien.

Le choix de la culture pour économiser de l'eau est donc primordial : par ce choix, on s'adapte dans une zone donnée, à la durée de la saison des pluies utileset à la pluviométrie que l'on peut espérer (à des seuils de probabilité de 80 % par exemple) (graphiques en annexe, N°9 à 12).

Si l'on s'arrange pour que l'on puisse disposer d'une marge appréciable entre la pluviométrie P et les besoins en eau ETM de la culture, c'est toute la gestion de l'eau qui peut être modifiée dans un sens favorable (outre la bonne satisfaction des besoins hydriques qui assure une production optimale).

Un exemple :

. Pluviométrie de Bambey en 1975	= 545 mm
. Besoins en eau d'un niébé en 1975	= 335 mm
Excédent hydrique	= 210 mm

(Rappelons entre parenthèses que ces 210 représentent 2100 m3 d'eau par hectare !... Par ailleurs, la pluviométrie normale de Bambey sur 55 ans est de 644 mm).

Devenir de cet excédent hydrique (estimations) :

. Evaporation à la surface du sol nu, en saison sèche..... 30 mm

. Stockage par dry-farming dans le sol, dans la zone d'enracinement possible d'une culture annuelle classique (volant de

.../...

sécurité pour l'année suivante)..... 100 mm

. Accumulation en profondeur = alimentation hydrique des arbres et percolation vers la nappe..... 80 mm (maintien du couvert arboré, alimentation hydrique humaine et animale, projets d'irrigation, etc...).

2. Jachère d'herbe ou cultures fourragères ?

La jachère d'herbe abandonnée à elle-même, reste verte jusqu'à épuisement complet des réserves hydriques du sol, sur 3 à 4 m de profondeur. Par contre, l'essentiel de la matière sèche est produit au bout de 60 à 70 jours. Nous avons mentionné dans le tableau III, ses besoins hydriques cumulés, à partir du 70ème jour et tant que l'eau (totalité des pluies + réserves hydriques initiales profondes) n'a pas été pour cette jachère un facteur limitant de sa végétation. En général, la jachère d'herbe qui n'est pas exploitée rationnellement, consomme toute la pluviométrie tombée pendant l'hivernage, plus les réserves hydriques initiales (de l'hivernage précédent) lorsqu'il y en a. Ainsi, sur certains emplacements du CNRA de Bambey, la jachère a pu consommer, après être restée verte jusqu'en Janvier 1976, plus de 600 mm, alors que la pluviométrie de 1975 avait été de 542 mm. Le stock hydrique initial provenait d'un précédent sorgho CE 90 en 1974.

Une solution économique (sur le plan hydrique du moins) serait de faucher cette jachère entre 60 et 70 jours ; l'essentiel de la production de matière sèche est alors assuré. De nombreux problèmes techniques resteraient à résoudre : coupe, séchage et forme de stockage, techniques culturales post-récolte, etc...

Pratiquement, le problème de la jachère d'herbe est en cours de solution, du fait de sa disparition quasi totale, sous des pressions d'ordre démographique et économique, notamment dans le bassin arachidier.

Nous souhaitons donc qu'en vue de l'affourragement du bétail, elle soit remplacée par des cultures fourragères (graminées ou légumineuses) de cycle court : 70 à 75 jours, qui consommeraient entre 275 et 350 mm et permettraient d'assurer une gestion hydrique saine. Ce processus de remplacement de la jachère d'herbe par des cultures fourragères serait déjà amorcé d'après le service de zootechnie et d'après les vulgarisateurs SODEVA de la région de Diourbel.

3. "Sécurisation" de la production ou valorisation maximale et immédiate de l'eau ?

Dans une optique qui ne serait plus celle de la "sécurisation de la production (technique de dry farming assurant une réserve d'eau pour la campagne agricole suivante), mais celle de la valorisation maximale et immédiate de l'eau, la recherche commence à tester sur le plan de la rentabilité et de l'économie de l'eau des cultures dites "dérobées" c'est à dire semées dans les interlignes de la culture principale de cycle court, un mois avant la récolte de cette première culture. Ces cultures "dérobées" pourraient être soit des cultures vivrières, soit des cultures fourragères, elles-mêmes de cycle court. Un schéma de ce type peut être envisagé dans le Centre du pays.

Stade	Cultures	Besoins hydriques	Observations
1er mois	Mil Souna	100 mm	
2ème mois	Mil Souna	180 mm	
3ème mois	Mil Souna (3è mois) + Niébé 75 j (1er mois)	180 mm (plafond imposé par l'ETP)	le niébé bénificie de l'effet brise-vent de la culture haute (Souna)
4ème mois	Niébé 2ème mois	150 mm	pailles de mil sur pied gardées comme brise-vent ou desouchées pour assurer un paillage
15 derniers jours	Niébé : 15 derniers jours	60 mm	
Total = 4, 5 mois	Mil Souna assuré Niébé aléatoire	650 mm	

.../...

Ce schéma devrait avoir environ 50 % de chances de donner entière satisfaction (à la fois pour la culture principale et pour la culture dérobée, la culture principale gardant pratiquement toutes ses chances de succès) dans une zone comme celle de Bambey où la pluviométrie moyenne est de 644 mm. A noter d'ailleurs qu'un niébé précoce peut produire des gousses à partir du 60ème jour (récolte échelonnée entre le 60ème et le 75ème jour) et que de toutes façons, une production fourragère appréciable serait toujours assurée.

La technique (susceptible d'amélioration) serait plus valable bien sûr pour la moitié sud du pays, dans le cadre d'une intensification de la production.

Ce choix entre "sécurisation" et "valorisation immédiate" est à discuter entre les spécialistes du Développement et ceux de la Recherche, mais encore faut-il que dès maintenant la Recherche se mette en mesure de fournir, au moyen d'une expérimentation "ad-hoc", les éléments chiffrés nécessaires : et ceci en termes de consommation hydrique, de TEMPS de travaux, de rendements et de revenu monétaire. Enfin, des solutions intermédiaires entre les deux options ne seraient pas à exclure, puisqu'en agriculture il convient de ne "jamais mettre tous les oeufs dans le même panier".

Les premières observations réalisées à Bambey en 1976 et 1977, par la recherche sur le niébé "dérobé", au cours de deux années exceptionnellement déficitaires (400 mm en 1976 et 374 en 1977 !) sont encourageantes. Même si les besoins en eau de la culture principale ne sont pas parfaitement assurés du fait de la mauvaise répartition des pluies et de leur insuffisance, la culture du niébé donne quelques résultats intéressants. La technique peut aussi être améliorée par l'adoption d'écartements plus favorables entre les lignes de la culture haute : mil Souna semé par exemple à 180 cm d'interligne et 45 sur la ligne, au lieu de 90 x 90 cm. Quant à la concurrence du niébé pour le mil, pendant le mois d'association, elle est négligeable, compte tenu du très faible développement de ces niébés en début de cycle.

4. <u>Réduction des besoins en eau des cultures</u> : (références bibliographiques N°8 et 10)

Les besoins en eau indiqués, peuvent être réduits par divers procédés à étudier par la recherche dans le cadre de la lutte contre la sécheresse. Il s'agit des moyens suivants :

.../...

- Réduction des pertes d'eau par évaporation à la surface du sol, au moyen de travaux du sol adaptés (labours, binages, paillages, divers procédés artificiels...) et appliqués avant, pendant ou après la culture.;

- Réducteurs de croissance et anti-transpirants (voir les travaux sur le coton et l'arachide).

- Brise-vent et cultures associées, la culture haute protégeant la culture basse. Les arbres (et particulièrement les Kads ou Acacia Albida) du paysage rural sénégalais traditionnel, assurent d'ailleurs ce rôle avec efficacité, vis-à-vis des cultures sous-jacentes. Trois strates sont à considérer : celle de l'arbre, celle des cultures hautes (mil, sorgho, maïs etc...) et celle des cultures basses (niébé, arachide...).

- Modification de la plante (architecture nouvelle), sélection basée sur des réactions physiologiques particulières vis-à-vis de l'assimilation de l'eau ou de sa perte par transpiration etc...). Ces axes de travail relèvent en fait du premier paragraphe de ce chapitre (choix des espèces et des variétés cultivées) et sont considérés avec beaucoup d'attention par les spécialistes de l'amélioration des plantes (généticiens, sélectionneurs et physiologistes).

5. Suivi de la campagne agricole sur le plan de l'alimentation hydrique : (référence bibliographique N°13)

A la demande des Services nationaux intéressés, un essai de suivi agro-pluviométrique de 25 stations réparties dans le pays a débuté pendant la saison des pluies 1977 avec l'aide du Service Météorologique National. La méthode consiste, pour chaque poste, à comparer au fur et à mesure du déroulement de la saison, les courbes cumulées de pluviométrie et de besoins en eau. Ces besoins en eau sont estimés à partir d'une généralisation des mesures de Bambey, (application par rapport à Bambey), de coefficients tenant compte du gradient de demande évaporative, et application de la règle de proportionnalité entre la durée du cycle de végétation et les besoins en eau). La pluviométrie de l'année est aussi comparée à la pluviométrie normale pour une période dépassant 30 ans. Les périodes de déficit ou d'excédent d'alimentation hydrique ressortant assez bien de la superposition des courbes de pluviométrie et de besoins en eau. A titre d'exemple, le lecteur trouvera en annexe le graphique N°13 relatif à la station de Thiès.

.../...

VII. CONCLUSION :

Rien ne doit être négligé dans le cadre de l'économie de l'eau en pays semi-aride. Le moindre millimètre d'eau épargné représente un litre par mètre carré ou encore dix mètres cubes par hectare. Tout millimètre d'eau supplémentaire mis à la disposition de la plante peut entraîner une augmentation de rendement appréciable : par exemple, 13 kg de grain par hectare, pour un mm d'eau supplémentaire, en période de besoin, d'après nos courbes de réponse à l'eau, en conditions pluviales et en station, pour le mil Souna (graphique N°14).

La recherche dispose de techniques efficaces proposables à la vulgarisation pour mettre en oeuvre en milieu paysan, une gestion économique de l'eau. Cependant, la recherche comme la vulgarisation, s'accorderont probablement pour reconnaître qu'il reste encore beaucoup à faire dans ce domaine de l'économie agricole de l'eau.

Il conviendra de chiffrer du point de vue hydrique certaines techniques, de les introduire et de les tester dans des systèmes cohérents et viables, beaucoup plus que d'en inventer de nouvelles. En fait, une grande partie de l'expérimentation agricole doit être revue et corrigée en termes de bilan hydrique intégré au niveau de tout un terroir.

Il faut surtout se rendre compte qu'une mise en culture rationnelle à base d'espèces et de variétés adaptées aux conditions pluviométriques (c'est à dire consommant moins d'eau que la pluviométrie utile, espérée à un seuil de 80 % de chance) permet d'envisager une lutte efficace contre la sécheresse et la désertification.

Certains écologistes prônent parfois de façon irréaliste des solutions telles que mises en défense ou en friches systématiques, reforestations trop denses par rapport aux disponibilités hydriques, retour à des jachères de longue durée, etc... ; toutes ces solutions permettent certes de protéger les sols de l'érosion et de la dégradation, mais entraînent de très fortes consommations hydriques et excluent trop facilement toute production agricole compatible avec le maintien d'une population rurale importante.

Le recours aux variétés à cycle court et à faible consommation hydrique devient de plus en plus un des meilleurs moyens d'assurer :

- des rendements intéressants et stables ;

.../...

- les travaux du sol qui s'imposent (dans les sols sableux en particulier), dans d'excellentes conditions, à des fins d'amélioration de la fertilité mais aussi de lutte contre l'érosion (pluviale ou éolienne) ;
- une économie importante de l'eau.

Cette économie et ce stockage de l'eau dans le sol, que seule une mise en culture rationnelle permet de réaliser, représentent la solution la plus sûre pour atteindre par ailleurs les objectifs suivants, tous vitaux sur le plan agricole, social et économique :

- constitution d'une réserve de sécurité pour la saison des pluies suivante ;
- maintien du couvert arboré et aménagement du paysage rural ;
- recharge des nappes en vue de la satisfaction des besoins humains et animaux, et d'un recours éventuel à l'irrigation (de saison sèche ou en complément des pluies).

-:-:-:-:-:-

A N N E X E S

A. Bibliographie résumée

B. Graphiques et tableaux

1. Démarche de la recherche "eau-sol-plante".
2. Evolution des profils d'humidité dans le sol.
3. Dispositif de mesure des besoins en eau du CNRA de Bambey.
4. Besoins en eau des mils, arachides et niébés.
5. Besoins en eau du niébé et de la jachère.
6. Besoins en eau du mil en fonction de la durée de son cycle.
7. Illustration du gradient de demande évaporative = évaporation d'eau libre dans un bac normalisé classe A sur un sol nu, dans diverses stations du Sénégal.
8. Carte des variations de demande évaporative au Sénégal, pendant les mois de saison des pluies (période 1971-1976).
9. Pluviométrie moyenne au Sénégal.
10. Pluviométrie que l'on peut espérer atteindre ou dépasser dans 80 % des années au Sénégal.
11. Durée de la saison des pluies utile que l'on peut espérer atteindre ou dépasser dans 80 % des années, dans la moitié Nord du Sénégal.
12. Possibilités de réussite des mils de cycle court, dans la moitié Nord du pays (considérations agro-pluviométriques).

13 et 14. Suivi de la saison des pluies en 1977, à Louga et à Bambey.

15. Approche de bilan hydrique intégré pour la zone de Bambey-Diourbel.

.../...

A. **Bibliographie résumée concernant les besoins en eau des cultures sénégalaises :**

1. "National evaporation from water, bare soil and grass " PENMAN - 1948 - Proceedings Royal Society - London - Serie A, Vol 193.
2. "Quelques données agroclimatologiques de 16 stations du Sénégal" (période 1932-1965) - Ministère Plan et Développement - Dakar - Avril 1967.
3. "Etude des principaux facteurs agrométéorologiques au Sénégal" M. SECK Météorologie Nationale - Agron. Trop. Vol XXV N°3, Mars 1970.
4. "Les objectifs de l'amélioration variétale face aux contraintes du milieu" J.C. MAUBOUSSIN ISRA Bambey - 1973 Doc. Ronéo.
5. "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" - 32 p., 17 grap., 4 tabl., 30 réf. bibl. C. DANCETTE ISRA CNRA Bambey. Mai 1973 - Doc. Ronéo. et Agro. Trop. XXXI-4 - Oct. Déc. 1976.
6. "Sauvetage de la zone Nord de la région de Diourbel" D. SENE et C. DANCETTE ISRA CNRA Bambey - Octobre 1973.
7. "Les besoins en eau des plantes de grande culture au Sénégal" C. DANCETTE ISRA CNRA Bambey. Publié dans "Isotopes and radiation techniques in soil physics and irrigation studies" AIEA Vienne 1974 - Communication au Colloque de Vienne (AIEA Oct. 1973) sous le N°SM XXXX 176-36 - 10 p., 6 grap., 4 tabl., 25 réf. biblio.
8. "Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal - Conséquences sur leur alimentation hydrique" J.L. CHOPART et R. NICOU ISRA CNRA Bambey - Agro. Trop. XXXI-1 - Janvier-Mars 1976.
9. "Les besoins en eau des cultures (compte rendu des travaux réalisés à Guédé et à Kaédi)" D. RIJKS - FAO OMVS - 1971-1974 - DT 130 - Juillet 1974.
10. "Comment adapter les cultures à l'aridité du milieu et améliorer ce milieu ?" C. DANCETTE - 17 p., 11 graph., 51 réf. biblio. ISRA CNRA Bambey - Conference Atelier sur le Sahel - CILSS Février 1975.

.../...

11. "Cartes d'adaptation à la saison des pluies des mils à cycle court, dans la moitié Nord du Sénégal" C. DANCETTE ISRA CNRA Bambey. Comité Consultatif AIEA Bambey - Nov. 1975 - 18 p., 10 graph., 18 réf. biblio. tech. doc. N°192 - Vienne 1976.

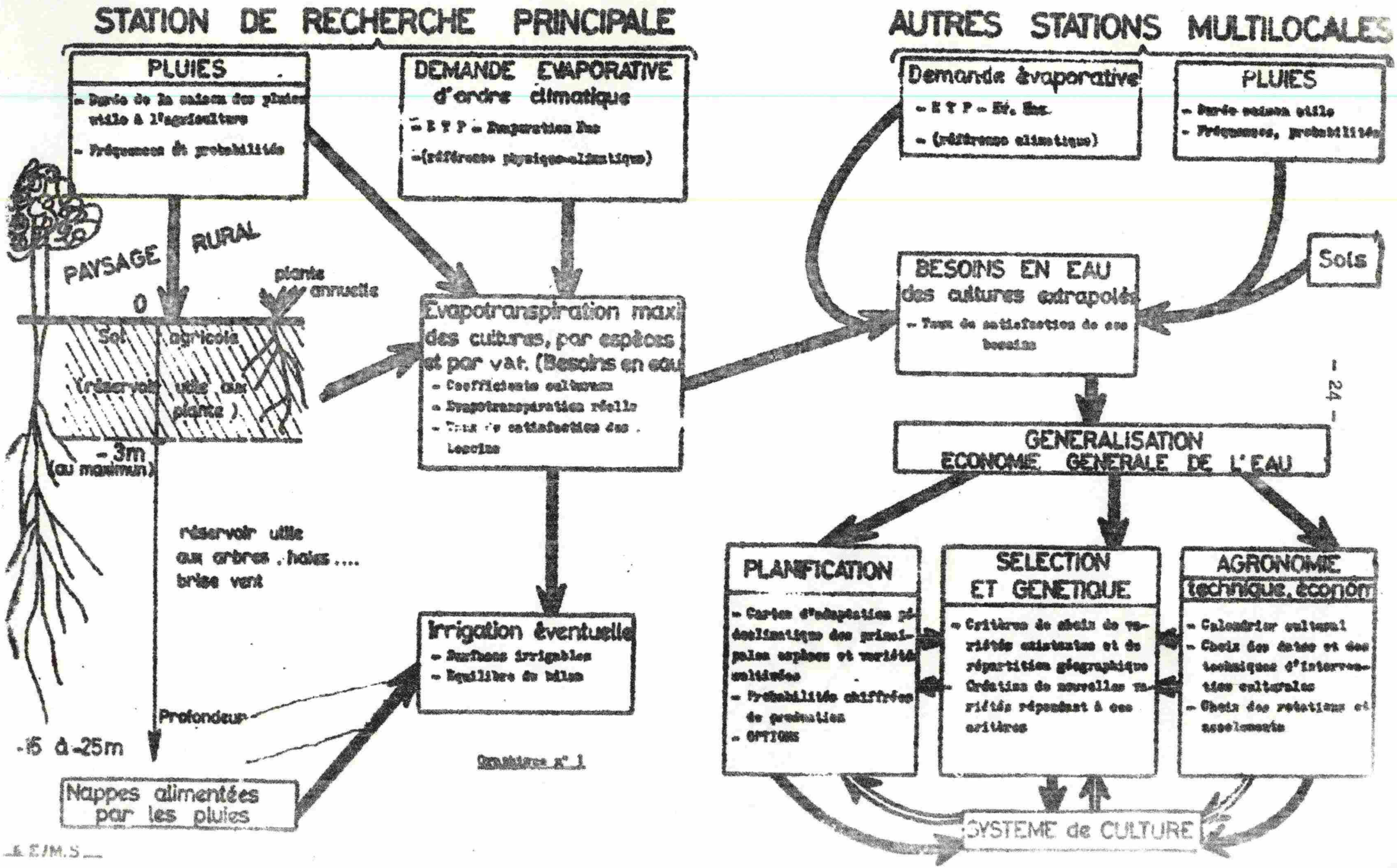
12. "Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau en zone soudano-sahélienne" C. DANCETTE ISRA CNRA Bambey - Avril 1977.

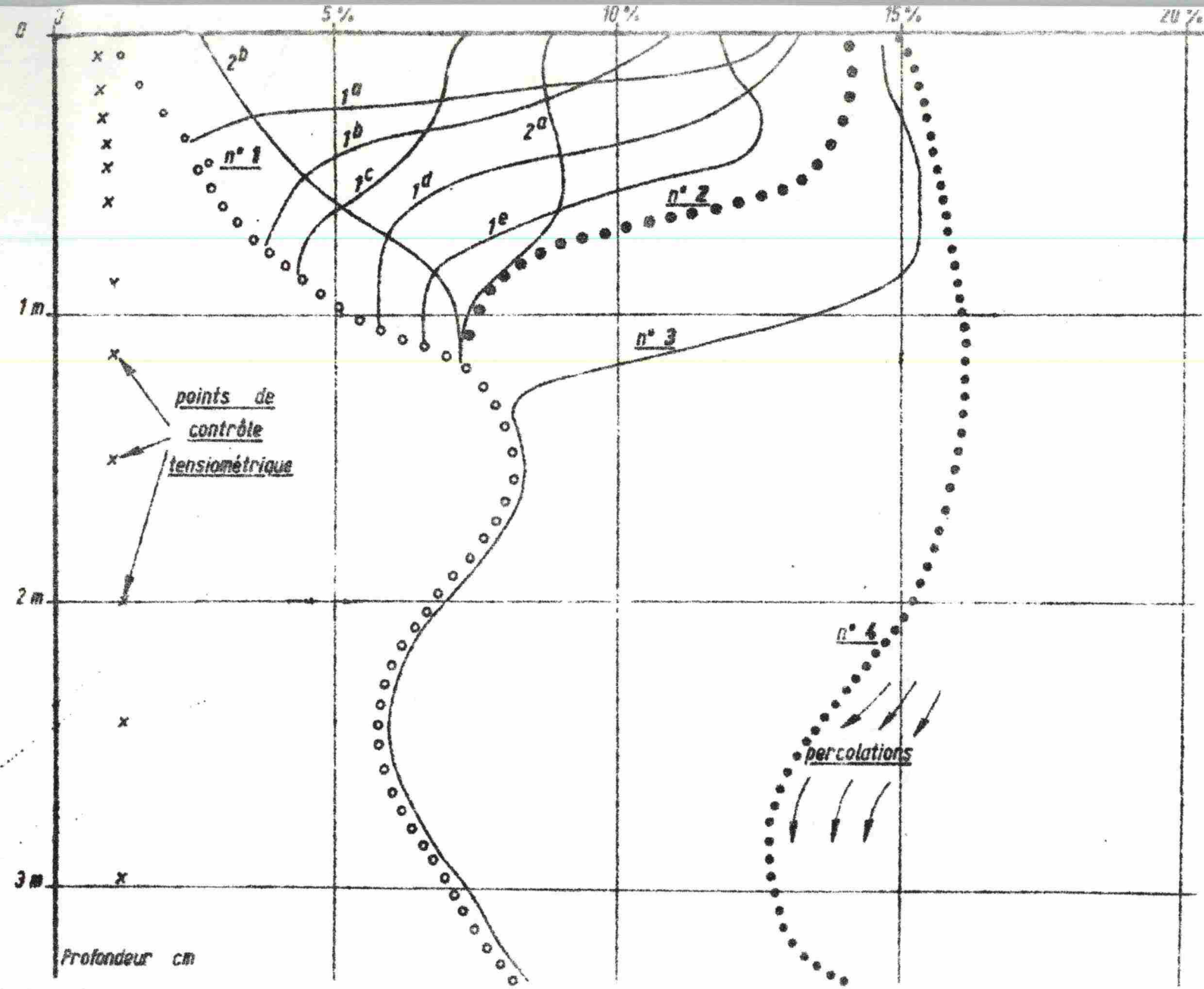
13. "Point de vue agroclimatique sur la saison des pluies 1977 au Sénégal à la date du 31 Ocotbre" C. DANCETTE ISRA CNRA Bambey - Décembre 1977 - avec l'aide de MM. SECK et A. NDIAYE Météo. Nationale et T.P.U.T.

14. "Besoins en eau et adaptation du mil à la saison des pluies au Sénégal" C. DANCETTE - document en instance pour Février 1978 (Colloque A.A.A. S.A.).

-:-:-:-:-:-

DEMARCHE DE LA RECHERCHE
EAU - SOL - PLANTE





PROFILS D'HUMIDITE

n° 1 - Profil initial de fin de saison sèche ; il correspond en gros au point de flétrissement permanent, sur le premier mètre.

n° 2 - Profil maximum atteint en cours de saison des pluies sous culture de mil non arrosée.

n° 3 - Profil maximum atteint en cours de saison des pluies sous une culture de mil, arrosée en complément des pluies (mesures des besoins hydriques).

n° 4 - Profil d'équilibre obtenu en sol nu depuis 5 ans (capacité de rétention).

DOMAINE D'EVOLUTION TYPIQUE DES PROFILS HYDRIQUES EN SOL SABLEUX CULTIVE OU NU

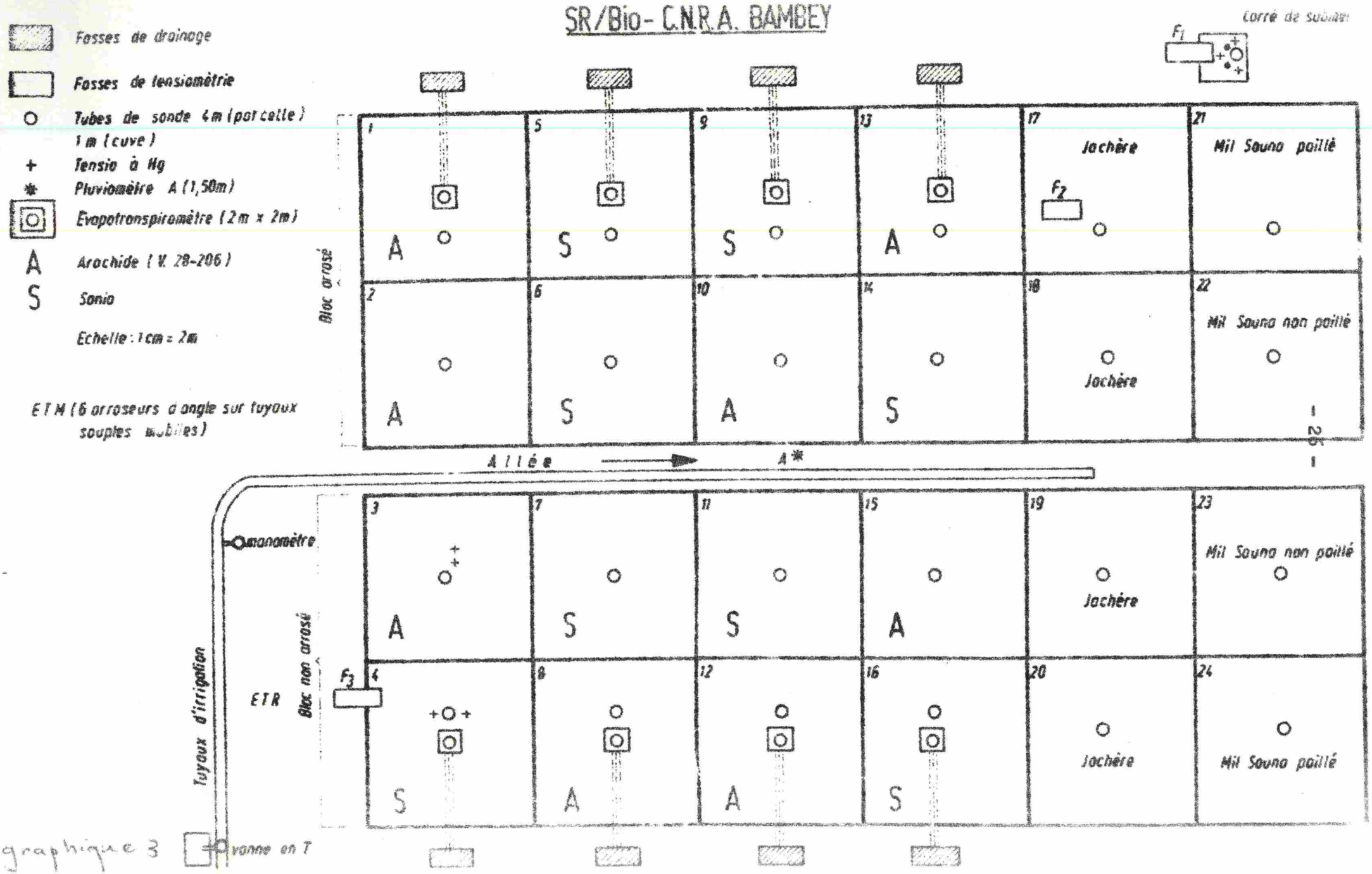
Graphique n° 2

G/M.S

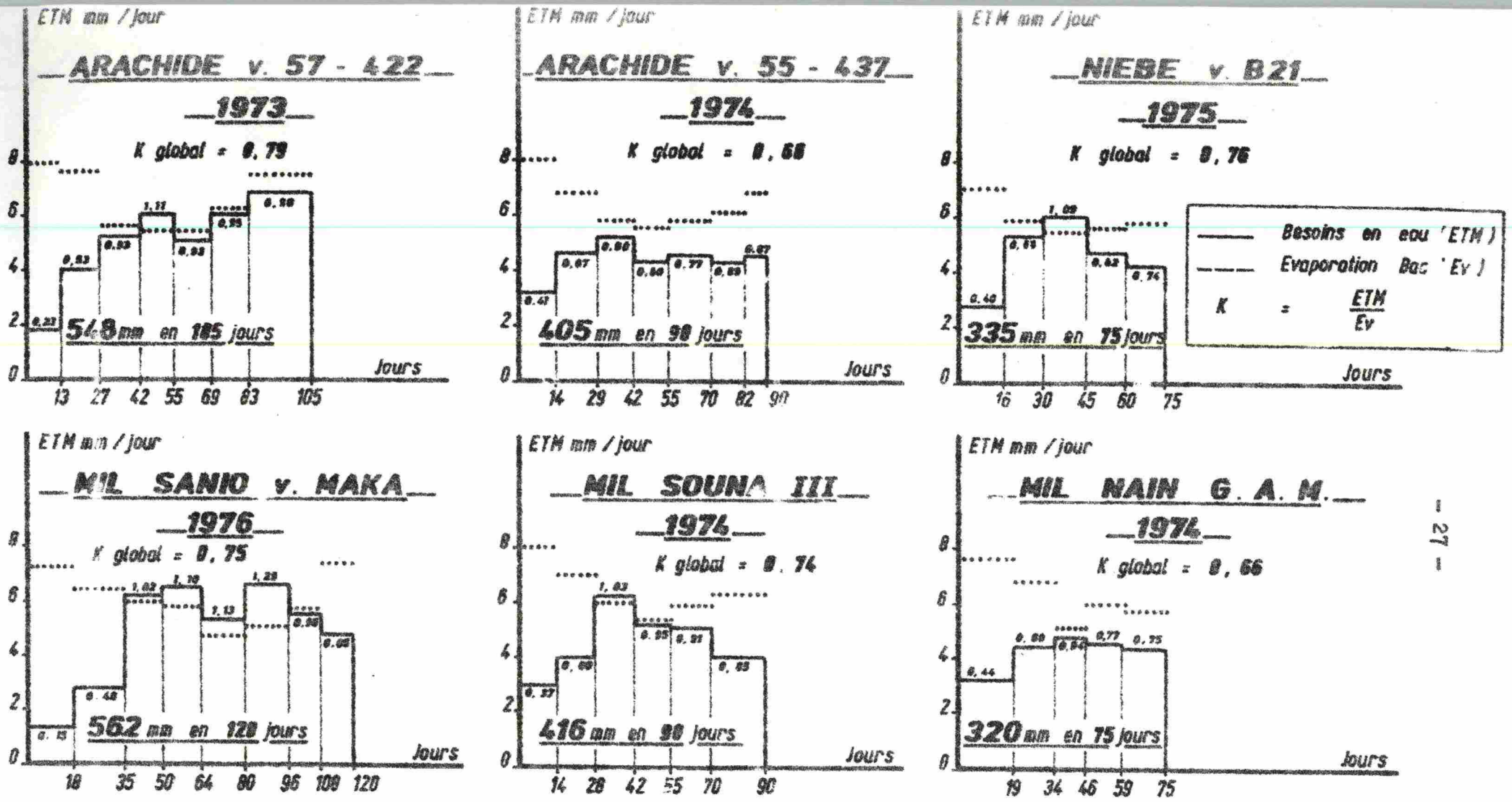
C. N. R. A. BAMBEY 1976

DISPOSITIF DES ESSAIS D'ALIMENTATION HYDRIQUE EN 1977

SR/Bio- C.N.R.A. BAMBEY



graphique 3

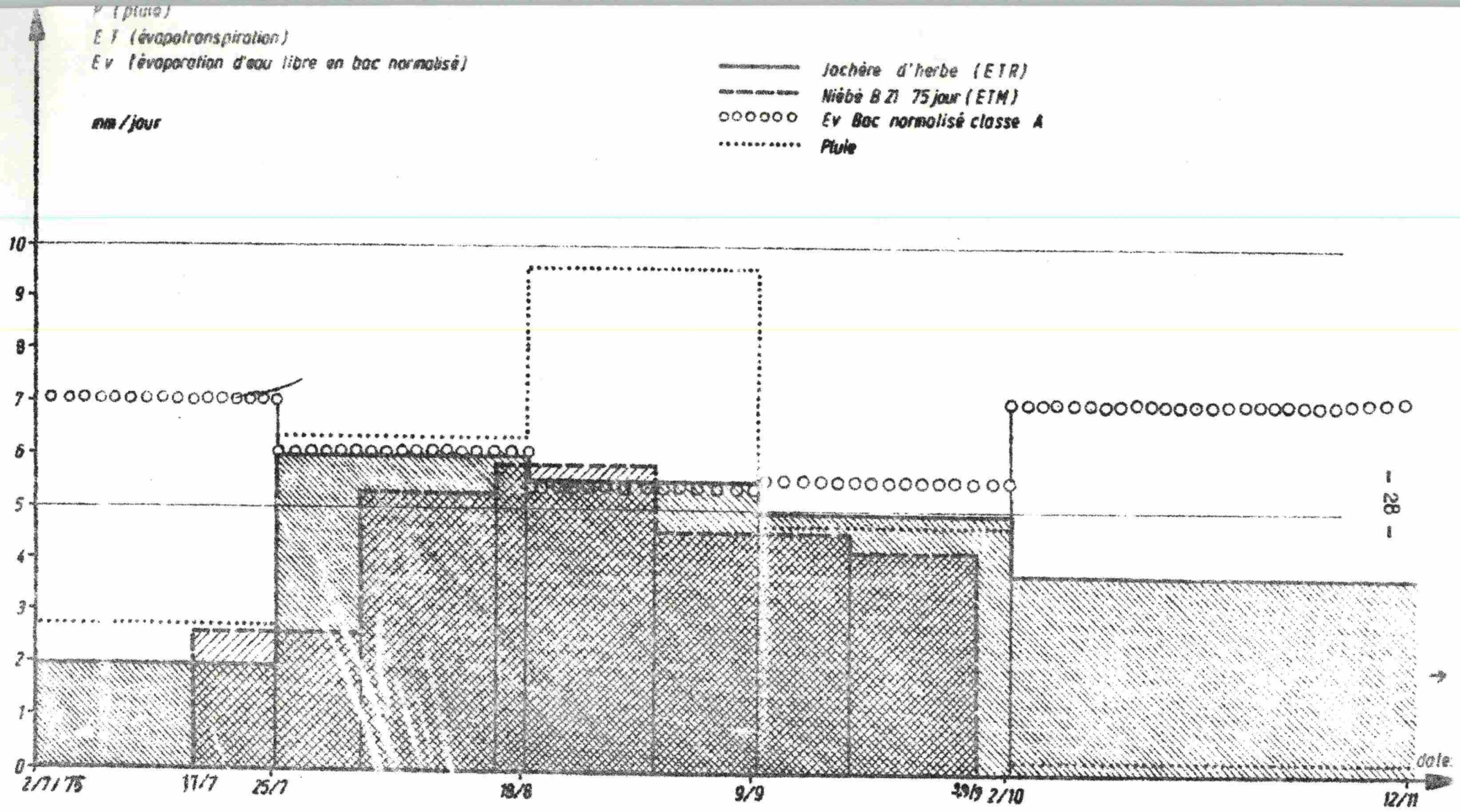


BESOINS EN EAU DES PRINCIPALES CULTURES SENEGALAISES MESURES AU C. N. R. A. DE BAMBEY

(I. S. R. A.)

Graphique n° 4

B.E/M.



BESOINS EN EAU D'UNE CULTURE DE NIEBE B 21 (75 jours) ET

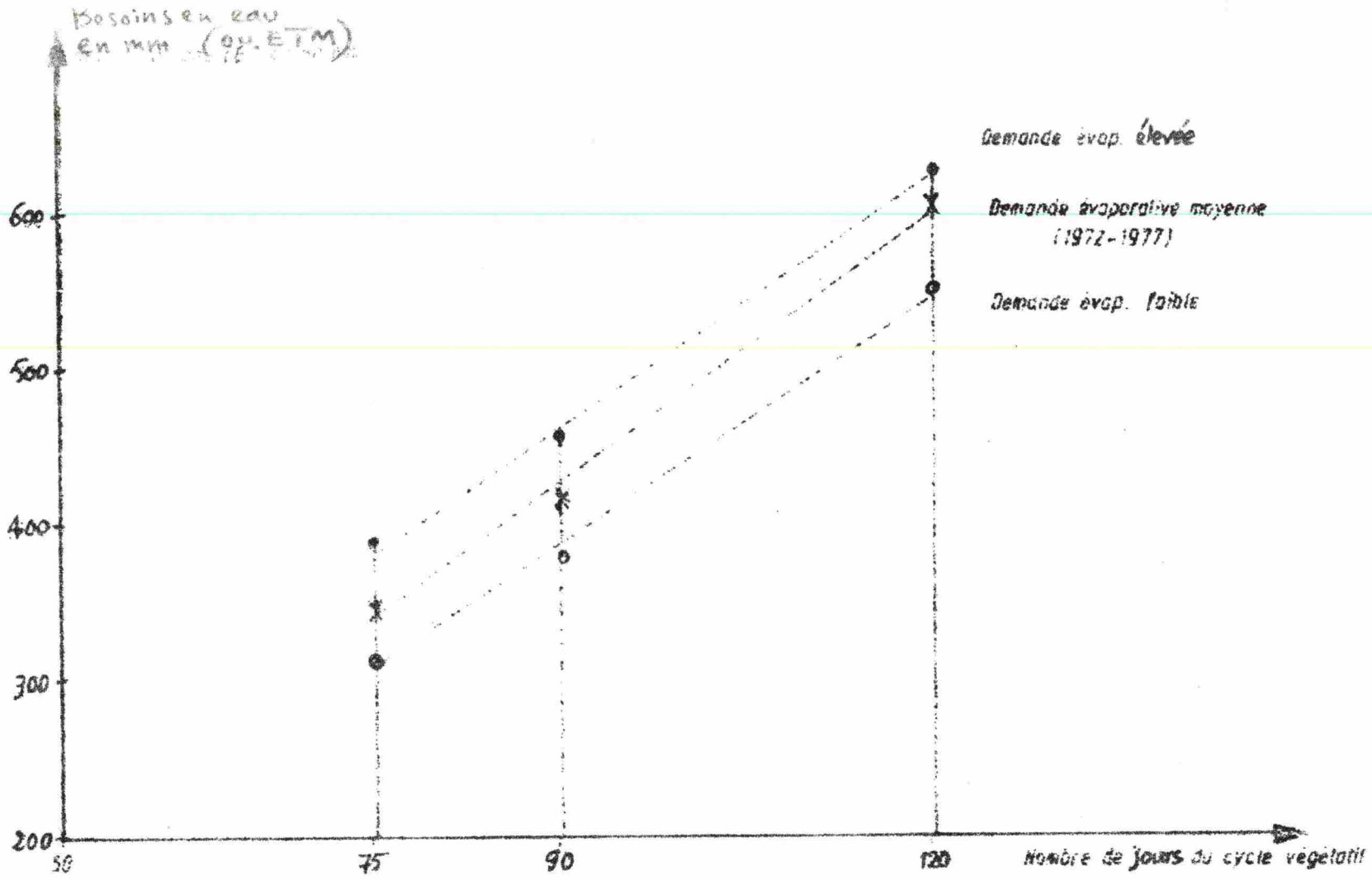
CONSOMMATION HYDRIQUE D'UNE JACHERE D'HERBE, EN mm D'EAU PAR JOUR

Consommation totale du niébé 335 mm

Consommation totale de la jachère 508 mm

Graphique 5

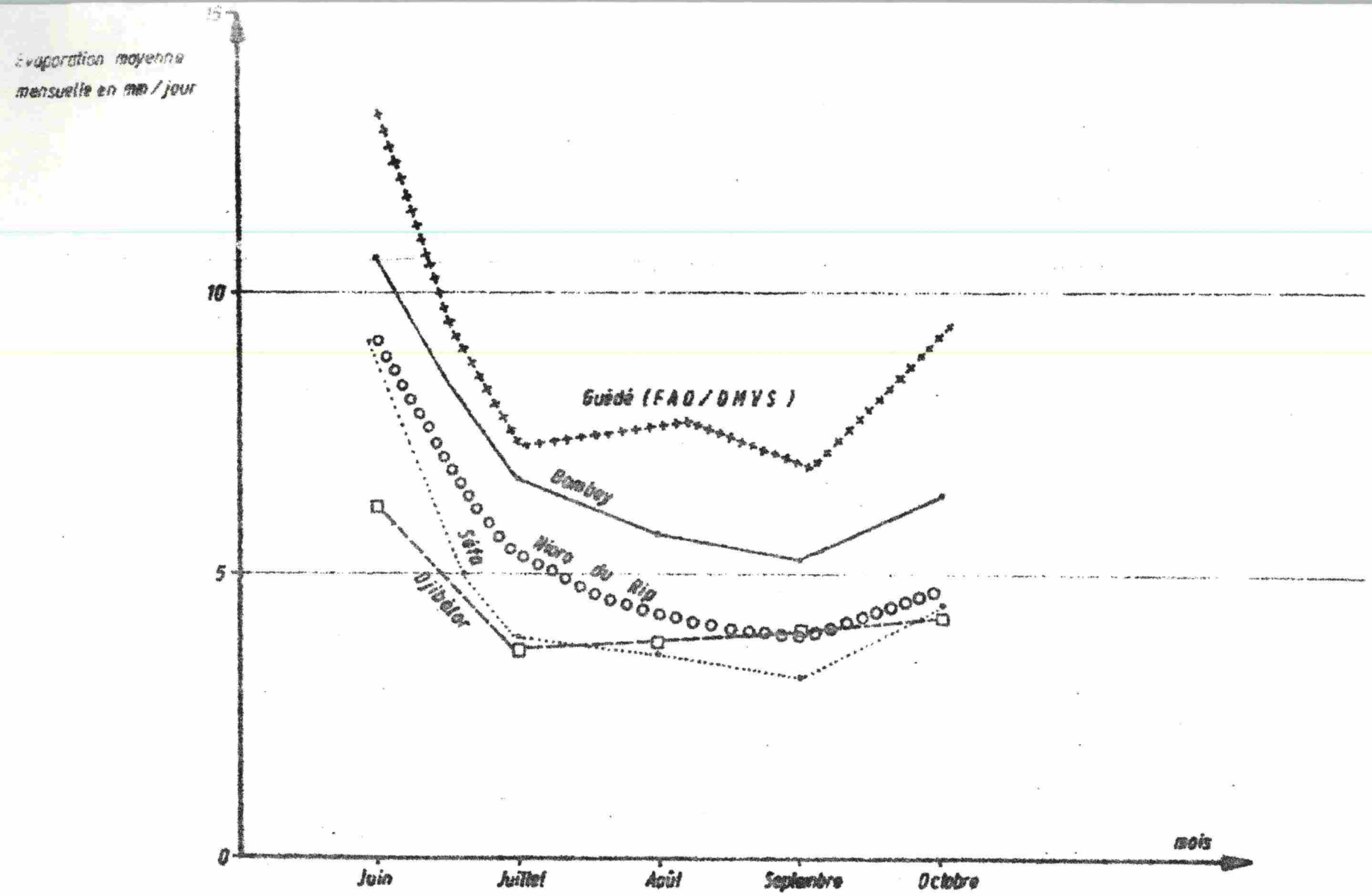
SR BIO - C.N.R.A. BAMBE



VARIATIONS DES BESOINS EN EAU GLOBAUX DU MIL EN FONCTION DE LA DUREE DU CYCLE VEGETATIF ET DE LA DEMANDE EVAPORATIVE

CNRA BAMBEY

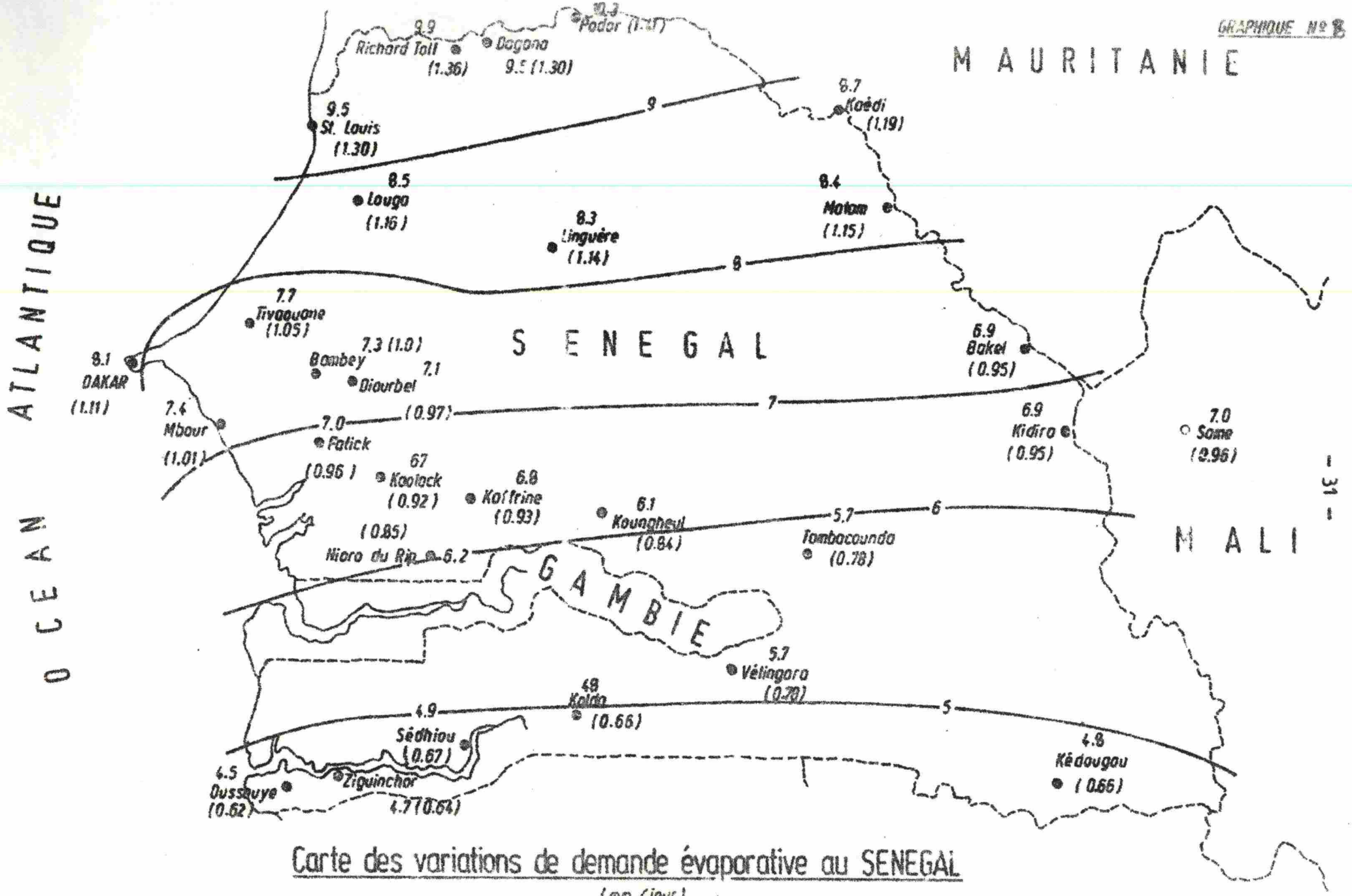
GRAPHIQUE N° 6



EVAPORATION BAC NORMALISE CLASSE A (sur sol nu) EN 1975 PENDANT LES MOIS DE SAISON DES PLUIES

GRAPHIQUE N° 7

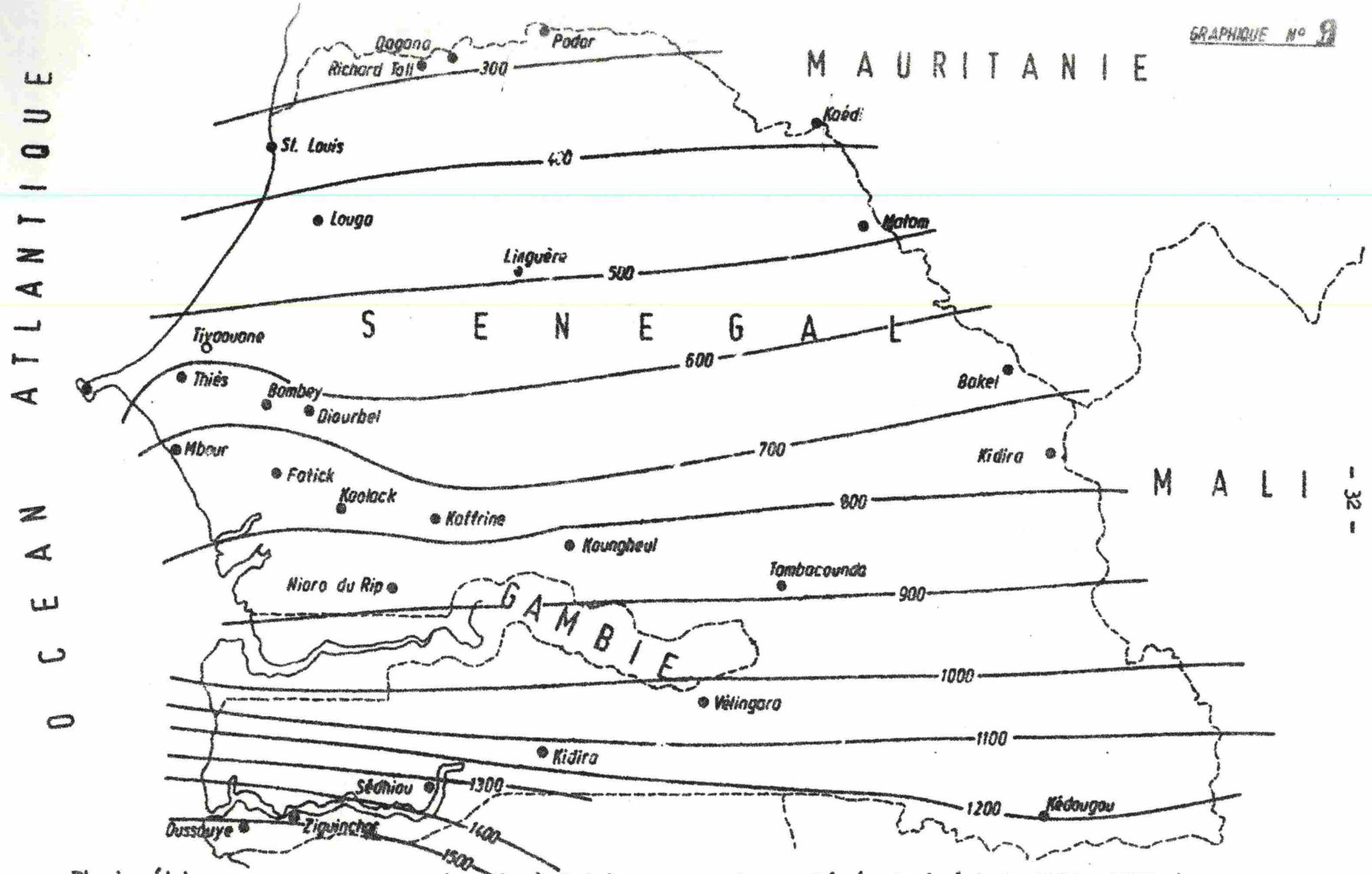
SR BIO - CNRA BAMBEY



Carte des variations de demande évaporative au SENEGAL

(mm / jour)

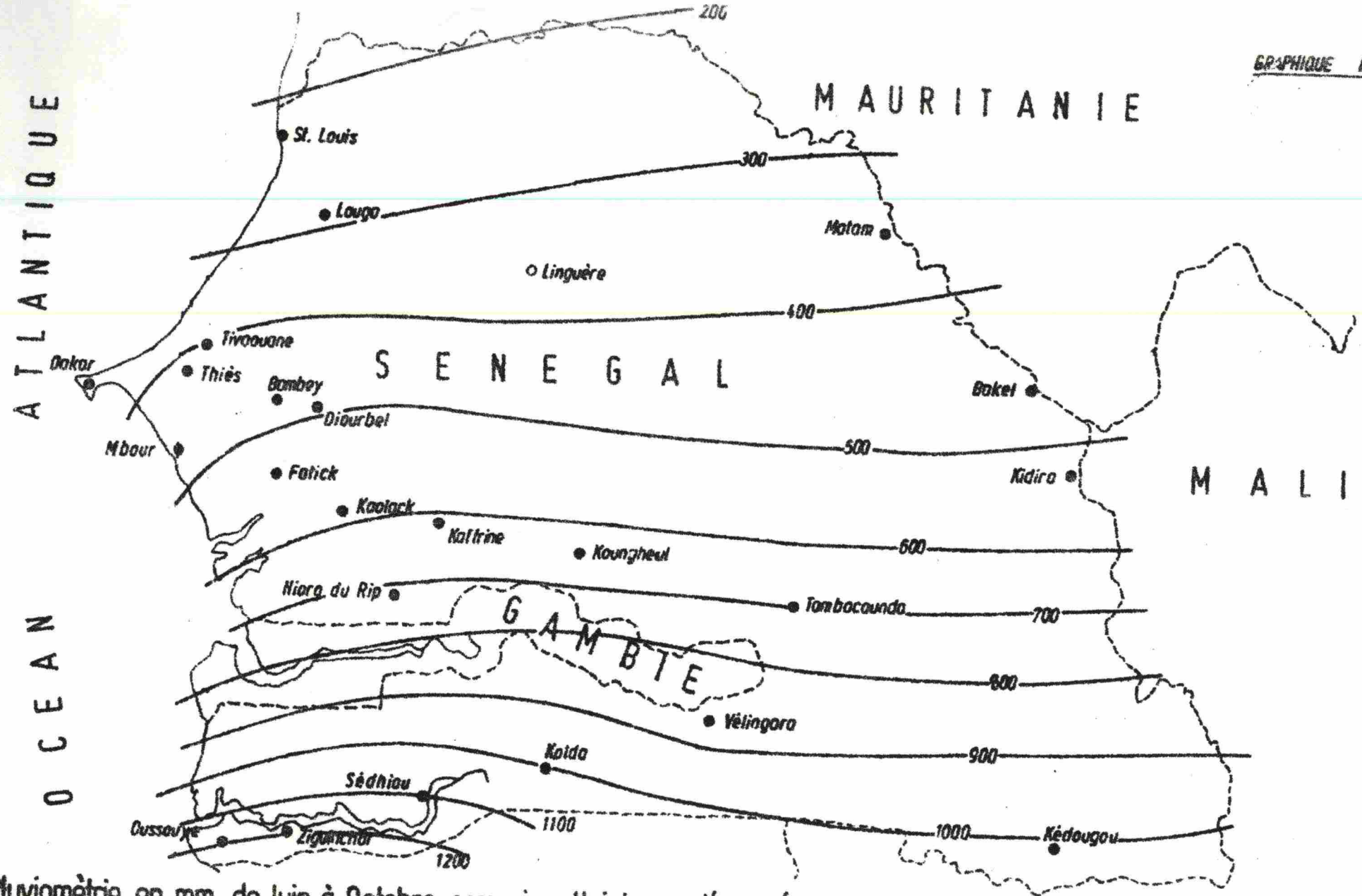
pendant les mois d'hivernage (Juin à Octobre compris)



Pluviométrie moyenne en mm, de Juin à Octobre compris, au Sénégal (période 1931 - 1975)

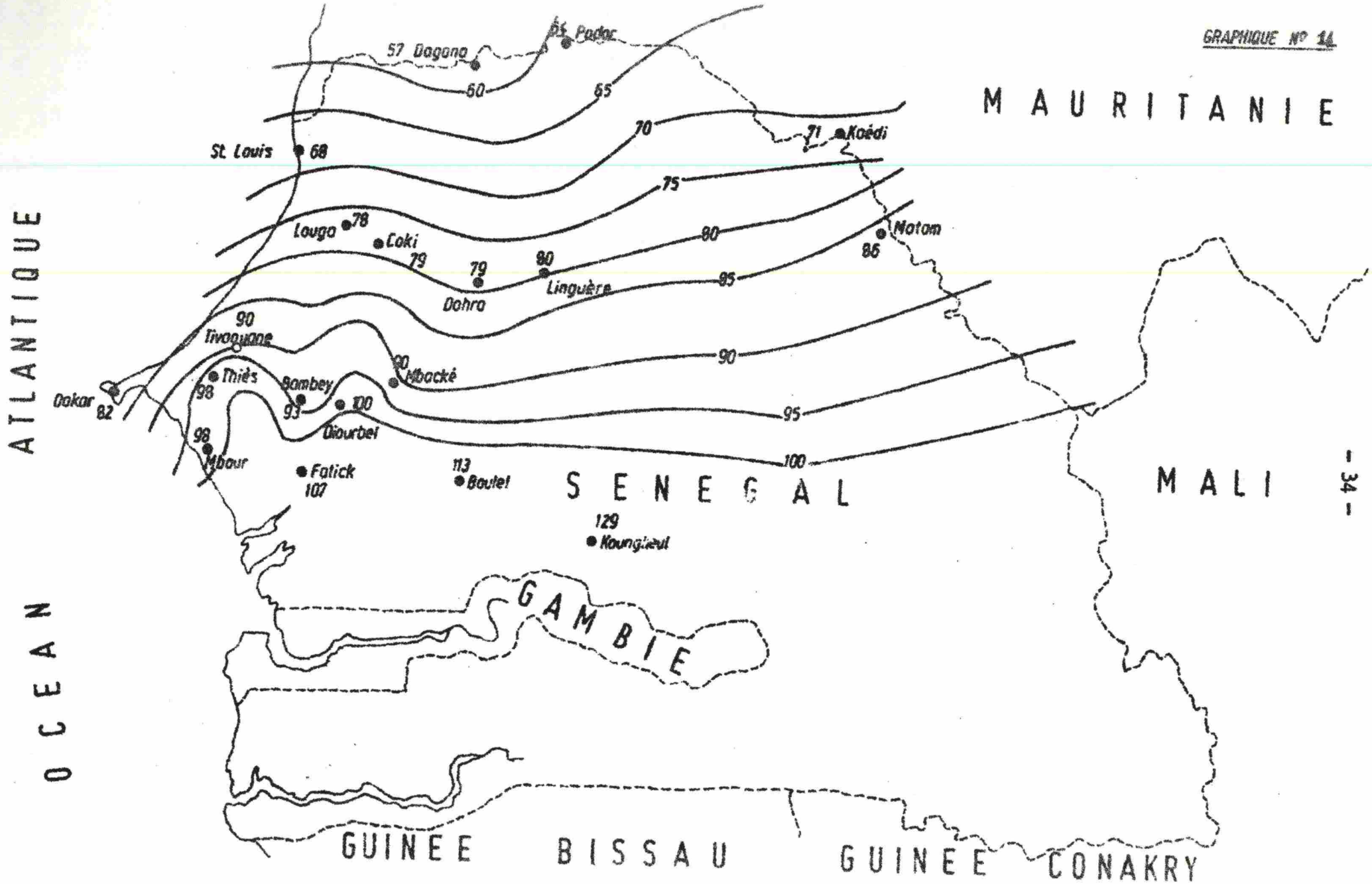
-Calculs effectués à partir des données brutes de la météorologie nationale=listing "Hydrologie ORSTOM"

GRAPHIQUE N° 10

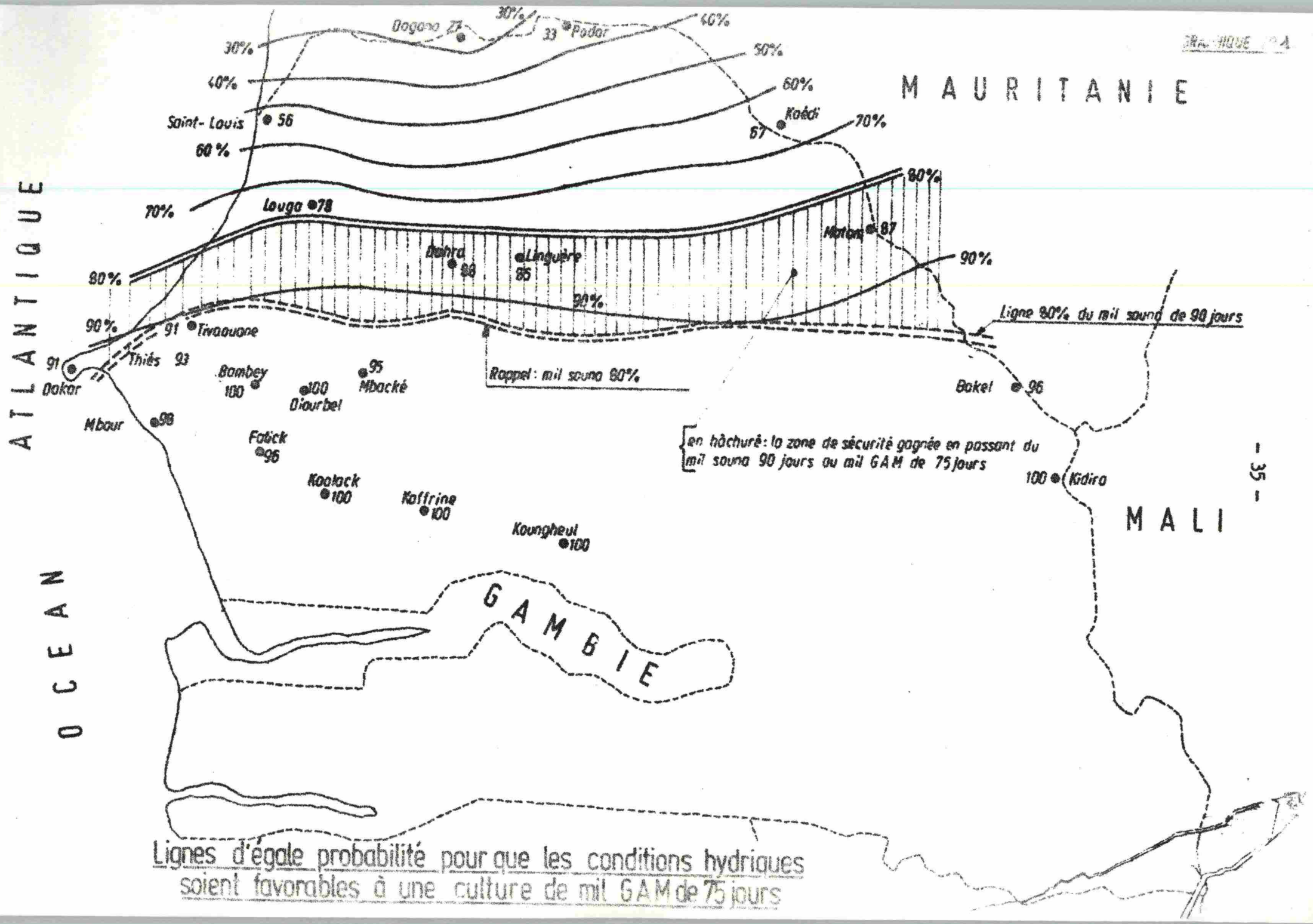


Pluviométrie en mm, de Juin à Octobre compris, atteinte ou dépassée dans plus de 80% des cas au Sénégal période 1931-1975

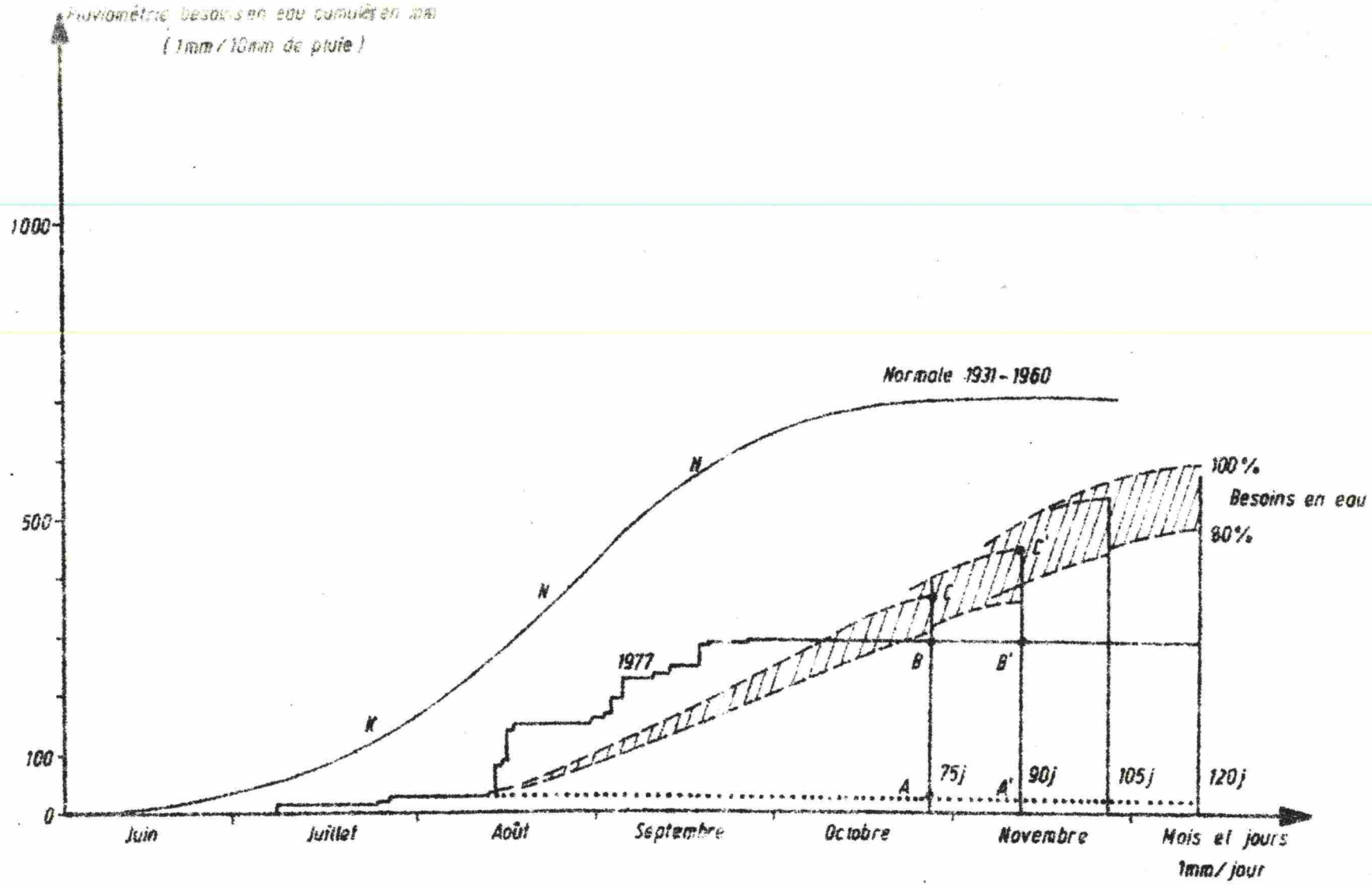
- Calculs effectués à partir des données brutes de la météorologie nationale = listing "Hydrologie ORSTOM"



Durée en jours de l'hivernage utile au Sénégal, atteinte ou dépassée dans 80% des cas



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



SUIVI DE LA SAISON DES PLUIES 1977

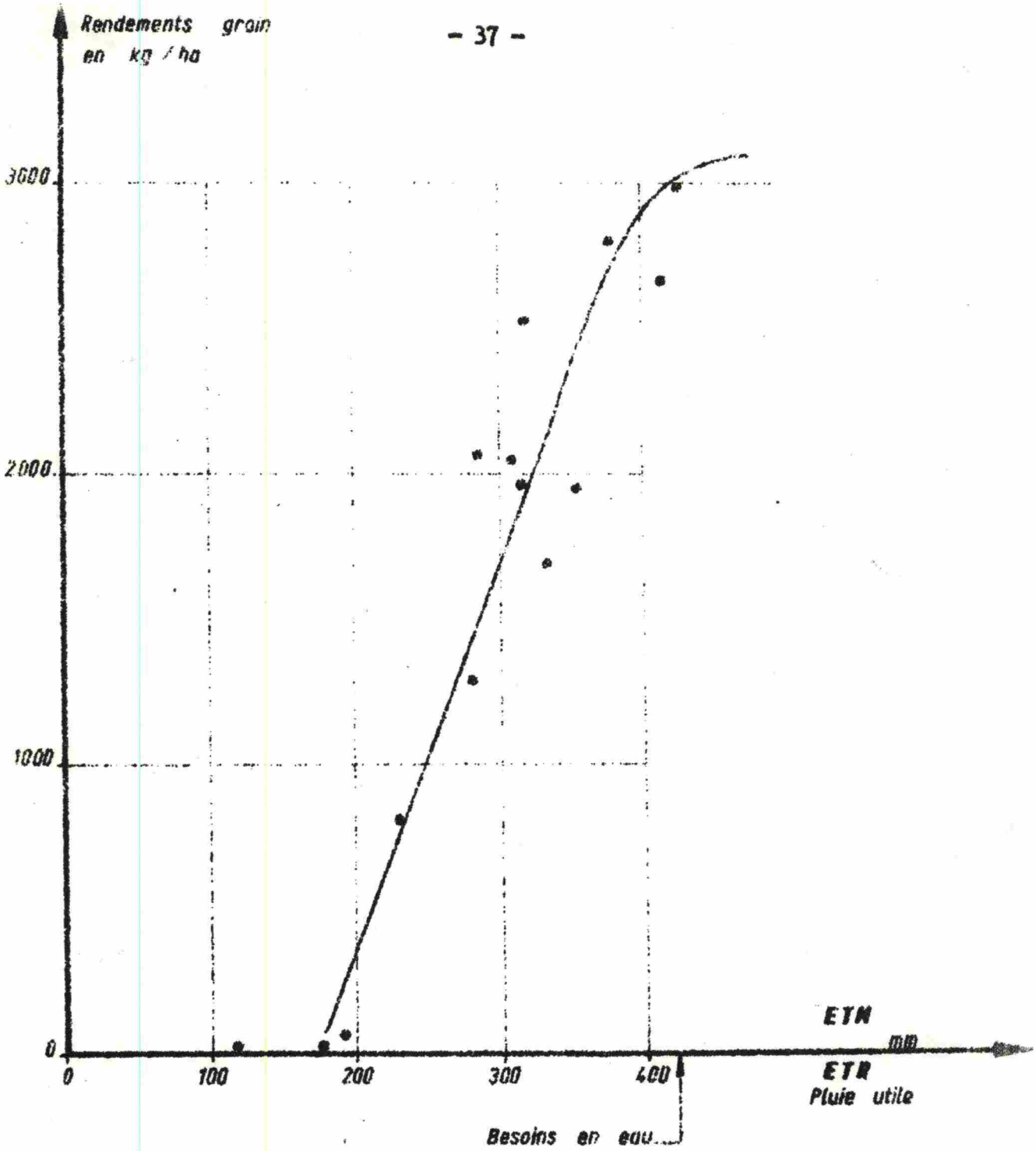
THIES-METEO

3 resemis de mil en sec

Pluie de semis le 14 Août (52 mm)

Date moyenne dernière pluie = 5 X

GRAPHIQUE Nº 13



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)

graphique N° 14