

A PROPOS DES PROBLEMES DE L'IRRIGATION AU SENEGAL

p a r

C. CHARREAU

Pédologue, Maître de Recherches de l'ORSTOM

-:-:-:-:-

I.R.A.T.

C.R.A. BAMBEY

Décembre 1961

A PROPOS DES PROBLEMES DE L'IRRIGATION AU SENEGAL

p a r
C. CHARREAU

--:--:--

S O M M A I R E

I.- INTRODUCTION

II.- LES SOLS IRRIGABLES

III.- ESTIMATION DU BESOIN EN EAU DES CULTURES

- 1) Généralités
- 2) L'évapotranspiration potentielle
- 3) L'évapotranspiration réelle

IV.- CALCUL DES BESOINS EN EAU POUR UNE CULTURE IRRIGUEE

- 1) Principe
- 2) Mode de calcul détaillée
- 3) Types d'irrigation

V.- IRRIGATION DE COMPLEMENT

- 1) Estimation des paramètres
 - a) croissance racinaire
 - b) les déficits de rétention
 - c) date de semis et durée du cycle végétatif
 - d) matière sèche à la récolte
 - e) coefficient transpiratoire
- 2) Les résultats
- 3) Choix de la date de semis

VI.- IRRIGATION COMPLETE

- 1) Calcul des paramètres

- a) la croissance racinaire
- b) les déficits de rétention
- c) date de semis et durée du cycle végétatif
- d) matière sèche à la récolte
- e) coefficient transpiratoire

2) Les résultats

VII.- LA PRATIQUE DE L'IRRIGATION

- 1) Les doses d'arrosage
- 2) Débits caractéristiques
- 3) Unités parcellaires d'arrosage
- 4) Arrosage par aspersion

VIII.- LA QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION

- 1) La solution du sol et la croissance des plantes
- 2) Influence de l'eau d'irrigation sur la solution du sol
- 3) Influence de l'eau d'irrigation sur les colloïdes du sol .
- 4) Influence spécifique de quelques ions toxiques
- 5) Classification des eaux d'irrigation .

XI.- LES RESSOURCES EN EAU DU SENEGAL

- 1) Les eaux superficielles
- 2) Les eaux des nappes phréatiques et des nappes profondes .

X.- LA FERTILISATION EN CULTURE IRRIGUEE

XI.- C O N C L U S I O N

I.- INTRODUCTION

L'irrigation est une technique de plus en plus utilisée sous tous les climats pour accroître la quantité et la qualité des récoltes. Son emploi se justifie particulièrement dans un pays comme le Sénégal, soumis pendant sept ou huit mois de l'année à des conditions d'aridité sévère. Or le Sénégal dispose de ressources en eau appréciables, qui, judicieusement utilisées, pourraient améliorer sensiblement l'économie rurale du pays .

Notre propos n'est pas de faire ici une étude exhaustive des possibilités de l'irrigation au Sénégal et des techniques à mettre en oeuvre, mais, plus modestement, d'examiner les problèmes qui se posent à cette occasion et d'indiquer les éléments dont nous disposons pour les résoudre .

Ces éléments nous seront surtout fournis par des études effectuées dans des régions où l'irrigation constitue une pratique culturelle courante, en particulier les Etats-Unis et l'Afrique du Nord. Il faut en effet reconnaître que les données expérimentales sur cette question sont assez réduites au Sénégal. Toutefois certains résultats acquis au C.R.A. BAMBEY grâce aux études effectuées en cases lysimétriques et à celles concernant la dynamique de l'eau dans le sol trouveront ici une application .

Plusieurs points seront examinés successivement :

- les sols irrigables
- les besoins en eau des plantes cultivées
- la pratique de l'irrigation
- la qualité des eaux d'irrigation

Des exemples d'application seront fournis chaque fois qu'il sera nécessaire .

..../....

II.- LES SOLS IRRIGABLES

En principe tous les sols sont aptes à être irrigués mais leur mise en valeur par irrigation nécessitera des frais d'investissements plus ou moins élevés suivant les cas .

Outre les frais d'aménagement imposés par les conditions topographiques, il pourra se révéler nécessaire de modifier notablement la nature du sol pour le rendre plus favorable à la mise en culture par irrigation. Les modifications pourront intéresser la salure (lessivage et drainage), la teneur en sodium (apports d'amendements calciques), la structure (façons culturales, semis de graminées à enracinement profond) ou toute autre propriété physique ou chimique du sol .

Par ailleurs, la pratique de l'irrigation sera largement influencée par les caractéristiques hydrodynamiques des sols. Les valeurs de l'humidité équivalente et du point de flétrissement définiront les doses et les espacements des arrosages. La perméabilité influencera le mode d'arrosage et la dimension des parcelles. Ces caractéristiques hydrodynamiques se trouvent étroitement liées à la nature texturale des sols .

Celle-ci interférera également avec la qualité de l'eau d'irrigation pour fixer l'importance du lessivage à effectuer. Si l'eau d'irrigation est très chargée en sels, les terrains argileux, à drainage insuffisant, ne pourront être irrigués alors que les terres légères et perméables le seront sans inconvénients notables avec cette même eau .

Les sols du Sénégal sont maintenant assez bien connus; récemment, R.MAIGNIEN a concrétisé par une carte pédologique nos connaissances actuelles sur cette question [1]. Sur cette carte figurent 8 groupes de sols, se subdivisant en 16 sous-groupes. Les plus intéressants, du point de vue de l'irrigation, se trouvent être les sols alluviaux, en raison de leur position

.../...

topographique et des ressources en eaux qui se trouvent à leur voisinage. Ces sols, peu évolués, sont développés sur alluvions marines ou fluviatiles .

On les rencontre principalement dans la Vallée du Fleuve Sénégal, les estuaires du Sine-Saloum et de la Casamance, certains affluents et défluent de la Gambie. Leur nature texturale est variable; on y trouve les deux extrêmes: terres très sableuses ou très argileuses. Les principaux problèmes que pose leur mise en valeur par irrigation sont les mêmes pour tous ces sols: salure, possibilités de drainage et de lessivage .

Des expérimentations et diverses études ont été entreprises dans toutes ces régions; elles se trouvent à des degrés inégaux d'avancement, la région la plus anciennement étudiée étant la Vallée du Fleuve Sénégal, la plus récemment, celle de la Casamance .

A côté de ces régions, se prêtant à de vastes aménagements d'ensemble, d'autres zones peuvent faire l'objet d'irrigations sur des superficies restreintes, par utilisation des eaux des nappes phréatiques et profondes. Ces réalisations plus modestes ne doivent cependant pas être négligées partout où l'étude de rentabilité aura prouvé leur intérêt .

Ne pouvant passer en revue les différents sols du Sénégal, nous avons choisi d'étudier plus particulièrement les conditions de l'irrigation sur deux sols typiques du bassin arachidier :

- un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sur sables, et marno-calcaires ou sol Dior .
- un sol brun à hydromorphie temporaire de surface sur sables et marno-calcaires ou sol Dek .

Ces deux sols ont fait l'objet d'études détaillées par les chercheurs du C.R.A. de BAMBEY [2,3,4]. Nous ne nous étendrons donc pas sur leur description et leurs caractéristi-

...../.....

ques analytiques. Leur comportement vis-à-vis de l'eau sera évoqué plus loin. Rappelons que, du point de vue de l'irrigation, le caractère fondamental commun aux deux sols est leur nature texturale très sableuse. Le sol Dior comporte entre 90 et 98 % de sables, constitués pour les 2/3 de sables fins. Le sol Dek est plus argileux (5 à 13 % d'argile) plus riche en matière organique, mieux pourvu en Calcium .

Ces deux sols ont été placés en cases lysimétriques à BALBEY, ce qui a permis d'étudier le bilan hydrique de ces sols sous différentes cultures et de chiffrer l'évapotranspiration et le drainage [5] .

III.- ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES

1) Généralités .

Les besoins en eau des cultures et leur variations au cours du cycle végétatif ne peuvent être déterminés avec certitude que par l'expérimentation. Les études dans ce domaine sont à peine amorcées pour les plantes tropicales et les quelques données que nous possédons à ce sujet sont très fragmentaires; de plus elles ont été fréquemment établies dans des conditions de climat et de sol très différentes des nôtres. C'est le cas par exemple de l'étude de R. BILLAZ [6] concernant la culture de l'arachide au DAHOMEY et dont les résultats ont été adaptés à la région de BALBEY .

Actuellement des expériences sont en cours au C.R.A. de BALBEY pour combler cette lacune; elles sont réalisées en cases lysimétriques pour les plantes à enracinement profond et à grand développement végétatif (mil), en vases de végétation pour les plantes à enracinement superficiel et développement végétatif moyen (arachide).

En attendant de disposer de ces résultats, il est possible, par des calculs théoriques d'avoir une estimation, au moins approximative, des besoins en eau des cultures .

L'estimation du besoin en eau des plantes pendant une certaine période revient à connaître la somme :

eau évaporée + eau transpirée + eau emmagasinée dans les tissus végétaux .

Le troisième terme est toujours très faible par rapport aux deux autres et peut-être négligé sans inconvénients. Les sommes des deux premiers termes représente l'évapotranspiration .

..../....

Cette grandeur est une résultante de plusieurs facteurs dont les plus importants sont :

- le climat
- le degré d'humidité du sol
- le stade végétatif de la plante .

Les conditions climatiques étant déterminées, à chaque stade végétatif de la plante correspond une valeur optimum de l'évapotranspiration. Au-dessus de cette valeur, il y a "consommation de luxe" en gaspillage d'eau. Au-dessous, il y a insuffisance d'alimentation en eau, ce qui se traduit inmanquablement par une baisse plus ou moins importante du rendement et de la qualité des récoltes .

Il convient de remarquer que cette valeur optimum de l'évapotranspiration est distincte de la valeur maximum de l'évapotranspiration ou évapotranspiration potentielle. Cette dernière valeur représente la quantité d'eau maximum qui peut être évaporée par une culture lorsque elle est parfaitement alimentée en eau. Les deux notions peuvent pratiquement se confondre pendant une certaine période du cycle végétatif; cela semble être le cas par exemple pendant le tallage et la montaison des céréales. Mais, à d'autres périodes, en particulier celle de la formation des fruits et des grains, la valeur optimum, envisagée du point de vue du rendement et de la qualité des récoltes, peut se situer notablement en-dessous de l'évapotranspiration potentielle .

Dans la pratique, cependant, à défaut de données plus précises, on définit couramment les besoins en eau des plantes par la valeur de l'Evapotranspiration potentielle (ETP).

Il est donc du plus grand intérêt de connaître avec précision cette valeur. Nous verrons ensuite s'il est possible de déterminer de façon plus précise l'évapotranspiration réelle (ETR) de telle ou telle culture au cours de son cycle végétatif .

...../.....

2) L'évapotranspiration potentielle.

Cette notion a été introduite par C.W.THORNTHWAITE [7]. La mesure expérimentale de l'évapotranspiration potentielle s'effectue à l'aide d'un dispositif spécial imaginé par cet auteur et dénommé évapotranspiromètre; il s'agit d'une cuve remplie de terre, supportant une culture spécialement choisie (généralement gazon). Cette cuve est alimentée en eau par une nappe phréatique maintenue à un niveau constant de 50cm au-dessous de la surface du sol; la mesure des quantités d'eau consommées par les plantes s'effectue quotidiennement .

De tels dispositifs ont été installés surtout dans les régions tempérées; il en existe peu, à notre connaissance, dans les régions tropicales, en particulier en Afrique de l'Ouest. Toutefois E.J.GARNIER [8,9], en a utilisé au NIGERIA. A BAËBEY des évapotranspiromètres seront installés prochainement. Par ailleurs des cases lysimétriques fonctionnent au C.R.A. depuis 1954. Il est possible d'utiliser leurs données pour calculer l'ETP pendant la saison des pluies, quand le sol est saturé d'eau. Ces valeurs ne pourront être qu'approchées car l'absence de végétation autour des cases crée un "effet d'oasis" ayant pour conséquence de surestimer l'ETP. Pour éviter cela, le dispositif expérimental doit être installé au milieu d'un champ d'assez vastes dimensions cultivé et alimenté en eau dans des conditions analogue à celles de l'évapotranspiromètre .

La mesure expérimentale de l'ETP présentant quelques difficultés, plusieurs auteurs se sont attachés à calculer cette valeur à partir de données climatologiques courantes .

THORNTHWAITE, tout d'abord, à partir de ses données expérimentales, a cherché à exprimer les variations de l'ETP par une formule empirique [7,8] faisant intervenir la température moyenne mensuelle et la durée théorique d'insolation au poste considéré (fonction de la latitude). Les calculs sont assez compliqués mais des abaques permettent de les simplifier.

.../...

Cette formule a été établie à partir de données expérimentales acquises en pays tempéré. B.J.GARNIER [8] a vérifié sa validité en ce qui concerne la NIGERIA (SAMARU et IBADAN). La concordance entre les valeurs calculées et les chiffres expérimentaux fut jugée assez bonne, mais le calcul tend à surestimer l'ETP pendant la saison humide. GARNIER propose une légère modification à la formule pour remédier à cet inconvénient .

Après THORNTHWAITTE, de nombreux auteurs se sont attachés à calculer l'ETP, en se fondant, soit sur des considérations théoriques telles que celles du bilan énergétique, soit sur des raisonnements plus ou moins empiriques. Parmi les plus connus citons PENMAN [11] dont le calcul fait intervenir plusieurs données climatologiques: insolation, température de l'air, tension de vapeur, pression atmosphérique et vitesse du vent. E.BERNARD a effectué une étude critique de ces différentes formules [12].

Parmi les auteurs de langue Française, P.BOUCHET [23] rattache la mesure de l'ETP à celle de l'évaporation effectuée à l'évaporomètre PICHE (E_a).

$$ETP = \alpha E_a \lambda$$

où α est un coefficient dépendant de l'évaporomètre et de l'abri

λ est une fonction de la température moyenne et de la température moyenne du point de rosée .

Les valeurs trouvées par cette méthode se révélèrent nettement inférieures aux valeurs de l'évapotranspiration réelle mesurées en cases lysimétriques à BALBEY. Cette formule ne peut donc servir à caractériser l'ETP sous ce climat. L'auteur souligne d'ailleurs la limite de cette formule, établie en pays tempérée, et fait toute réserve quant à son utilisation en zone aride .

..../....

Une autre formule a été proposée par les climatologues pour établir les cartes de l'ETP en France. Cette formule fait intervenir la température moyenne mensuelle t , en degrés centigrades, et la radiation globale :

$$\text{ETP mm/10j} = 0,13 \frac{t}{t + 15} (I_g + 50).$$

I_g , radiation globale, est fournie par la relation :

$$I_g = I_g A (0,18 + 0,62 \frac{h}{H} -)$$

dans laquelle :

$I_g A$ = radiation globale fournie par les tables d'Angot en fonction de la latitude

$\frac{h}{H}$ = $\frac{\text{durée de l'insolation mensuelle}}{\text{durée de tous les jours du mois}}$ = fraction d'insolation à la latitude envisagée .

Le tableau 1 donne l'ensemble de ces valeurs calculées pour la période de référence 58-60 .

Notons qu'au Sénégal des mesures de radiation globale sont effectuées par le laboratoire de Physique Climatique de l'Université de DAKAR (Pr. MASSON, Mlle O. SALVADOR). Ces mesures ont été entreprises en 1961 au C.R.A. de BALBEY .

Les valeurs mesurées de la radiation globale correspondent bien aux valeurs calculées pour les mois de Mai à Octobre (erreur inférieure à 5 %); pendant les mois de saison sèche, par contre, le calcul donne des valeurs nettement supérieures aux mesures .

Par ailleurs, I. TURC, dans son étude sur le bilan d'eau des sols [13] caractérise l'évaporation décadaire d'un sol nu saturé d'eau par la relation :

$$I \text{ mm/10j.} = \frac{(t + 2) \sqrt{I}}{15}$$

.../...

où t = température moyenne sous abri à 2m, en degrés centigrades.
 I = radiation globale exprimée en grammes/calories par cm^2
de surface horizontale et par jour .

Les valeurs calculées par cette formule se sont trouvées concorder de manière satisfaisante avec les valeurs expérimentales mesurées à BALBEY en cases lysimétriques [5].

Il était tentant de relier l'évapotranspiration d'un sol cultivé, convenablement alimenté en eau, à l'évaporation du sol nu saturé. L'examen des résultats obtenus après 6 années d'études lysimétriques nous a permis de vérifier - au moins approximativement que ces deux grandeurs variaient dans le même sens, avec un coefficient de proportionnalité de 1,5 .

L'évapotranspiration potentielle décadaire se calcule donc aisément d'après la formule de TURC :

$$ETP \text{ mm}/10j. = 1,5 \times 1 = 0,1 (t + 2) \sqrt{I}$$

C'est ce mode de calcul que nous avons adopté, l'ayant reconnu le plus apte à rendre compte des phénomènes observés dans nos régions. Ceci n'est d'ailleurs pas définitif; il est possible que les expérimentations en cours à BALBEY, en apportant de nouvelles précisions, amènent à modifier cette formule .

Il sera préférable d'adopter pour I les valeurs mesurées à DAKAR ou à BALBEY, valables, avec de légères corrections, pour tout le Sénégal, plutôt que les valeurs données par les tables d'Angot, surestimées en saison sèche .

Le tableau 1 donne les résultats obtenus par cette méthode pour la période de référence 1958-1960 .

3) L'évapotranspiration réelle .

S'il est commode et rapide de définir les besoins en eau des plantes cultivées par la valeur de l'évapotranspiration potentielle, il n'est sans doute pas sans intérêt de rechercher
.../...

à calculer ces besoins d'une façon plus précise c'est-à-dire en tenant compte :

- de la nature de la plante
- de sa profondeur radiculaire
- de son stade végétatif
- de la nature du sol .

Cela revient à déterminer l'évapotranspiration réelle dans des conditions d'alimentation en eau définies. THORNTHWAITE et MATHER ont fourni les éléments pour ce calcul [10] mais nous avons jugé préférable de nous appuyer sur les travaux de L.TURC [13] qui permettent une estimation plus précise .

Cet auteur a recherché, à partir de données fournies par les cases lysimétriques d'une part, par l'écoulement des bassins versants, d'autre part, quelle relation pouvait exister à l'échelle mondiale, entre l'évapotranspiration et les facteurs climatiques et végétatifs .

La formule ainsi établie est la suivante :

$$E = \frac{P + a + V}{\sqrt{1 + \left[\frac{P + a}{l} + \frac{V}{2l} \right]^2}}$$

- avec: E = évapotranspiration en mm pendant une décade
P = pluviométrie -----"
a = hauteur d'eau supplémentaire, en mm, susceptible d'être évaporée en 10 jours aux dépens des réserves du sol .
l = évaporation maximum atteinte pendant la décade si l'approvisionnement en eau est suffisant pour ne pas limiter l'évaporation
V = facteur dépendant de la végétation .

Le mode de calcul détaillé de ces différents termes sera exposé plus loin .

...../.....

Dans l'esprit de son auteur, cette formule devait avoir une portée très générale, puisque fondée sur des mesures émanant toutes les parties du globe . Avant de l'utiliser, il était indispensable de connaître avec quelle précision elle rendait compte des phénomènes observés dans le cas particulier du Sénégal. Cette vérification a été possible grâce aux mesures effectuées en cases lysimétriques à BAMBEY et à une série de profils hydriques relevés au cours d'une année dans deux sols différents [14] .

Pendant un intervalle de temps donné t_0-t_1 , les précipitations P , l'évapotranspiration E , l'écoulement D et la variation de déficit de rétention doivent en effet satisfaire à la relation:

$$P = E + D + \Delta_0 - \Delta_1$$

avec: Δ_0 = déficit de rétention à l'instant t_0

Δ_1 = " " " " " t_1

toutes ces valeurs étant exprimées en mm .

Connaissant P, D grâce aux cases lysimétriques (le ruissellement étant nul), $\Delta_0 - \Delta_1$ par les profils hydriques, il devenait possible d'établir expérimentalement les variations de l'évapotranspiration au cours du temps .

Ces valeurs expérimentales ont été ensuite confrontées aux valeurs théoriques du calcul de TURC; après quelques mises au point dans le calcul des paramètres, la concordance entre valeurs théoriques et chiffres expérimentaux s'est révélée très bonne .

Il devient ainsi possible de connaître les valeurs de l'évapotranspiration sous différentes conditions de climat, d'alimentation en eau, de cultures.

.../...

III.- CALCUL DES BESOINS EN EAU POUR UNE CULTURE IRRIGUEE :

1) Principe .

Dans le cas d'une irrigation l'apport d'eau fourni au sol doit :

- combler le déficit de rétention du sol sur toute la hauteur accessible aux racines
- satisfaire aux besoins de l'évapotranspiration .

Or cette dernière est elle même dépendante de la quantité d'eau fournie du sol. Le problème peut cependant se résoudre comme un système de 2 équations à 2 inconnues :

$$E = P - d \quad (1)$$

$$E = \frac{P + a + V}{\sqrt{1 + \left(\frac{P + a}{I} + \frac{V}{2I} \right)^2}} \quad (2)$$

Les deux inconnues sont: $E = \text{évapotranspiration}$ } pendant
 $P = \text{apport d'eau au sol}$ } 1 décade

Les autres termes sont des paramètres dont la valeur varie à chaque décade; d désigne ici la valeur du déficit sur toutes la hauteur accessible aux racines .

Précisons, que, dans la pratique, il est inutile de résoudre mathématiquement ce système d'équations, ce qui serait beaucoup trop long. On arrive très rapidement au résultat en procédant par approximations successives .

2) Mode de calcul détaillé .

Il est nécessaire de passer en revue le mode d'évaluation de chaque paramètre .

.../...

1- Le déficit "d", sur la hauteur de sol accessible aux racines, peut être connu, à une époque déterminée de l'année grâce aux relevés de profils hydriques qui ont été effectués dans deux sols de la région [14] .

La hauteur de sol explorée par les racines sera estimée pour chaque culture et à tous les stades du développement de cette culture .

2- Le paramètre "a" représente la hauteur d'eau supplémentaire susceptible d'être évaporée en 10 jours aux dépens des réserves du sol. C'est une fonction décroissante de la teneur en eau du sol .

On le calcule par l'équation : $a = 35 - \Delta$

où Δ représente le déficit de rétention du sol
exprimé en mm

Il y a dans l'estimation de Δ une certaine ambiguïté. En principe il s'agit du déficit global du sol, c'est-à-dire concernant toute la tranche de sol comprise entre la surface et le niveau où le taux d'humidité est égal à la capacité de rétention. Dans les pays tempérés ce niveau n'est jamais très éloigné de la surface. Dans les régions arides, au contraire, en fin de saison sèche, ce niveau peut se trouver à plusieurs mètres de profondeur; l'estimation du déficit global dans ces conditions n'a pas une grande signification. Nous avons jugé préférable de lui substituer la notion de déficit sur la tranche de sol explorée par les racines lorsque la culture a atteint son plein développement végétatif .

Par ailleurs les variations de a sont limitées à l'intervalle: 1 à 10 mm. Cette dernière valeur, établie surtout pour les pays tempérés a été jugée faible pour les conditions climatiques dans lesquelles se situe notre étude et a été remplacée par la valeur 12 .

..../....

3- Le paramètre "l" représente l'évaporation maxima atteinte pendant la décade si l'approvisionnement en eau est suffisant pour ne pas limiter l'évaporation .

Son mode de calcul a été défini plus haut .

Il se calcule d'après la relation :

$$l = \frac{(t + 2) \sqrt{I}}{15}$$

dont il a déjà été fait mention .

Les valeurs de t température moyenne mensuelle en degrés centigrades, adoptées ici représentent les moyennes de mesures effectuées à BAMBEY pendant 7 ans (1954-1960).

Les valeurs de I, radiation globale, représentent les moyennes des mesures effectuées à DAKAR, par le laboratoire de Physique Climatique, de 1958 à 1960. A partir de 1961 ces mesures seront effectuées à BAMBEY à l'aide du solari-mètre de Gorzinski et du bilanmètre Schenk .

4- Le facteur végétatif V intervient depuis 20 jours après la date des semis jusqu'à la récolte .

Pour chaque décade la valeur de V est la plus petite des deux expressions suivantes :

$$V = 25 \sqrt{\frac{M \cdot c}{Z}}$$

$$V = \Delta_0 + 30 + 1,5 M c \frac{z}{Z} - \Delta$$

où: Z = nombre de décades écoulées entre l'instant initial et l'instant final, définies plus haut .

z = numéro de la décade considérée

M = masse totale de la récolte séchée à 105° en Q^x/ha

c = rapport du coefficient de transpiration à celui du blé

Δ_0 = déficit du stock d'eau du sol à l'instant initial

Δ = déficit du stock d'eau du sol à la fin de la décade considérée .

..../....

3) Types d'irrigation .

Nous distinguerons ici deux types d'irrigation .

Le premier concerne une culture dont le cycle végétatif se situe pendant la saison des pluies; le but de l'irrigation est alors de pallier l'insuffisance et l'irrégularité des précipitations. On l'appellera irrigation de complément .

Le deuxième type d'irrigation ou irrigation complète doit entièrement subvenir aux besoins en eau d'une culture dont le cycle végétatif se déroule pendant la saison sèche, en l'absence de toute précipitation notable .

Ces deux types d'irrigation seront étudiés ici. Les applications porteront, dans le premier cas, sur une culture de mil et une culture d'arachide; dans le second cas, sur une culture maraîchère et une culture de sorgho .

.. / ...

IV.- IRRIGATION DE COMPLEMENT

Avant d'examiner les résultats des calculs, il sera nécessaire de définir les bases d'estimation des paramètres; on montrera enfin l'influence de la date de semis sur la consommation en eau et les pertes par drainage .

1) Estimation des paramètres .

Pour pouvoir utiliser la formule de TURC il est indispensable de connaître ou d'estimer pour chaque culture:

- la croissance racinaire en fonction du temps
- les déficits de rétention du sol aux différentes profondeurs atteintes par les racines
- la date de semis, ainsi que la durée du cycle végétatif
- la quantité totale de matière sèche produite par la plante à celui du blé .

a) La croissance racinaire .

Celle-ci est mal connue en ce qui concerne le mil. M.BONO dans des expériences faites sur les sols de BAMBEY a montré que la croissance des racines en début de végétation était très rapide; la profondeur atteinte en sol humide, 10 jours après le semis, est en moyenne de 30cm. Les expériences se sont malheureusement arrêtées à cette date .

En fin de cycle cultural, l'enracinement du mil est très profond et peut atteindre 2m. Nous ignorons par contre, jusqu'à présent, quel peut être le rythme de la croissance et la répartition des racines dans les différents horizons.

.../...

Cependant, on peut considérer qu'étant maîtres de l'alimentation en eau et de sa distribution en profondeur, nous influons directement sur la profondeur de l'enracinement .

Il nous est alors loisible de choisir un rythme de croissance raculaire. Nous l'avons fixé ainsi :

<u>Période</u>	<u>Profondeur atteinte par les racines</u>
0-10 jours	30 cm
10-20	60
20-30	80
30-40	100
40-50	120
50-60	140
60-70	180
70-80	160
80-90	200

Pour l'arachide, l'enracinement est mieux connu grâce, en particulier, aux travaux de ORGIAS [15]. En se basant sur ces travaux nous avons été conduit à adopter le rythme de croissance suivant :

<u>Période</u>	<u>Profondeur atteinte par les racines</u>
0-10 jours	15 cm
10-20	25
20-30	35
30-40	45
40-50	55
50-60	65
60-70	75
70-80	85
80-90	95
90-100	100

Ces racines sont très inégalement réparties dans les différents horizons puisque 80 % de leur masse totale est concentrée dans les 50 premiers centimètres [15]. Cependant les horizons inférieurs, de 50cm à 1m, peuvent contribuer de façon appréciable à l'alimentation en eau de la plante .

..../....

b) Les déficits de rétention .

Ceux-ci nous sont connus par les relevés de profils hydriques effectués dans deux sols différents au cours des années 1959-1960 [14]. Bien que ces déficits soient susceptibles de variations d'une année sur l'autre et d'une culture à l'autre, on peut sans risques d'erreurs importants, adopter les valeurs moyennes figurant sur le tableau 2 .

Les chiffres du tableau représentent les valeurs du déficit pour l'horizon considéré et non les valeurs cumulées à partir de la surface .

c) Date de semis et durée du cycle végétatif .

Pour le mil, en culture traditionnelle, il est recommandé de semer le plus tôt possible, en sec, de façon à ce que la germination et la levée se fassent avec la première pluie. Si, comme il arrive fréquemment, celui-ci est suivie d'une période de sécheresse, les jeunes plants ne peuvent alors subsister et l'on doit procéder à un nouveau semis. Suivant la précocité des pluies, la date de semis variera, dans la région de BAMBEY du 1er au 30 Juin. D'après les expérimentations conduites par R. TOURTE [16] les retards au semis se traduisent par des pertes de rendement variant entre 1 et 2 % par jours de retard .

Avec l'irrigation il est possible de choisir à son gré la date de semis sans tenir compte de la précocité des pluies. Se fondant sur les considérations précédentes, on serait donc tenté, de prime abord, d'avancer cette date et de la situer par exemple début Mai. En réalité, contrairement à ce qui se passe en culture traditionnelle, il n'est pas sûr qu'une augmentation de rendement soit à attendre d'une telle pratique, puisque l'avance au semis correspondait à une amélioration de l'alimentation hydrique, facteur qui n'est plus, ici, limitant. Il y a par contre,

...../.....

ainsi que nous le verrons plus loin, un net désavantage au point de vue consommation globale d'eau et pertes par drainage, à adopter une date de semis trop précoce. C'est pourquoi nous avons choisi comme date de semis pour le mil, celle du 10 Juin. Si la salinité de l'eau était à prendre en considération, il pourrait être au contraire intéressant d'avancer ou de reculer la date de semis pour provoquer un lessivage du sol plus important par l'eau de pluie .

Pour l'arachide, le semis, en culture traditionnelle est plus tardif car les graines ne peuvent rester longtemps en terre sans subir de graves dommages de la part des prédateurs; par ailleurs, le poids de semences étant beaucoup plus important que pour le mil, le risque d'avoir à effectuer un deuxième semis conduit les cultivateurs à ne semer qu'après la première pluie importante. En culture irriguée, la date de semis peut être fixée aux environs du 10 Juin, pour les mêmes raisons que celles qui ont énoncées dans le cas du mil .

Le cycle cultural du mil sanio (tardif) est normalement de 150 jours. En lui assurant une alimentation hydrique et minérale convenable, il est permis de penser que le cycle végétatif sera sensiblement allongé en permettant à des talles plus nombreux de parvenir à maturité.

Nous fixerons donc la durée de son cycle, en culture irriguée et fertilisée à 170 jours .

En ce qui concerne l'arachide, nous conserverons la durée normale du cycle qui, pour une variété tardive est de 130 jours .

Nous aurons ainsi :

dans le cas du mil :	Z = 15
dans le cas de l'arachide	Z = 11

.... /

Le poids de matière sèche totale à la récolte est un élément déterminant dans le calcul du facteur végétatif V de la formule de TURC. Il est évident que, pour une plante donnée, la quantité de matière sèche formée et la quantité d'eau transpirée varieront dans le même sens .

Il nous faut donc estimer quels peuvent être, en culture irriguée avec une fumure convenable, les rendements du mil et de l'arachide, ainsi que le poids total de matière sèche à la récolte .

Nous nous sommes fixés à dessein des chiffres de rendement élevés. Pour le mil: 50 QX/ha; bien que les meilleurs rendements observés, à BAMBEY ne dépassent guère 2 t/ha, il n'est pas rare cependant d'observer, au voisinage immédiat des *Faidherbia albida*, donc en terrain fertile, des pieds de mil dont le poids, en grain équivaldrait, en grande culture, à des rendements de 3 à 4 t/ha [17]. Le chiffre de 50 QX/ha, pour optimiste qu'il soit, pourrait donc être atteint si, comme nous le supposons ici, toutes les conditions d'une excellente culture étaient réunies .

Le rapport paille/grain est assez variable suivant les conditions de la culture; nous avons adopté, pour le mil une valeur moyenne de 5/3; pour un poids de grains de 50 QX/ha, nous aurons donc un poids total de matière sèche de 135 QX/ha .

Dans la région de BAMBEY, l'arachide dépasse rarement le rendement de 2 t/ha en grande culture; cependant, sur certaines parcelles expérimentales, des rendements de 4 t. ont été atteints; par ailleurs, en culture irriguée, au MAROC, les rendements peuvent dépasser 8 t/ha [18]. Nous basant sur ces considérations, nous avons misé sur un rendement de 6 t/ha correspondant à un poids total de matière sèche de 120 QX/ha .

..../....

e) Coefficient transpiratoire .

Le coefficient transpiratoire se définit comme le poids d'eau que doit transpirer la plante pour former un gramme de matière sèche. Pour une même plante, ce coefficient varie au cours du cycle végétatif et suivant les conditions d'alimentation en eau. On calcule une valeur moyenne en divisant le poids d'eau global transpiré à la fin du cycle végétatif par le poids de matière sèche formé.

Pour chaque plante, on peut définir une valeur moyenne caractéristique du coefficient transpiratoire. On peut aussi comparer les valeurs des coefficients transpiratoires de différentes plantes au coefficients transpiratoire d'une plante donnée. C'est ainsi que L.TURC [13] définit les valeurs du paramètre c en faisant le rapport du coefficient transpiratoire de la plante étudiée et de celui du blé .

En ce qui concerne le mil nous en sommes réduits aux hypothèses, ne disposant d'aucune donnée chiffrée sur cette question. Toutefois on peut noter que les coefficients transpiratoires de la plupart des céréales sont assez voisins de celui du blé. Faut de meilleure indication, nous égalons donc le paramètre c à l'unité .

Le cas de l'arachide est un peu mieux connu. BILLAZ, dans une étude effectuée sur cette plante au DAHOMEY [6] trouve des valeurs oscillant entre 400 et 520. Or SCHANTZ et PIEMEISEL cités par DEMOLON [24] indiquent une valeur de 550 pour le blé, celle-ci pouvant descendre très sensiblement en terrain fertile. Nous retrouvons donc des valeurs voisines de celles indiquées par BILLAZ et adopterons un coefficient c égal à l'unité .

Ces valeurs du coefficient transpiratoire seront d'ailleurs précisées ultérieurement par les expérimentations en cours à BAMBEY .

..../....

2) Les résultats .

Les hypothèses de départ étant ainsi définies, il nous est maintenant possible d'effectuer les calculs de l'évapotranspiration et des besoins en eau par la méthode de I.TURC .

Précisons une fois encore que ce mode de calcul théorique ne saurait fournir autre chose qu'un ordre de grandeur des besoins en eau de la culture étudiée. Ceux-ci ne pourraient être définis avec certitude que par l'expérimentation directe, sous différentes conditions de sols et de climats. Or ces mesures expérimentales sont, jusqu'à présent, à peu près inexistantes dans les régions tropicales sèches. Diverses expériences sont en cours, notamment à BABEY, pour combler cette lacune, mais il faudra encore un certain temps pour que l'on puisse disposer de résultats complets. Le calcul théorique nous permet de gagner du temps et de guider l'expérimentation en fournissant immédiatement un ordre de grandeur de la consommation en eau pour une culture donnée sous un climat défini .

Les résultats du calcul pour une culture de mil effectuée en sol Dior figurent sur le tableau 3; le tableau 4 fournit ces mêmes valeurs, lorsque le mil est cultivé en sol Dek. Dans les deux cas, la quantité d'eau évaporée est sensiblement la même: respectivement 842 et 845 mm. Par contre la consommation d'eau sera un peu plus élevée en sol Dek, car le déficit de rétention y est plus grand qu'en sol Dior: 1000 mm contre 958 . La consommation globale en eau de la culture se situe donc aux environs de 1000 mm, soit 10.000 m³/ha .

Pour l'arachide les chiffres d'évapotranspiration et de consommation en eau (tableaux 5 et 6) sont notablement plus faibles :

...../.....

Evapotranspiration : 660 mm en sol Dior
564 mm en sol Dek
Consommation d'eau : 735 mm en sol Dior
764 mm en sol Dek .

Ces valeurs théoriques de la consommation en eau ont été comparées aux précipitations d'une année moyenne et d'une année déficitaire .

Les précipitations ont été calculées par décade de manière à pouvoir les confronter aux besoins en eau de la plante, eux-mêmes exprimés par des valeurs décadaires. La pluviométrie de l'année moyenne a été établie en faisant la moyenne des pluviométries des trente dernières années, à BAMBEY (1930-1960). L'année déficitaire choisie a été l'année 1959 qui représente une des plus faibles pluviométries observées à BAMBEY (467mm).

Pour chaque décade, une différence positive entre le besoin en eau et le total des précipitations représentera l'apport d'eau complémentaire à fournir au sol pour que la culture bénéficie d'une alimentation hydrique théoriquement idéale. Une différence négative représentera le volume drainé, au niveau le plus bas atteint par les racines .

Tous les résultats sont regroupés sur le tableau 7 pour la culture de mil, sur le tableau 8 pour l'arachide .

On constate que, pour le mil, les apports d'eau complémentaires à fournir à la culture oscillent entre 420 et 665 mm suivant le sol et l'année. Pour l'arachide ces valeurs sont diminuées de près de moitié: 200 et 375mm . Les pluviométries choisies permettent de définir les limites inférieure et supérieure des apports d'eau complémentaires .

.../....

En comparant les besoins en eau à une pluviométrie déficitaire on conçoit aisément que l'on puisse définir ainsi une valeur maximum des apports d'eau complémentaires à fournir au sol. Pour la valeur minimum, on serait tenté de l'obtenir en comparant les besoins en eau de la culture à une pluviométrie excédentaire. En réalité on obtiendrait ainsi des valeurs maxima du drainage mais non pas les valeurs minima des apports complémentaires; car, même en année excédentaire, les pluies sont toujours plus ou moins bien réparties: à côté de précipitations très importantes, il y aura des périodes de sécheresse relative. En faisant la moyenne des pluviométries de 30 années on obtient au contraire une répartition très régulière des précipitations, ce qui permet de définir à la fois la valeur minima des apports complémentaires à fournir et la valeur minima des volumes d'eau drainés. Notons d'ailleurs, sur les tableaux 7 et 8, que les drainages sont sensiblement plus importants en année déficitaire, à précipitations irrégulières, qu'en année moyenne .

L'ordre de grandeur des apports complémentaires à prévoir, en se plaçant dans les conditions les plus défavorables, sera donc de 650 mm pour le mil, 400 mm pour l'arachide, soit respectivement: 6.500 m³ et 4.000 m³/ha .

Il convient de remarquer que ces chiffres peuvent être sensiblement diminués en tenant compte du fait qu'en fin de végétation la culture pourra s'alimenter à partir des seules réserves d'eau du sol. Il n'y aura probablement aucun inconvénient, sinon peut être avantage, au moins pour le mil, à supprimer tout apport d'eau pendant les deux dernières décades. Pendant cette période, correspondant à la maturation des grains, il est en effet souvent préférable, pour des raisons physiologiques, que la plante ne dispose que d'une alimentation en eau réduite .

.../...

3) Choix de la date de semis

Nous avons fixé plus haut la date de semis au 10 Juin, en indiquant que cette date nous paraissait la meilleure, compte tenu des caractéristiques pluviométriques de la région de BAMBEY, pour réduire à la fois le volume des apports d'eau complémentaires et les pertes par drainage. Il convient maintenant de préciser les raisons qui nous ont amené à faire ce choix .

Nous avons pour cela calculé l'évapotranspiration et les besoins en eau d'une culture de mil en sol Dior en faisant varier la date de semis du 10 Mai au 1er Juillet. Comparant ensuite les besoins en eau aux pluviométries d'une année moyenne et d'une année déficitaire, nous avons pu définir, pour chaque date de semis, les valeurs minima et maxima des apports d'eau complémentaires et des pertes par drainage .

Les résultats de ces calculs figurent sur le tableau 9. Suivant la date de semis choisie il y aura des différences de consommation d'eau pouvant aller jusqu'à 60 mm, soit 600 m³/ha. De même les pertes par drainage pourront différer de 35 mm soit 350 m³/ha .

Il apparaît sur le tableau, que la meilleure date de semis se situe aux alentours du 10 Juin en année déficitaire, du 20 Juin en année moyenne. On conçoit que cela puisse être assez variable suivant la pluviométrie de l'année. Il n'y a en tous cas aucun avantage, du point de vue de la consommation d'eau, à la placer au mois de Mai, ni à la retarder jusqu'en Juillet (sauf si la salinité de l'eau d'irrigation est élevée). Par contre il n'est pas impossible que, du point de vue rendement, une date de semis plus précoce se révèle avantageuse. Seule, l'expérimentation pourra nous renseigner à ce sujet .

..../....

V.- IRRIGATION COMPLETE

Les exemples étudiés ici seront ceux d'une culture de sorgho dessaisonnée et d'une culture de tomates .

Le sorgho est normalement cultivé en saison sèche au Sénégal, dans la Vallée du Fleuve, sous forme de culture de décrue. D'autres variétés, susceptibles de donner des rendements intéressants en culture dessaisonnée sont actuellement à l'étude au C.R.A.

Quant à la tomate, elle constitue pour le pays une des plus intéressantes cultures maraîchères et est promise à un développement important. Les variétés les plus communément répandues au Sénégal réussissent mieux, en général, pendant la saison sèche que pendant la saison des pluies .

1) Calcul des paramètres .

a) La croissance racinaire .

Pour le sorgho, nous avons adopté le même rythme de croissance racinaire que pour le mil. Les chiffres figurent aux tableaux 10 et 11 .

La tomate a un enracinement plus superficiel, limité à 90 cm de profondeur; ignorant tout de la rapidité du développement du système racinaire nous avons été conduit à choisir un rythme de croissance arbitraire, dont les chiffres figurent aux tableaux 12 et 13 .

b) Les déficits de rétention .

De même que pour les cultures de mil et d'arachide étudiées précédemment, les valeurs du déficit des différents horizons ont été tirées de l'étude effectuée sur l'évolution des profils hydriques au cours du temps [14]. Les valeurs de ces déficits figurent aux tableaux 10, 11, 12, 13.

.../...

c) Date de semis et durée du cycle végétatif .

Pour le sorgho, nous avons adopté le 1er Janvier comme date de semis; la tomate est généralement semée plus tôt, soit le 10 Décembre :

Le cycle végétatif d'une variété de sorgho cultivée en saison sèche diffère très notablement de son cycle normal pendant l'hivernage .

D'après une expérimentation entreprise au C.R.A. par M.LECLERCQ, les variétés les plus productives en saison sèche auraient un cycle voisin de 130 jours. C'est ce chiffre que nous adopterons dans notre étude. La récolte aura donc lieu le 10 Mai .

Pour la tomate le cycle végétatif est de 110 jours; si le semis est le 10 Décembre, la récolte aura lieu le 1er Avril .

On aura donc :

pour le mil	Z =	11
pour la tomate	Z =	9

d) Matière sèche à la récolte .

Nous sommes encore très mal renseignés sur les rendements que pourrait atteindre le sorgho en culture irriguée de saison sèche. En nous fondant sur les premiers renseignements tirés de l'expérimentation, on peut espérer, dans de bonnes conditions de culture et avec des variétés bien adaptées, obtenir 40 QX/ha. Si l'on prend pour le rapport paille/grain à la valeur 2, le poids total de matière sèche à l'ha sera de 120 QX, ce qui correspond à une valeur maximum du facteur végétatif V de 83 .

..../....

Pour la tomate des productions de 40 t. de fruits frais à l'ha sont atteintes dans de bonnes cultures maraîchères de la Presqu'île du Cap Vert. Nous estimerons dans ces conditions à 100 QX/ha le poids total de matière sèche correspondant. Nous obtiendrons également une valeur maximum de V égale à 83 car ici le cycle est raccourci .

e) Coefficient transpiratoire .

Nous ne possédons aucune indication sur les coefficients de transpiration du sorgho et de la tomate dans les conditions de leur culture au Sénégal. De même que pour le mil et l'arachide, nous adopterons, faute de mieux, pour le terme c la valeur 1 .

2) Les résultats .

Ils figurent dans les tableaux 10,11,12 et 13 .

L'évapotranspiration totale de la culture de sorgho est 670 mm; celle de la tomate est plus faible: 505 mm. La consommation d'eau globale est de 775 mm en sol Dior contre 820 en sol Dek celle de la tomate de 560 mm en sol Dior contre 600 en sol Dek .

Il n'y a pas ici de pertes par drainage car l'apport d'eau est calculé pour satisfaire aux besoins de la plante et combler le déficit de rétention jusqu'à la profondeur atteinte par les racines .

On voit qu'en disposant quotidiennement d'un volume d'eau de 6 à 7 m³ il est possible d'envisager la mise en valeur par irrigation d'un hectare de terrain en saison sèche .

..../.

VI.- LA PRATIQUE DE L'IRRIGATION

Ayant passé en revue les besoins en eau de diverses cultures nous examinerons maintenant les aspects pratiques de l'irrigation :

- Doses et espacement des arrosages
- Débits caractéristiques
- Surface de l'unité parcellaire
- Durée de l'arrosage .

Nous passerons ensuite en revue les différents systèmes d'arrosage et ferons une courte application au cas de l'aspersion.

Pour toutes ces notions classiques nous ferons largement appel aux ouvrages de P.ROLLEY [19] et de M.POIRÉE et Ch. OLLIER [20].

1) Les doses d'arrosage .

La dose maximum d'arrosage représente le volume d'eau que le sol peut emmagasiner sur toute la hauteur racinaire. Elle correspond à la quantité d'eau disponible pour les plantes, c'est-à-dire à l'eau comprise entre la capacité de rétention et le point de flétrissement .

Pour le sorgho et la tomate cultivés par irrigation en saison sèche, par exemple, ces valeurs seront :

Sorgho (profondeur racinaire : 2 m)	
Eau utile en sol Dior :	125 mm
" " " " Dek :	210 mm
Tomate (profondeur racinaire : 90cm)	
Eau utile en sol Dior :	56 mm
" " " " Dek :	96 mm

En fait, il n'y a aucun intérêt à laisser le sol se dessécher jusqu'au point de flétrissement car la croissance

.../...

de la plante se trouve ralentie bien avant d'atteindre ce seuil d'humidité. On peut estimer que, dans les sols étudiés, le ralentissement de la croissance est particulièrement marqué à partir du moment où l'humidité s'abaisse au-dessous d'une valeur correspondant au pF 3,6. C'est donc ce nouveau seuil que nous adopterons, dans les calculs, à la place du pF 4,2, pour l'estimation des doses pratiques d'arrosage .

Les valeurs moyennes de l'humidité à la capacité de rétention sont, en sol Dior, de 5,7 %, en sol Dek, de 9,6 %. Les valeurs moyennes de l'humidité au pF 3,6 sont, en sol Dior, de 2,5 %, en sol Dek Dek de 4,0 % [14].

Les doses d'arrosage deviennent alors :

Sorgho

en sol Dior: $(5,7 - 3,2) \times 1,5 \times 20 = 96 \text{ mm}$

en sol Dek : $(9,6 - 4,0) \times 1,5 \times 20 = 168 \text{ mm}$

Tomate

en sol Dior: $(5,7 - 3,2) \times 1,5 \times 9 = 43 \text{ mm}$

en sol Dek : $(9,6 - 4,0) \times 1,5 \times 9 = 76 \text{ mm}$

Bien que sensiblement inférieures aux précédentes, ces valeurs sont encore beaucoup trop élevées pour la pratique de l'irrigation. Elles pourraient cependant convenir pour humidifier le sol lors du premier arrosage car elles correspondent à peu près aux déficits de rétention existant dans les sols à ce moment. Ceux-ci sont les suivants: (d'après les tableaux 10 à 13).

A 2 m	en sol Dior :	110 mm
"	en sol Dek :	150 mm
A 90cm	en sol Dior :	45 mm
"	en sol Dek :	72 mm

Ceci signifie qu'après plusieurs mois de saison

.../...

sèche l'humidité du sol se sera abaissée jusqu'à une valeur moyenne correspondant sensiblement au pF 3,6. Mais les différents horizons du profil se trouveront très inégalement affectés par le dessèchement; dans les horizons superficiels l'humidité descendra au-dessous du point de flétrissement, alors qu'à une profondeur elle se maintiendra au voisinage de la capacité de rétention .

S'il peut être avantageux lors du premier arrosage de combler le déficit de rétention du sol sur toute la hauteur correspondant au futur développement des racines, il sera par contre très préjudiciable aux plantes, en cours d'irrigation d'attendre que le sol se soit desséché sur toute cette hauteur avant d'apporter une nouvelle dose d'arrosage .

En fait il est indispensable de tenir compte du rythme de développement racinaire de la plante. Il est possible de calculer une dose standard, valable pour toute la durée du cycle cultural, en adoptant une profondeur racinaire moyenne qui pourrait être, par exemple, la moitié de la profondeur atteinte par les racines en fin de cycle. Nous avons jugé préférable de modifier, en cours d'irrigation, les doses d'arrosages pour les adapter à la profondeur réellement atteinte par les racines .

C'est sur ces bases que nous avons calculé les doses d'arrosage figurant dans les tableaux 3 à 6 et 10 à 13. Ces doses sont faibles en début de végétation et atteignent leur valeur maximum en fin de cycle .

Les doses d'arrosage étant ainsi calculées, l'espacement des arrosages se trouvera automatiquement déterminé. Pour une période de temps définie (ici la décade) le nombre d'arrosages nécessaires s'obtiendra en divisant les besoins en eau pour cette période par la dose d'arrosage. Le nombre d'arrosage par décades figure également dans les tableaux 3 à 6 et 10 à 13 .

...../.....

2.) Débits caractéristiques .

Le débit caractéristique ou débit fictif continu est le débit qu'il faudrait fournir d'une manière continue à une superficie de 1 ha pour que les besoins en eau de la culture soient satisfaits. La valeur moyenne du débit caractéristique s'obtiendra en divisant le volume d'eau global nécessaire à la culture par la durée du cycle cultural exprimée en secondes .

C'est ainsi que, dans le cas du sorgho cultivé en sol Dior, le débit caractéristique moyen sera :

$$\frac{774 \times 10 \text{ m}^3}{3600 \times 24 \times 130 \text{ secondes}} = 0,70 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec/ha} = 0,70 \frac{\text{l}}{\text{sec/ha}} .$$

Mais les besoins en eau variant au cours du cycle végétatif le débit caractéristique ne gardera pas une valeur uniforme .

Reprenant l'exemple du sorgho cultivé en sol Dior, on s'aperçoit que les besoins en eau décadaires varient entre 49 et 65 mm soit 490 et 650 m³/ha .

Ceci correspond à des variations de débit caractéristique allant de :

$$\begin{aligned} & \frac{49 \times 10}{3.600 \times 24 \times 10} = 0,57 \text{ l/sec/ha} \\ \text{à} & \frac{65 \times 10}{3.600 \times 24 \times 10} = 0,75 \text{ l/sec/ha} \end{aligned}$$

Pour les exemples étudiés du sorgho et de la tomate, les différentes valeurs du débit caractéristique sont les suivantes :

.../...

		Débits caractéristiques		
		l/sec/ha		
Cultures	Sol	Minimum	Moyen	Maximum
Sorgho	Dior	0,57	0,70	0,75
	Dek	0,71	0,74	0,78
Tomate	Dior	0,45	0,59	0,66
	Dek	0,55	0,63	0,70

Cette notion de débit caractéristique est intéressante pour calculer rapidement la superficie irrigable en fonction du "module" disponible. Le module se définit comme le débit, exprimé en litres par secondes, dont l'irrigant dispose pour le déverser sur le sol des parcelles à irriguer .

Soit par exemple un module de 7 l/sec; pour estimer la superficie irrigable, nous nous placerons dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire que nous choisirons, pour chaque culture le débit caractéristique le plus élevé soit: 0,78 dans le cas du sorgho, 0,70 dans le cas de la tomate.

Les superficies irrigables seront alors :

$$\text{pour le sorgho : } \frac{7}{0,78} = 9 \text{ ha}$$

$$\text{pour la tomate : } \frac{7}{0,70} = 10 \text{ ha}$$

3) Unités parcellaires d'arrosage .

Dans les méthodes d'arrosage par déversement, submersion ou infiltration, les dimensions de la parcelle d'arrosage sont conditionnées à la fois par le module et par la perméabilité du terrain. Il est nécessaire en effet que la parcelle soit suffisamment grande pour absorber tout le débit; mais qu'elle ne le soit pas trop pour éviter que l'eau ne soit entièrement absorbée avant d'atteindre les parties basses .

..../....

En écrivant que, pour une parcelle de surface s (m^2), dont le sol a une perméabilité K (m/sec), il y a équilibre entre le module M (m^3/sec) et le débit d'infiltration du sol de toute la parcelle on obtient la relation :

$$s \text{ (m}^2\text{)} \times K \text{ (m/sec)} = M \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

ou : $s = \frac{M}{K}$

Dans les sols étudiés les valeurs de K sont très élevées .

Mesurées par la méthode de MÜNTZ les perméabilités sont de l'ordre de 20 cm/ha pour les sols Dior et Dek; par la méthode de PORCHET, ces valeurs sont plus élevées et varient entre 70 et 140 cm/ha [14]. Exprimées en m/sec , les chiffres de perméabilités PORCHET deviennent: $2 \cdot 10^{-4}$ et $4 \cdot 10^{-4}$.

Ces grandes perméabilités obligerait l'irrigant, s'il utilisait une des 3 méthodes d'arrosage précédemment citées, à mettre en eau des parcelles beaucoup trop exigües ou à employer des modules beaucoup trop élevés, eu égard à la rentabilité de l'opération .

Soit en effet un module de 50 l/sec, valeur moyenne couramment employée en irrigation. Avec une perméabilité de $4 \cdot 10^{-4} m/sec$, la surface de l'unité parcellaire d'arrosage aura pour valeur .

$$s = \frac{M}{K} = \frac{50 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-4}} = 125 \text{ m}^2.$$

Or il est reconnu par tous les praticiens de l'irrigation que la surface de parcelles d'arrosage ne saurait descendre en-dessous de 250 m^2 sans entraîner des frais d'exploitation prohibitifs. Cette valeur limite de 250 m^2 ne pourrait être atteinte qu'en utilisant des modules de 100 l/sec. Ce sont là des modules très importants, rarement disponibles dans la pratique /

Par ailleurs, à supposer que l'on disposât de modules aussi élevés, l'irrigation "à la planche", par l'une des trois méthodes d'arrosage énoncées plus haut n'en resterait pas moins formellement déconseillée .

L'expérience prouve en effet que l'arrosage dans des terrains très perméables est difficile à conduire, que des pertes en eau importantes se produisent inévitablement: la méthode d'infiltration "à la raie", en particulier, se révèle tout à fait impraticable. Le tableau 14 résume ces données en fournissant une classification des terrains d'après leur perméabilité et leur aptitude à l'arrosage .

4) Arrosage par aspersion .

Ayant écarté les méthodes d'arrosage par déversement, submersion et infiltration, il reste à examiner le cas de l'arrosage par aspersion. Dans la théorie de l'arrosage cette méthode diffère essentiellement des trois autres par le fait que les dimensions de la surface d'arrosage ne se trouvent plus obligatoirement conditionnées par le module et la perméabilité du terrain .

Le module et la surface arrosée sont caractéristiques de l'appareil d'arrosage choisi et définis par lui. Le rapport $\frac{M}{S}$ se trouve fixé ipso facto. On l'appelle ici densité d'aspersion δ .

La valeur du rapport $\frac{M}{S}$ est donc différente de celle de K (sauf coïncidence fortuite). Ceci constituerait un inconvénient majeur dans le cas d'un des systèmes d'arrosage "à la planche". Mais dans le cas de l'aspersion, chaque point du sol reçoit directement l'eau qui lui est destinée. Si $\delta < K$, tous les secteurs de la parcelle recevront malgré tout la même quantité d'eau; les parties basses ne risqueront plus d'être privées d'eau par le fait d'un sol trop perméable, dont les seules parties amont absorberaient la totalité .

..../....

Si $\delta > K$, il y aura par contre excès d'eau momentanément sur la parcelle arrosée et ruissellement en dehors .

Pour que l'arrosage par aspersion se fasse dans de bonnes conditions il suffit donc de choisir δ de façon à ce qu'il soit inférieur à K .

Dans le cas de l'aspersion, les doses et l'espace-ment des arrosages ne se trouvent pas modifiés; la durée de l'arrosage et le module seront déterminés par les caractéristiques de l'appareil .

Mentionnons d'autre part, que l'arrosage par aspersion représente la méthode la plus économique au point de vue de la consommation d'eau .

Pour toutes ces raisons, l'aspersion constitue la méthode de choix pour l'irrigation des terrains à forte perméabilité, représentant, au Sénégal, de vastes superficies .

.../...

VII.- LA QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION

La qualité de l'eau d'irrigation est un élément essentiel dans la réussite d'une culture irriguée en pays semi-aride. Toutes les eaux disponibles sont en effet plus ou moins riches en sels tandis que les possibilités de drainage sont souvent limitées. Il y a donc au bout d'un certain temps risque d'accumulation de sels dans le sol, même en irrigant avec des eaux de concentration moyenne .

L'utilisation de l'eau dépendra, non seulement de sa propre qualité, mais aussi du terrain et de la culture pratiquée. C'est pourquoi, pour juger de l'aptitude d'une eau à l'irrigation, d'après ses caractéristiques analytiques, il sera indispensable de tenir compte des deux autres éléments: sol et culture. Faute de quoi le diagnostic n'aurait aucun sens .

Avant d'exposer la classification des eaux d'irrigation, en l'illustrant par quelques exemples pris au Sénégal, il conviendra de rappeler brièvement l'influence de la solution du sol sur la croissance des plantes et les transformations causées par l'eau d'irrigation .

1) La solution du sol et la croissance des plantes

C'est dans la solution du sol que la plante puisera l'eau et les sels minéraux nécessaires à la constitution de ses tissus. Le volume de cette solution disponible pour les plantes variera suivant le taux d'humidité du sol et ses caractéristiques physiques .

Il est admis en effet que la plante utilise l'eau du sol entre 2 limites d'humidité. La limite inférieure, en deça de laquelle l'eau est fixée au sol par une tension trop élevée pour que la plante puisse l'utiliser, est le point de flétrissement. Il correspond au pF 4,2 .

..../....

La limite supérieure au delà laquelle l'eau n'est plus retenue par le sol et s'écoule librement est la capacité de rétention. Cette dernière limite correspond à un pF variant, suivant les sols, entre 3,0 et 2,5.

En réalité, l'eau excédentaire ne draine pas immédiatement, même dans les sols très perméables; elle s'accumule temporairement dans le sol jusqu'à remplir tous les espaces lacunaires. Au moment le volume d'eau contenu dans l'unité de volume de sols est égal à la porosité totale. L'humidité est dite alors au taux de saturation et le pF est égal à 0. La composition de cette solution du sol, appelée extrait à saturation, peut-être assimilée à celle des eaux de drainage. C'est cette solution que nous étudierons plus particulièrement dans ce qui va suivre .

Une concentration saline trop élevée est nuisible à la croissance de la plante: il a été prouvé expérimentalement [21] que les rendements de toutes les plantes décroissent régulièrement au fur et à mesure que la pression osmotique de la solution nutritive augmentait. Or cette pression osmotique est en relation directe avec la concentration en sel de la solution. La chute des rendements est plus ou moins *rapide suivant que la* plante est plus ou moins tolérante vis à vis du sel.

La salinité de l'extrait à saturation peut s'exprimer en grammes de sel par litre ou en milliéquivalents par litre. Cependant il est très commode de l'exprimer en unités de conductivité de la solution, mesurée à la température de 25°. Cette détermination est en effet facile à exécuter et par ailleurs il existe une correspondance très simple entre les valeurs de conductivité et la concentration en sels dans une solution .

On a en effet : $CE_{25^{\circ}} = 0,10 C$
avec $CE_{25^{\circ}}$ exprimé en $\text{Mhos } 10^{-3}/\text{cm}^{-1}$ ($\text{mmhos}/\text{cm}^{-1}$)

et C " en $\text{mé}/\text{l}$

.../...

On trouvera dans le tableau 15 une liste des principales espèces cultivées classées suivant leur tolérance vis-à-vis du sel. Dans chaque colonne en partant du haut, les plantes sont rangées par ordre de tolérance croissante. Les limites de chaque classe de tolérance sont chiffrées par les valeurs de conductivité de l'extrait à saturation. Mais si les plantes les plus tolérantes de la classe envisagée arrivent à subsister dans une solution du sol ayant pour valeur de conductivité la limite supérieure de la classe, elles n'en subissent pas moins une chute appréciable de rendements pouvant se traduire par 50 % d'une récolte en terrain non salé .

Notons que ces données ont été établies aux Etats-Unis sous le climat Californien [21]; nous ne les donnons ici qu'à titre indicatif; les valeurs limites de la conductivité, en particulier, devraient certainement être révisées avant d'être appliquées au Sénégal. D'après les quelques connaissances expérimentales que nous possédons sur cette question, les plantes cultivées dans les conditions de sol et de climat du Sénégal peuvent supporter des salures sensiblement plus élevées que celles indiquées dans le tableau. Le riz notamment semble pouvoir subsister, au Bao-Bolon, dans une solution à 8 g. de sel par l soit environ 13 mmhos/cm⁻¹ au lieu de 8 mmhos indiqués par les Américains .

Le taux de sel dans la terre se calcule en multipliant la teneur de l'extrait à saturation par le pourcentage de saturation :

$$X \text{ mé/kg} = C \text{ mé/l} \times \frac{S P}{100}$$

Il apparaît que, pour une même valeur de la teneur en sels, on peut avoir, suivant la valeur du pourcentage de saturation, des concentrations très différentes dans la solution du sol et par conséquent des réponses très différentes de la plante .

.../....

Soit par exemple deux sols présentant une même teneur en sels/de 100 mé/kg. Le premier est un sol prélevé dans la région Fatick et développé sur alluvions sableuses. Son pourcentage de saturation est faible: 20 %. Le second provient du Bao-Bolon; il est très argileux et riche en matière organique; son pourcentage de saturation est élevé et atteint 80 % .

La concentration de la solution du sol sera dans le premier cas de $\frac{100}{0,2} = 500$ mé/l .

dans le second cas de $\frac{100}{0,8} = 125$ mé/l .

Bien que la teneur en sels soit la même, certaines cultures seront possibles dans les terres argileuses du Bao-Bolon, alors qu'elles ne réussiront pas dans les terres sableuses de la région de Fatick, par suite d'une salure excessive de la solution du sol .

Le graphique 1 extrait du livre de Riverside [21] indique les relations existant entre les teneurs en sels du sol d'une part, la pression osmotique, la conductivité de l'extrait à saturation, et la réponse de la plante d'autre part .

2) Influence de l'eau d'irrigation sur la solution du sol .

En l'absence de drainage et en négligeant l'accumulation de sel dans la plante il est possible d'estimer l'enrichissement de la solution du sol sous l'influence de l'eau d'irrigation. On pourra suivre cet enrichissement par la mesure de conductivité de l'extrait à saturation. Soit CE_s cette augmentation de conductivité, exprimée en mmhos .

Cette augmentation est fonction de la quantité d'eau utilisée et de la concentration de celle-ci. Elle se calcule [21] par la formule :

$$CE_s = CE_c \times \frac{H}{h} \times \frac{100}{PS} \times \frac{1}{d} \quad (1)$$

.../...

où : H = hauteur d'eau utilisée pendant l'irrigation
h = profondeur de sol influencée par l'irrigation
 $\frac{PS}{100}$ = pourcentage de saturation du sol
d = densité apparente du sol
CE₀ = conductivité de l'eau d'irrigation

Prenons à titre d'exemple l'irrigation d'un sol Dior par l'eau de la nappe phréatique de BAABEY. Cette eau, dont l'analyse figure dans le tableau 16, (échantillon Bey 29), a une conductivité de 1,3 mmhos .

Le sol Dior a un pourcentage de saturation d'environ 20 %. Sa densité apparente est de 1,5 .

Calculons la valeur du rapport $\frac{H}{h}$ pour une augmentation de 4 mmhos dans la conductivité électrique de l'extrait à saturation .

$$\begin{aligned} \text{Il vient : } \frac{H}{h} &= \frac{CE_s}{CE_0} \times d \times \frac{SP}{100} \quad (2) \\ \frac{H}{h} &= \frac{4}{1,3} \times 1,5 \times \frac{20}{100} = 2,3 \end{aligned}$$

Il suffira donc d'un apport d'eau correspondant à une hauteur de 2,3 m pour augmenter de 4 mmhos la conductivité de la solution du sol sur 1m de profondeur. Même si la teneur en sels était nulle au départ, la valeur de 4 mmhos dans la solution du sol représente le seuil à partir duquel certaines plantes peuvent avoir à souffrir de la salure. Or il s'agit ici d'une eau à concentration moyenne .

Si l'on refait le calcul avec l'eau de la nappe du Maestrichtien prélevée à Diourbel (échantillon Di 3 du tableau 16), dont la conductivité est de 4,6 mmhos, le rapport tombe alors à: 0,65 .

On voit donc que le danger de salure existe même avec des eaux moyennement minéralisées quand on ne prend pas la précaution d'évacuer l'excès de sel par lessivage et drainage .

..../....

En augmentant, en effet, les doses d'arrosages de façon à provoquer un drainage en dehors de la zone des racines, on arrive à contrôler la concentration saline de la solution du sol .

Le coefficient de lessivage L se définit par le rapport de la hauteur d'eau drainée Hd à la hauteur d'eau apportée au sol Hi. Mais le rapport des hauteurs d'eau se trouve être l'inverse du rapport des conductivités. On a donc :

$$L = \frac{H_d}{H_i} = \frac{CE_i}{CE_d}$$

Connaissant CE_i, on ne peut se fixer une valeur limite pour CE_d, qui est aussi la conductivité de l'extrait à saturation .

On obtient ainsi la valeur du rapport $\frac{H_i}{H_d}$ ou coefficient de lessivage .

Appliquons ces résultats au cas d'une culture de sorgho effectuée en sol Dior .

D'après les indications du tableau 10, la profondeur radiculaire h est de 200 cm; la hauteur, d'eau globale H apportée au sol est de 774 mm .

Cette hauteur d'eau a été calculée de façon à ce qu'à aucun moment il n'y ait drainage en dehors de la zone radiculaire. Nous pouvons donc appliquer l'équation (1) en prenant successivement 1,3 et 4,6 comme valeurs de conductivité pour l'eau d'irrigation (nappe phréatique de BAMBEY et nappe du Maestrichtien).

Il vient dans le premier cas :

$$CE_s = 1,3 \times \frac{774}{2000} \times \frac{100}{20} \times \frac{1}{1,5}$$

$$CE_s = 1,7 \text{ mmhos/cm}^{-1}$$

...../.....

Dans le second cas: $CE_s = 4,6 \times \frac{774}{2000} \times \frac{100}{20} \times \frac{1}{1,5} = 5,9$ mmhos/cm⁻¹

Or le sorgho supporte une conductivité de 8 mmhos/cm⁻¹ dans la solution du sol. Les deux eaux envisagées paraissent donc convenir et la nécessité du drainage n'apparaît pas de façon évidente. Cependant, il y a lieu de remarquer qu'avec l'eau du forage la conductivité de la solution du sol atteint déjà une valeur élevée qui risque de faire baisser sensiblement le rendement (la valeur 8 correspondant à une baisse de 50 %).

D'autre part, une notable quantité de sels se trouve accumulée sur une profondeur de 2 m; lorsque l'irrigation aura pris fin les sels suivront le mouvement ascendant des solutions du sol sous l'influence de l'évaporation et auront tendance à s'accumuler dans les horizons superficiels, ce qui portera préjudice à la culture suivante. Il y aurait donc lieu d'atténuer ce phénomène en augmentant les doses d'arrosage de façon à entraîner l'excès de sel à plus de 2m de profondeur .

Le cas de la culture de tomate est encore plus net. Les apports d'eau sont sensiblement plus faibles que pour le sorgho (tableau 12), mais la profondeur radicaire n'étant que de 90 cm, la concentration de la solution du sol sera, en fin d'irrigation, nettement plus élevée que dans le cas précédent .

On aura pour l'eau de la nappe phréatique :

$$CE_s = 1,3 \times \frac{563}{900} \times \frac{100}{20} \times \frac{1}{1,5} = 2,7 \text{ mmhos/cm}^{-1}$$

et pour l'eau du forage: $CE_s = 4,6 \times \frac{563}{900} \times \frac{100}{20} \times \frac{1}{1,5} = 9,6$ mmhos/cm⁻¹ .

La tomate a une forte tolérance vis-à-vis du sel puisqu'elle arrive à subsister dans des solutions dont la conductivité est égale à 12 mmhos. Les deux eaux

.../...

paraissent donc convenir dans ce cas particulier. Cependant il y aurait un grand intérêt, pour les raisons énoncées plus haut, à diminuer la concentration saline provoquée par l'utilisation de l'eau du forage et à réduire la valeur de la conductivité. On peut envisager, par exemple, de la ramener de 9,6 à 6 mmhos/cm⁻¹.

Calculons, dans ce cas, quel serait le coefficient de lessivage :

$$L = \frac{H_d}{H_i} = \frac{E_i}{E_d} = \frac{4,6}{6,0} = 77 \%$$

Si nous appelons H la hauteur d'eau utilisée effectivement par les plantes, nous aurons :

$$H_i = H + H_d$$

$$\text{et } H_d = \frac{H \times L}{1 - L}$$

$$\text{où } H_d = \frac{CE_i}{CE_d - CE_i} \times H$$

$$\text{Ici } H_d = \frac{4,6}{6,0 - 4,6} \times 563$$

$$H_d = 1.850 \text{ mm}$$

$$H_i = H + H_d = 563 + 1.850 = 2.413 \text{ mm.}$$

Il faudrait donc multiplier par $\frac{2.413}{563} = 4,35$ les doses d'arrosage pour que la conductivité de la solution du sol ne dépasse pas la valeur de 6 mmhos/cm⁻¹. Ceci ne serait possible que si la fourniture d'eau était très peu coûteuse .

Le tableau 17 donne, à titre indicatif, les quantités de sels apportées par l'eau d'irrigation dans le cas de la culture de tomate. Pour l'eau provenant de la nappe du Maestrichtien on a distingué le cas de l'irrigation avec et sans drainage. Dans cette deuxième hypothèse on a supposé que le rapport des éléments entre eux ne variait pas au cours du lessivage. Il suffit alors de multiplier les

..../....

paraissent donc convenir dans ce cas particulier. Cependant il y aurait un grand intérêt, pour les raisons énoncées plus haut, à diminuer la concentration saline provoquée par l'utilisation de l'eau du forage et à réduire la valeur de la conductivité. On peut envisager, par exemple, de la ramener de 9,6 à 6 mmhos/cm⁻¹.

Calculons, dans ce cas, quel serait le coefficient de lessivage :

$$L = \frac{H_d}{H_i} = \frac{E_i}{E_d} = \frac{4,6}{6,0} = 77 \%$$

Si nous appelons H la hauteur d'eau utilisée effectivement par les plantes, nous aurons :

$$H_i = H + H_d$$

et
$$H_d = \frac{H \times L}{1 - L}$$

où
$$H_d = \frac{CE_i}{CE_d - CE_i} \times H$$

Ici
$$H_d = \frac{4,6}{6,0 - 4,6} \times 563$$

$$H_d = 1.850 \text{ mm}$$

$$H_i = H + H_d = 563 + 1.850 = 2.413 \text{ mm.}$$

Il faudrait donc multiplier par $\frac{2.413}{563} = 4,35$ les doses d'arrosage pour que la conductivité de la solution du sol ne dépasse pas la valeur de 6 mmhos/cm⁻¹. Ceci ne serait possible que si la fourniture d'eau était très peu coûteuse .

Le tableau 17 donne, à titre indicatif, les quantités de sels apportées par l'eau d'irrigation dans le cas de la culture de tomate. Pour l'eau provenant de la nappe du Maestrichtien on a distingué le cas de l'irrigation avec et sans drainage. Dans cette deuxième hypothèse on a supposé que le rapport des éléments entre eux ne variait pas au cours du lessivage. Il suffit alors de multiplier les

..../....

quantités de chaque élément par le rapport des concentrations globales en sels on, ce qui revient au même, par le rapport des conductivités, ici: 6,0/9,6 .

La quantité globale de sels apportée par l'eau d'irrigation sur 1 ha de terrain est égale à 5 T. dans le cas d'utilisation de la nappe phréatique; elle est de 16 T. dans le cas de l'utilisation de la nappe du Maestrichtien. Ce dernier chiffre est ramené à 10 T. dans l'hypothèse d'un lessivage convenablement conduit. Parmi les éléments apportés au sol tous ne sont pas nocifs comme le Cl et le Na; d'autres sont utiles comme l'N, le P, le K, le Ca. L'apport de chaux et de potassium, en particulier, peuvent être importants et équivaloir à des fumures massives. Les apports d'azote et de phosphore, par contre, seront toujours assez limités étant donné la faible richesse des eaux en ces éléments .

Cette méthode pour évaluer l'influence de l'eau d'irrigation sur la solution du sol et la salinité est préconisée par le laboratoire de Riverside, U.S.A. [21]. Elle a le mérite de la simplicité mais prête à certaines critiques. Dans l'évaluation des quantités d'eau nécessaires au lessivage, en particulier, cette méthode ne tient pas compte de l'effet "piston" de l'eau, mis en évidence par SCHLOESING (cité par A.DELOLON [24]). Tous les calculs supposent en effet que l'eau d'irrigation se mélange intimement à la solution du sol pour donner une solution de concentration moyenne .

Or ce mélange ne se produit que très lentement. Dans une première phase l'eau d'irrigation chasse devant elle la solution du sol, à la manière d'un piston, sans qu'il y ait mélange entre les deux phases liquides. C'est ainsi que, dans les tans de Fatick, une lame d'eau douce alimentée par les pluies, se superpose à la nappe phréatique salée. La riziculture devient ainsi possible sous con-

.../...

dition que la lame d'eau douce soit régulièrement renouvelée. Dans le cas contraire, sous l'influence de l'évaporation, la solution du sol s'enrichit progressivement en sels dans les horizons superficiels, jusqu'à tuer les plants de riz .

D'autres méthodes ont été proposées par des techniciens expérimentant en Afrique du Nord. J.H.DURAND [22] a comparé en Algérie la concentration de l'eau d'irrigation à celle des eaux de drainage recueillies à diverses profondeurs. Il a trouvé que la concentration des eaux de drainage était égale au bout d'un certain nombre d'arrosages à celle de l'eau d'irrigation multipliée par un facteur correctif. Ce facteur variait de 1,5 en terrain sableux à 10 en terrain argileux .

Or le calcul de Riverside ne fait pas intervenir la nature du terrain mais uniquement la quantité d'eau drainée.

Ces deux résultats ne sont cependant pas inconciliables car J.H.DURAND ne précise pas les quantités d'eau effectivement drainées dans les différents cas étudiés. Il est probable que le drainage était plus rapide et plus abondant dans les sols sableux, ce qui permet de retrouver les résultats de Riverside. Cependant, il est également possible que l'effet "piston" de l'eau soit plus important dans les sols sableux .

Par ailleurs BRYSSINE [25], au MAROC, s'est attaché à calculer la quantité de sels fixés par le sol après irrigation. Il a montré que, si le nombre des arrosages était suffisamment élevé, la quantité de sels retenus par le sol (en g par Kg de terre sèche) tendait à égaler une valeur K indépendante de la teneur initiale en sels et définie par l'équation .

$$K = \frac{C \cdot Q}{\frac{Q}{R} - 1}$$

.../.....

- où C est la concentration des sels dans l'eau d'arrosage en gl/l
- R le volume d'eau d'arrosage retenue par le sol en l par Kg de terre sèche (déficit de rétention).
- Q le volume d'eau d'arrosage en l par Kg de terre sèche par arrosage .

L'intérêt de cette formule est de montrer l'influence de l'espacement des arrosages sur la salure, influence qui n'apparaît pas dans la formule de Riverside. Des arrosages fréquents provoqueront donc une plus faible salure, à volume et nombre égaux, que des arrosages très espacés .

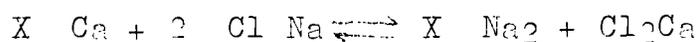
Par ailleurs nous retrouvons dans la formule de BRYSSINE l'influence des doses d'arrosages: la salure K diminue quand les doses d'arrosages Q augmentent .

Ce mode de calcul aboutit à des valeurs plus élevées que celles obtenues par la méthode de Riverside .

3) Influence de l'eau d'irrigation sur les colloïdes du sol

Les principaux cations fixés sur le complexe absorbant du sol sont: Ca^{++} , K^+ , Na^+ , H^+ . Généralement Ca^{++} et H^+ sont dominants et la proportion de Na^+ par rapport au total est faible. Quand cette proportion dépasse le seuil de 15 % (chiffre fixé par les Américains) le sol entre dans la catégorie des sols à alcalis, qui se caractérisent, entre autres, par des propriétés physiques défectueuses (grande dispersion, très faible perméabilité).

Or les eaux d'irrigation contiennent toutes du Sodium en plus ou moins grande quantité. Des réactions d'échange se produiront entre ce cation et les autres cations du complexe absorbant suivant le type :



X représentant le complexe absorbant .

..../....

Il est donc intéressant de prévoir quelle quantité de Sodium se fixera sur le complexe absorbant au cours de l'irrigation, ou, en d'autres termes, quel sera le danger d'alcalinisation .

Divers auteurs ont pu mettre en évidence une relation entre le Sodium échangeable d'un sol et le Sodium de la solution saline en équilibre avec le sol .

Celle-ci se définit par le rapport :
$$\frac{\text{Na}^+}{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}$$

Ce rapport est appelé taux d'absorption du Sodium par les Américains; les cations y sont exprimés en millivalences .

Partant de cette donnée, le laboratoire de Riverside a défini une relation empirique entre le taux d'absorption du Sodium (T.A.S.) d'une eau d'irrigation, considérée comme solution saline et le pourcentage de Sodium échangeable. Des nomogrammes permettent de calculer rapidement ces valeurs .

Les résultats obtenus par cette méthode ont été controversés. J.F.DURAND, en Algérie, trouve de fortes divergences entre les prévisions du calcul théorique et les chiffres expérimentaux obtenus sur des sols ayant été irrigués pendant très longtemps avec la même eau .

En ce qui concerne les sols du Sénégal, les quelques résultats que nous possédons sont contradictoires; certains sont conformes à la prévision théorique, d'autres en sont assez éloignés . D'une manière générale ce mode de calcul se révèle plus exact dans les sols faiblement ou moyennement salés que dans les sols fortement salés .

.... /

4) Influence spécifique de quelques ions toxiques

Outre la concentration globale en sels et le taux de Sodium, d'autres éléments apportés par les eaux d'irrigation peuvent se montrer toxiques vis-à-vis des plantes à partir d'un certain seuil. C'est le cas en particulier du Bore. Cet élément a jusqu'à présent été peu étudié dans les sols et les eaux du Sénégal .

Enfin il peut se produire dans le sol une formation de carbonate de soude, très nocive pour la plante et le sol. Ce carbonate se formerait par enrichissement relatif en Sodium, dû à la précipitation du Ca^{++} et du Mg^{++} dans les ~~eaux~~ riches en ions bicarboniques. Bien que ces eaux soient abondantes au Sénégal la formation de carbonate de Sodium n'a pas été encore observée dans les sols .

5) Classification des eaux d'irrigation .

Le laboratoire de Riverside a établi une classification des eaux d'irrigation d'après les deux critères principaux :

- Concentration saline, exprimée par la conductivité .
- Danger d'alcalinisation, exprimé par le taux d'absorption du sodium .

Pour chaque critère 4 classes ont été définies :

a) Conductivité .

- Classe C1 : $CE_{25} < 250$ Mhos $10^{-6}/cm^{-1}$
Basse salinité; eaux utilisables pour la plupart des sols et des cultures sans danger d'apparition de conditions salines dans le sol
- Classe C2 : $250 \leq CE_{25} \leq 750$ Mhos $10^{-6}/cm^{-1}$
Salinité moyenne; eaux utilisables avec un lessivage modéré. Les plantes modérément tolérantes peuvent pousser sans pratiques spéciales du contrôle de la salinité .
...../.....

- Classe C3: $750 \leq CE_{25} \leq 2.250$ Mhos $10^{-6}/cm^{-1}$
Haute salinité; eaux inutilisables dans les sols à drainage restreint. Si le drainage est satisfaisant, le contrôle de la salinité sera cependant nécessaire. Seules les plantes tolérantes aux sels pourront être cultivées .
- Classe C4: $2.250 \leq CE_{25} \leq 5.000$ Mhos $10^{-6}/cm^{-1}$
Eaux à très haute salinité; ne peuvent être utilisées pour l'irrigation que très exceptionnellement. Les sols doivent être perméables, le drainage très bon. Effectuer un lessivage important et ne cultiver que des plantes très tolérantes aux sels .

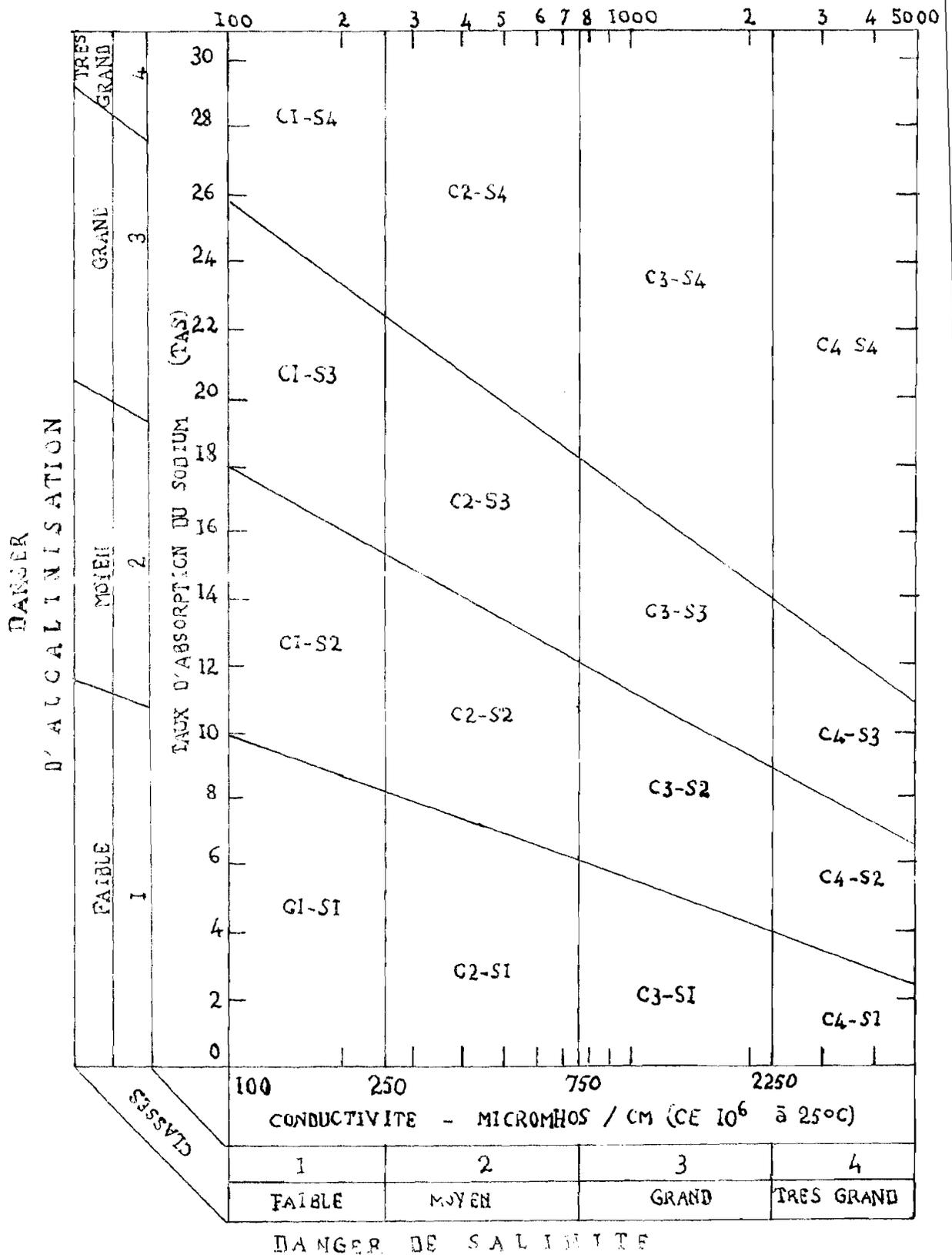
b) Taux d'absorption du Sodium .

- Classe S1: Eaux faiblement sodiques .
Utilisables sans danger de faire apparaître dans le sol un taux de sodium échangeable excessif .
- Classe S2: Eaux moyennement sodiques .
Danger appréciable d'alcalinisation dans les sols argileux à haute capacité d'échange surtout dans des conditions de faible lessivage. Ce danger n'apparaît pas si le sol contient du gypse. Eaux utilisables dans les sols sableux ou organiques à bonne perméabilité .
- Classe S3: Eaux fortement sodiques .
Peuvent augmenter de façon dangereuse le taux en sodium échangeable du sol. Exigent un aménagement spécial du sol: bon drainage, lessivage important, apport de matière organique. Des amendements chimiques, destinés à remplacer l'ion Na^+ par l'ion Ca^{++} peuvent être nécessaires; ils ne seront pas indispensables dans les terres contenant du gypse. Ces amendements ne peuvent être utilisés si l'eau d'irrigation est très salée .

.../...

DIAGRAMME POUR LA CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION

(d'après les données du laboratoire de Riverside, U.S.A.)



- Classe S4: Eaux très fortement sodiques .

Généralement impropres à l'irrigation sauf si la salinité est faible et les teneurs en calcium de la solution du sol importantes (amendements calciques).

Le diagramme 2 résume cette classification .

Ces normes de classement ont été appliquées à différentes eaux du Sénégal. On en trouvera quelques exemples dans le tableau 16.

C'est ainsi que les eaux de la nappe phréatique de BAMBEY et celles de la nappe du Maestrichtien précédemment étudiées se classent respectivement en C3-S1 et C4-S3. Cette dernière serait donc déconseillée pour l'irrigation. Nous avons vu en effet que son emploi ne se justifiait que pour une culture tolérante au sel, comme la tomate, et en prenant soin de pratiquer un lessivage important. D'après GORCE, qui a utilisé des eaux de diverses origines pour l'arrosage de pépinières forestières dans les régions de KAOLACK et de KAFFRINE, les normes de classement correspondent bien à des différences dans le taux de croissance des jeunes plants. Ces différences n'ont malheureusement pas été chiffrées .

D'une façon générale les normes Américaines paraissent assez sévères. Une cinquième classe de conductivité pourrait être créée et inclure les eaux dont les conductivités varient entre 5.000 et 20.000 $\text{Mhos } 10^{-6}/\text{cm}^{-1}$. Ces eaux pourraient encore convenir, avec de fortes doses d'arrosage, pour l'irrigation de sols sableux et la culture de plantes très tolérantes au sel .

..../....

VIII.- LES RESSOURCES EN EAUX DU SENEGAL

Les eaux d'irrigation peuvent se classer suivant leur origine, en plusieurs catégories :

- Eaux superficielles: rivières, lacs, marais temporaires .
- Eaux des nappes phréatiques
- Eaux des nappes profondes .

1) Les eaux superficielles .

Au Sénégal les eaux superficielles se répartissent en quatre systèmes hydrographiques principaux: le Fleuve Sénégal, le Sine-Saloum, la Gambie, la Casamance .

Ces systèmes ont fait l'objet d'études plus ou moins poussées concernant l'hydrologie et la qualité des eaux. L'ensemble hydrographique du Fleuve Sénégal, (comprenant le lac de Guiers) est celui qui a fait l'objet des études les plus complètes et les plus anciennement poursuivies grâce à l'implantation de la M.A.S. Les problèmes de salure et d'utilisation des eaux, en particulier, sont maintenant assez bien connus des spécialistes .

La Gambie présente des possibilités intéressantes dans sa plaine alluviale. Quelques uns de ses défluent et affluents intéressent le Sénégal, le plus important étant le Bao-Bolon. Les eaux de la Gambie sont contenues par une digue et ne sont admises dans le Bao-Bolon qu'après contrôle de leur salinité; celle-ci varie dans de large limites suivant l'époque de l'année. L'évolution des terres en culture et de la végétation naturelle dans la zone aménagée est suivie par les spécialistes du C.R.A. de BAMBEY .

..../....

Bien que la région des "tans" ait été l'objet de longue date, de l'attention des Services de l'Agriculture, les études de mise en valeur y ont été poursuivies de façon empirique et fragmentaire. C'est, à notre avis, l'ensemble des problèmes posés par l'utilisation des eaux et des terres dans la région du Sine-Saloum qui devrait être abordé de façon systématique. Des possibilités de mise en valeur existent mais les problèmes de salure s'y posent de façon aiguë. Dans le tableau 16 on pourra comparer un échantillon d'eau superficielle prélevé à Diofior (Dr 85-4) à celui d'un échantillon d'eau de mer (Hn 2). On constate que l'eau de Diofior est presque 3 fois plus salée que l'eau de mer. Les solutions du sol prélevées en saison sèche peuvent dépasser encore ces concentrations. L'eau de mer pourrait donc être utilisée dans certaines zones pour provoquer un dessalage relatif, si les conditions topographiques s'y prêtent .

La Casamance, avec ses nombreux affluents et défluent, offre de larges possibilités de mise en valeur. Des problèmes de salure se posent également dans cette région. Leur étude ne fait que commencer; il est souhaitable qu'elle soit activement poursuivie avant d'entreprendre tout aménagement important .

2) Eaux des nappes phréatiques et des nappes profondes .

A la différence des eaux superficielles les eaux des nappes phréatiques et profondes ne peuvent être utilisées directement pour l'irrigation et nécessitent un pompage préalable. Cette opération étant assez onéreuse, il est nécessaire que l'étude de la rentabilité économique de l'irrigation soit effectuée avec soin. Notons que le prix de revient du mètre cube d'eau peut diminuer sensiblement quand le volume pompé s'accroît; il y aura lieu d'en tenir compte dans l'établissement des projets .

..../.

Il y a probablement un grand nombre de cas, au Sénégal, où l'irrigation par pompage est parfaitement justifiée du point de vue économique .

Les eaux des nappes phréatiques ont été étudiées au Sénégal par les Services des Mines et de la Géologie. Des prélèvements d'eaux sont effectués périodiquement dans les puits pour suivre l'évolution de la salinité. Une étude de M.DEFOSSÉZ, P.ELOUARD, P.VERDENI parue en 1959 fait le point de la question [26]. De cette étude ont été extraits les renseignements figurant au tableau 18; les salinités des différentes nappes, exprimées en résidus secs, ont été converties en valeurs de conductivités ce qui a permis d'utiliser les normes Américaines pour le classement de ces eaux en vue de l'irrigation .

On peut constater que la plupart de ces eaux conviennent bien pour l'irrigation. Toutefois les eaux des nappes situées dans les marnes et calcaires (zones 6,11,12) demandent à être utilisées avec certaines précautions, leur salinité étant déjà notable. Quant aux eaux provenant des nappes alluviales du Sénégal et du Saloum, leur utilisation pour l'irrigation doit être strictement contrôlée et réservée à des cultures tolérantes au sel .

Les nappes profondes sont accessibles par forages. La nappe la plus importante est celle du Maestrichtien, captée en de nombreux points du Sénégal; la nappe du Paléocène inférieur est également exploitée dans le Sénégal Central [27]. Ces nappes font également l'objet d'études poursuivies par les Services des Mines et de la Géologie, tant du point de vue de leur alimentation que de leur composition. Les quelques analyses que nous avons eu l'occasion de faire sur les échantillons d'eaux provenant des forages profonds à BALBEY, DIOURBEL, KAFFRINE nous conduisent à émettre de sérieuses réserves quant à leur utilisation éventuelle pour l'irrigation. Une de ces analyses

.../...

figure au tableau 16 (échantillon Di 3). On constate que cette eau se classe dans la catégorie C4-S3 des normes Américaines .

Bien que cette eau soit jugée convenable pour l'alimentation des humains et des animaux, son emploi en irrigation devra être réservé à quelques cas particuliers; il sera en outre nécessaire de disposer de quantités importantes afin de provoquer un lessivage suffisant du sol .

.../...

IX.- LA FERTILISATION EN CULTURE IRRIGUEE

L'irrigation nécessitant des frais d'investissement et d'exploitation souvent importants, il conviendra de rechercher un rendement maximum des récoltes pour rentabiliser l'opération. Pour cela il sera la plupart du temps indispensable d'accroître encore les charges d'exploitation pour fournir aux plantes une fumure minérale importante et équilibrée. L'alimentation hydrique de la plante étant en effet parfaitement assurée par l'irrigation, l'absorption des éléments minéraux, gage d'une croissance satisfaisante, atteindra ici sa pleine efficacité. Les éléments minéraux ne doivent donc pas constituer un facteur limitant pour la croissance de la plante .

Dans le choix de la fumure minérale étudié pour chaque plante et chaque sol, il conviendra de tenir compte également de la qualité de l'eau d'irrigation. Les quantités d'éléments nutritifs apportés par cette eau peuvent être assez importantes, ainsi qu'on peut le voir dans le tableau 17. Parmi les apports les plus intéressants figurent le Calcium et le Potassium. Le Magnésium, abondant dans les eaux, ne fait généralement pas défaut dans les sols du Sénégal; un apport excessif de cet élément sera plus nuisible qu'utile. Les eaux étant la plupart du temps pauvres en azote et en phosphore, les quantités apportées au sol par l'irrigation ne seront jamais très élevées .

Le mode d'application de l'engrais sera le même qu'en culture sèche. Dans certains cas il pourra se révéler intéressant, pour assurer une meilleure répartition, de dissoudre la fraction d'engrais solubles dans l'eau d'irrigation, mais les engrais insolubles devront être apportés sous forme de poudre .

..../.

Pour les cultures irriguées effectuées en saison sèche, l'apport d'engrais pourra être effectué entièrement au semis si les doses d'arrosage sont calculées pour ne provoquer aucun lessivage .

Au contraire pour les irrigations effectuées en saison des pluies et pour celles dont les doses d'arrosage font intervenir un coefficient de lessivage, il sera indispensable de fractionner les apports d'engrais au cours de la culture. Ce fractionnement intéressera d'abord l'azote qui se trouve être l'élément le plus facilement entraîné par les eaux de percolation et, dans une moindre mesure, la potasse [5,28].

Les risques de perte du phosphore sont par contre inexistantes: les engrais phosphatés peuvent donc être apportés en totalité au semis .

Le nombre et la date des applications des engrais azotés et potassiques seront établis en fonction, d'une part du volume des eaux drainées, d'autre part de la capacité de rétention du sol .

Si X représente, en mm, la capacité de rétention du sol jusqu'à la profondeur radiculaire ,

Y la hauteur d'eau drainée en mm
le nombre n d'apports fractionnés sera donné par la formule:

$$n = \frac{Y}{X} + 1$$

en arrondissant au chiffre supérieur .

Nous aurons en effet un premier apport d'engrais au semis. Lorsque le drainage se produira à la limite inférieure de la zone radiculaire, cela signifiera que la solution du sol dans cette zone aura été en grande partie renouvelée et donc appauvrie en éléments solubles de l'engrais. Il sera nécessaire d'effectuer un deuxième apport de ces éléments .

.... /

Lorsque la hauteur d'eau drainée égalera la valeur de la capacité de rétention pour la profondeur radiculaire envisagée un deuxième renouvellement de la solution du sol aura eu lieu et un troisième apport d'engrais sera nécessaire .

Le calcul se poursuit ainsi jusqu'à la fin de la culture .

A titre d'exemple, reprenons le cas d'une culture de mil effectuée en hivernage sur sols Dior. La capacité de rétention du sol Dior sur 2m de profondeur est égale à 175 mm .

Le premier apport d'engrais s'effectuera au semis, soit à la date du 10 Juin .

D'après le tableau 7, le drainage commencera en année moyenne le 20 Août, il y aura donc lieu d'effectuer à ce moment un deuxième apport d'engrais .

La hauteur d'eau drainée sera de 173 mm, toujours en année moyenne .

$$\text{On aura donc : } \frac{Y}{X} = \frac{173}{175}$$

Le rapport étant légèrement inférieur à 1, un troisième apport, le 10 Septembre ne sera donc pas indispensable. Toutefois, si les horizons inférieurs conservent encore une certaine quantité des éléments solubles de l'engrais, les horizons superficiels seront, eux, considérablement appauvris. Il sera sans doute bénéfique, dans ces conditions, d'effectuer un troisième apport d'engrais début Septembre .

.../...

C O N C L U S I O N

Ainsi qu'on a pu s'en rendre compte au cours de la présente étude, l'utilisation rationnelle de l'irrigation au Sénégal pose un certain nombre de problèmes.

Ceux-ci peuvent être, dans une première phase, dégrossis grâce aux connaissances théoriques que nous possédons actuellement sur ces questions. Mais seule l'expérimentation permettra de leur donner une solution suffisamment sûre et précise .

Il serait à notre avis, du plus grand intérêt de mettre dès maintenant sur pied un programme expérimental de l'irrigation au Sénégal, programme à la réalisation duquel devraient concourir tous les spécialistes intéressés: bioclimatologistes, physiologistes, pédologues, ingénieurs génie rural, agronomes et, éventuellement, hydrologues .

Ce programme devrait comporter les éléments suivants:

1) Etude du besoin en eau des cultures .

Expérimentation en bacs de végétation et en plein champ comparant l'influence sur les rendements de différentes doses d'arrosages. Confrontation des résultats obtenus avec les formules théoriques basées sur les caractéristiques climatiques. Mesures de climatologie: radiation globale, évapotranspiration potentielle, températures... en divers points du Sénégal.

Ces études concernent essentiellement le bioclimatologiste .

2) Etude de l'enracinement des différentes plantes cultivées; mesure de leur coefficient transpiratoire; étude de leur résistance à la sécheresse et de leurs possibilités d'utiliser les réserves du sol .

Ceci concerne le physiologiste et l'agronome .

...../.....

3) Etude des terrains irrigables, de leurs caractéristiques hydrodynamiques, de leur évolution sous irrigation .

Ceci est le domaine du pédologue .

4) Techniques d'irrigation suivant les sols et les cultures, à étudier par l'ingénieur du génie rural .

5) Influence de la qualité des eaux d'irrigation sur le sol et les cultures; adaptation des critères d'utilisation des eaux au cas particulier du Sénégal .

Ceci intéresse à la fois le pédologue et l'agronome.

Enfin toutes ces études expérimentales devraient se compléter :

- du calcul de l'intérêt économique de l'irrigation dans chaque cas particulier .
- d'un inventaire général portant sur les ressources en eau du territoire (volumes disponibles et qualité des eaux) et les terrains à irriguer; cet inventaire est d'ailleurs largement entamé; il suffirait, pour le compléter, de rassembler des données éparses et d'étudier plus particulièrement certaines zones délaissées .

Ce travail préliminaire peut sembler assez considérable; ce n'est, cependant, qu'à ce prix, croyons nous, qu'il sera possible d'envisager, sans risque d'échecs et de gaspillage, un programme de mise en valeur systématique par irrigation de différentes régions, plus ou moins déshéritées, du Sénégal. La plus value économique qui en résulterait paierait alors largement les travaux de recherche préalables .

T A B L E A U - I -

VALEURS COMPAREES DE L'ETP, A BALBEY, CALCULEES
PAR 3 METHODES DIFFERENTES .

	Formule de BOUCHET (années 59-60)		Formule utilisée en FRANCE (années 1958-1960)					Formule de TURC (années 1958-1960)		
	E _p	E _{TP}	I _{GA}	h	P 15	$\frac{h}{H}$	I _G	E _{TP}	l (décimètre)	E _{TP}
Janvier	200	215	700	265	340	0,76	455	126	34	144
Février	181	231	777	264	325	0,81	530	135	39	165
Mars	219	273	852	323	375	0,87	615	168	45	189
Avril	200	258	900	327	375	0,85	640	180	49	207
Mai	208	318	908	313	400	0,79	610	174	50	210
Juin	123	189	903	270	390	0,69	550	159	50	210
Juillet	86	130	905	233	400	0,58	490	141	45	201
Août	73	120	890	178	398	0,46	410	120	39	177
Septembre	50	82	857	218	370	0,60	470	135	42	189
Octobre	98	164	792	265	365	0,72	500	144	44	198
Novembre	138	189	720	272	345	0,80	490	138	38	159
Décembre	191	209	672	242	345	0,70	410	114	32	135

T A B L E A U - 2 -

DEFICIT DE RETENTION EN FONCTION
DE LA PROFONDEUR RADICULAIRE.

Temps en jours	M. I. L.				ARACHIDE			
	Accroisse- ment radicu- laire cm	Déficit corres- pondant en mm		Accroisse- ment radicu- laire cm	Déficit corres- pondant en mm			
		Sol Dior	Sol Dek		Sol Dior	Sol Dek		
0-10	0-30	25	35	0-15	10	18		
10-20	30-60	23	33	15-25	8	12		
20-30	60-80	12	18	25-35	8	11		
30-40	80-100	12	15	35-45	8	11		
40-50	100-120	11	13	45-55	7	11		
50-60	120-140	10	12	55-65	7	10		
60-70	140-160	10	11	65-75	7	9		
70-80	160-180	8	10	75-85	6	8		
80-90	180-200	5	8	85-95	6	7		
90-100				95-100				
Déficits cumulés en mm		116	155		70	100		

T A B L E A U - 3 -

CALCULS DE L'EVAPOTRANSPIRATION ET DES BESOINS EN EAU
 D'UNE CULTURE DE MIL EN SOL DIOR
 (SERIS 10 JUIN - RECOLTE 30 NOVEMBRE)

	h	d	z	V	a	E	A	Arrosages			
" Déca- " des " : " : " : " :	1	Prof. de zone radic: en mm:	Défic: de la zone radic: en mm:	No: de la déca- de	Fac- teur végé- ta- tion	en mm	Evapo- trans- pira- tion en mm:	Be- soins en eau en mm:	Défi- cit à 2 m en mm:	Nom- bre par déca- de	Doses
" Juin 1:	50	-	-	-	-	-	-	-	116		
" 2:	50	30	25		0	1	40	65	91	4	17
" 3:	50	60	23		0	1	40	63	68	2	32
" Juil. 1:	45	80	12	1	13	1	40	52	56	2	26
" 2:	45	100	12	2	39	1	49	61	44	2	31
" 3:	45	120	11	3	64	1	54	65	33	2	33
" Août 1:	39	140	10	4	75	2	50	60	23	1	60
" 2:	39	160	10	5	75	12	49	59	13	1	59
" 3:	39	180	8	6	75	12	49	57	5	1	57
" Sept. 1:	42	200	5	7	75	12	53	58	0	1	58
" 2:	42	200	0	8	75	12	53	53	0	1	53
" 3:	42	200	0	9	75	12	53	53	0	1	53
" Oct. 1:	44	200	0	10	75	12	55	55	0	1	55
" 2:	44	200	0	11	75	12	55	55	0	1	55
" 3:	44	200	0	12	75	12	55	55	0	1	55
" Nov. 1:	49	200	0	13	75	12	49	49	0	1	49
" 2:	49	200	0	14	75	12	49	49	0	1	49
" 3:	49	200	0	15	75	12	49	49	0	1	49
" : " : " :	: : :	: : :	: : :	: : :	: : :	: : :	: : :	: : :	: : :	: : :	: : :
" Totaux:							842	958			

Hypothèses de départ : Cycle 170 jours
 Semis 10 Juin - Récolte 30 Novembre
 Poids total de matière sèche: 135 QX/ha
 Poids de grain: 50 QX/ha Coefficient respiratoire: 601

T A B L E A U - 4 -

CALCULS DE L'EVAPOTRANSPIRATION ET DES BESOINS
EN EAU D'UNE CULTURE DE MIL EN SOL DEK
(SEMIS 10 JUIN - RECOLTE 30 NOVEMBRE).

		Zone		No de	Fac-	En mm			Arrosages	
		radiculaire	Défi-	la	teur	Evapo-	Défi-	Be-	Nbre	Doses
		Prof.:	cit	déca-	végé-	trans:	cit à:	soins:	par	mm
		en	en	de	tion	pirat:	2m	eau	décadè	
		cm	mm	z	V	E		A		
		h	d							
"	Jun 1:	50	-	-	-	-	155	-		
"	" 2:	50	30	35	0	1	41	120	76	2
"	" 3:	50	60	33	0	1	42	87	75	1
"	Jul. 1:	45	80	18	1	13	41	69	59	1
"	" 2:	45	100	15	2	39	49	54	64	1
"	" 3:	45	120	13	3	64	54	41	67	1
"	Août 1:	39	140	12	4	75	49	29	61	1
"	" 2:	39	160	11	5	75	49	18	60	1
"	" 3:	39	180	10	6	75	49	8	59	1
"	Sept. 1:	42	200	8	7	75	53	0	51	1
"	" 2:	42	200	0	8	75	53	0	53	1
"	" 3:	42	200	0	9	75	53	0	53	1
"	Oct. 1:	44	200	0	10	75	55	0	55	1
"	" 2:	44	200	0	11	75	55	0	55	1
"	" 3:	44	200	0	12	75	55	0	55	1
"	Nov. 1:	49	200	0	13	75	49	0	49	1
"	" 2:	49	200	0	14	75	49	0	49	1
"	" 3:	49	200	0	15	75	49	0	49	1
"	Totaux:									
"	mm		155				845		1000	

Hypothèses de départ: Cycle 170 jours. Semis 10 Juin. Récolte 30 Nov.
Poids de grains: 50 Qx/ha
Poids total de matière sèche: 135 Qx/ha. Coef-
ficient respiratoire: C = 1.

T A B L E A U - 5 -

CALCULS DE L'EVAPOTRANSPIRATION ET DES BESOINS EN EAU
 D'UNE CULTURE D'ARACHIDE EN SOL DIOR
 (SEMIS: 10 JUIN - RECOLTE: 20 OCTOBRE)

		Zone		No de	Fac-	En mm			Arrosages	
"	Des	radiculaire	Prof. Défi-	la déca-	teur	Evapo:	Défi-	Be-	Nombre	Doses
"	"	en	cit	de	végé	trans:	cit à:	soins:	par	en
"	"	cm	en mm	z	ta-	pirat:	1m	eau	déca-	mm
"	"	h	d		tion	E		A	de	
"	"				V	a				
"	Juin 1:	50	-	-	-	-	70	-		
"	" 2:	50	15	10	0	1	36	60	51	6 9
"	" 3:	50	25	8	0	1	34	52	42	4 11
"	Juil. 1:	45	35	8	1	46	1	50	44	58 4 15
"	" 2:	45	45	8	2	71	1	56	36	64 3 22
"	" 3:	45	55	7	3	83	6	57	29	64 3 22
"	Août 1:	39	65	7	4	83	12	51	22	58 2 29
"	" 2:	39	75	7	5	83	12	51	15	58 2 29
"	" 3:	39	85	6	6	83	12	51	9	57 2 29
"	Sept. 1:	42	95	6	7	87	12	54	3	60 2 30
"	" 2:	42	100	3	8	83	12	54	0	57 2 29
"	" 3:	42	100	0	9	83	12	54	0	54 2 27
"	Oct. 1:	44	100	0	10	83	12	56	0	56 2 28
"	" 2:	44	100	0	11	83	12	56	0	56 2 28
"	Totaux:						660		735	

Hypothèses de départ: Cycle 130 jours - Semis 10 Juin -
 Récolte 20 Octobre
 Poids gousses: 60 Qx/ha
 Poids total de matière sèche: 120 Qx/ha
 Coefficient respiratoire : C = 1

T A B L E A U - 6 -

CALCULS DE L'EVAPOTRANSPIRATION ET DES BESOINS
EN EAU D'UNE CULTURE D'ARACHIDE EN SOL DEK
(SEMIS: 10 JUIN - RECOLTE: 20 OCTOBRE)

" Déca- " des	1	Zone		No de la déca- de z	Fac- teur végé- ta- tion V	En mm			Arrosages		
		radiculaire Prof. en cm	Défi- cit en cm			Evapo- trans- pirat:	Défi- cit à 1m	Re- soins eau	Nom- bre par décade	Doses mm	
" Juin 1:	50	-	-		-	-	100	0			
" 2:	50	15	18		0	1	37	82	55	3	19
" 3:	50	25	12		46	1	36	70	48	2	24
" Juil. 1:	45	35	11	1	46	1	51	59	62	2	31
" 2:	45	45	11	2	74	1	56	48	67	2	34
" 3:	45	55	11	3	83	1	57	37	68	2	34
" Août 1:	39	65	10	4	83	8	51	27	61	1	61
" 2:	39	75	9	5	83	12	51	18	60	1	60
" 3:	39	85	8	6	83	12	51	10	59	1	59
" Sept. 1:	42	95	7	7	83	12	54	3	61	1	61
" 2:	42	100	3	8	83	12	54	0	57	1	57
" 3:	42	100	0	9	83	12	54	0	54	1	54
" Oct. 1:	44	100	0	10	83	12	56	0	56	1	56
" 2:	44	100	0	11	83	12	56	0	56	1	56
" Totaux en mm			100				664		764		

Hypothèses de départ: Cycle 130 jours - Semis 10 Juin
Récolte 20 Octobre
Poids de gousses: 60 QX/ha
Poids total de matière sèche: 120 QX/ha
Coefficient respiratoire : C = 1

APPORTS D'EAU COMPLEMENTAIRES ET VOLUMES DRAINÉS (A 2m)
 POUR UNE CULTURE DE MIL EFFECTUEE EN HIVERNAGE
 VARIATIONS SUIVANT LA PLUVIOMETRIE ET LE TYPE DE SOL

" Déca- des "	PLUVIOMETRIE			S O L D I O R				S O L D E K			
	Année : moyen- ne	Année : défici- taire	Be- : soins : totaux	Année : moyen- ne	Année : défici- taire						
" Juin	1 : 6	: 6	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0
"	2 : 9	: 20	: 65	: 56	: 45	: 0	: 0	: 76	: 67	: 56	: 0
"	3 : 18	: 7	: 63	: 45	: 56	: 0	: 0	: 75	: 57	: 68	: 0
" Juillet	1 : 30	: 28	: 52	: 22	: 24	: 0	: 0	: 59	: 29	: 31	: 0
"	2 : 38	: 22	: 61	: 23	: 39	: 0	: 0	: 64	: 26	: 42	: 0
"	3 : 56	: 16	: 65	: 19	: 49	: 0	: 0	: 67	: 11	: 51	: 0
" Août	1 : 69	: 38	: 60	: 0	: 22	: 10	: 0	: 61	: 0	: 23	: 0
"	2 : 81	: 10	: 59	: 0	: 49	: 18	: 0	: 60	: 0	: 50	: 11
"	3 : 106	: 180	: 57	: 0	: 0	: 57	: 134	: 59	: 0	: 0	: 57
" Sept.	1 : 92	: 65	: 58	: 0	: 0	: 39	: 39	: 61	: 0	: 0	: 39
"	2 : 53	: 53	: 53	: 0	: 0	: 0	: 0	: 53	: 0	: 0	: 0
"	3 : 52	: 22	: 53	: 1	: 31	: 0	: 0	: 53	: 1	: 31	: 0
" Octobre	1 : 30	: 0	: 55	: 25	: 55	: 0	: 0	: 55	: 25	: 55	: 0
"	2 : 14	: 0	: 55	: 41	: 55	: 0	: 0	: 55	: 41	: 55	: 0
"	3 : 9	: 0	: 55	: 46	: 55	: 0	: 0	: 55	: 46	: 55	: 0
" Novembre	1 : 3	: 0	: 49	: 46	: 49	: 0	: 0	: 49	: 46	: 49	: 0
"	2 : 0	: 0	: 49	: 49	: 49	: 0	: 0	: 49	: 49	: 49	: 0
"	3 : 0	: 0	: 49	: 49	: 49	: 0	: 0	: 49	: 49	: 49	: 0
"											
" Totaux	: 666	: 467	: 958	: 422	: 627	: 114	: 173	: 1000	: 447	: 664	: 107
"											

N.B.- Tous les chiffres du tableau sont exprimés en mm

APPORTS D'EAU COMPLEMENTAIRES ET VOLUMES DRAINES (A 1m)

POUR UNE CULTURE D ARACHIDE EFFECTUEE EN HIVERNAGE

VARIATIONS SUIVANT LA PLUVIOMETRIE ET LE TYPE DE SOL

" Déca- des	PLUVIOMETRIE			S O L D I O R				S O L D E K					
	Année moyenne	Année défici- taire	Be- soins : totaux	Apports com- plémentaires : Année moyenne	Drainage : Année défici- taire	Be- soins : totaux	Apports com- plémentaires : Année moyenne	Drainage : Année défici- taire					
" Juin	1 : 6	: 6	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0
"	2 : 9	: 20	: 51	: 42	: 31	: 0	: 0	: 55	: 46	: 35	: 0	: 0	: 0
"	3 : 18	: 7	: 42	: 24	: 35	: 0	: 0	: 48	: 30	: 41	: 0	: 0	: 0
" Juillet	1 : 30	: 28	: 58	: 28	: 30	: 0	: 0	: 62	: 32	: 34	: 0	: 0	: 0
"	2 : 38	: 22	: 64	: 26	: 42	: 0	: 0	: 67	: 29	: 45	: 0	: 0	: 0
"	3 : 56	: 16	: 64	: 8	: 48	: 0	: 0	: 68	: 12	: 52	: 0	: 0	: 0
" Août	1 : 69	: 38	: 58	: 0	: 20	: 0	: 0	: 61	: 0	: 23	: 0	: 0	: 0
"	2 : 81	: 10	: 58	: 0	: 48	: 12	: 0	: 60	: 0	: 2	: 27	: 0	: 0
"	3 : 106	: 180	: 57	: 0	: 0	: 55	: 120	: 59	: 0	: 0	: 55	: 111	: 0
" Sept.	1 : 92	: 65	: 60	: 0	: 0	: 38	: 11	: 61	: 0	: 0	: 38	: 11	: 0
"	2 : 53	: 53	: 57	: 4	: 4	: 0	: 0	: 57	: 4	: 4	: 0	: 0	: 0
"	3 : 52	: 22	: 54	: 2	: 32	: 0	: 0	: 54	: 2	: 32	: 0	: 0	: 0
" Octobre	1 : 30	: 0	: 56	: 26	: 56	: 0	: 0	: 56	: 26	: 56	: 0	: 0	: 0
"	2 : 14	: 0	: 56	: 42	: 56	: 0	: 0	: 56	: 42	: 56	: 0	: 0	: 0
"	3 : 9	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0
" Novembre	1 : 3	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0
"	2 : 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0
"	3 : 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0	: 0
" Totaux	: 666	: 457	: 735	: 202	: 402	: 105	: 131	: 764	: 223	: 376	: 120	: 122	: 0

N.B.- Tous les chiffres du tableau sont exprimés en mm

T A B L E A U - 9 -

INFLUENCE DE LA DATE DE SEMIS D'UNE CULTURE DE MIL IRRIGUEE
EN SOL DIOR SUR LES VOLUMES DES APPORTS COMPLEMENTAIRES ET
LES VOLUMES DU DRAINAGE A LA LIMITE DE LA ZONE RADICULAIRE

Date de semis	Apports complémentaires en mm				Volumés drainés en mm	
	Année moyenne		Année déficitaire		Année moyenne	Année défici- taire
	A	B	A	B		
10 Mai	470	383	664	554	142	139
20 Mai	455	357	667	557	143	142
1er Juin	413	318	625	527	121	134
10 Juin	422	324	627	529	114	130
20 Juin	410	316	542	548	107	129
1er Juil.	424	334	642	552	107	126

A : Irrigation pendant tout le cycle végétatif (170 jours)

B : Irrigation pendant les 150 premiers jours .

T A B L E A U - 10 -

EVAPOTRANSPIRATION ET BESOINS EN EAU D'UNE CULTURE
SORGHO DESSAISONNEE EFFECTUEE EN SOL DIOR
(SEMIS: 1er JANVIER - RECOLTE: 10 MAI)

" Déca- " des	: 1	Zone		: No de : la : déca- : de	: Fac- : teur : végé- : ta- : tion : V	En mm			Arrosages			
		: radicaire: : Prof.: : en : cm	: Défi- : cit : mm			: Evapo: : trans: : pirat:	: Défi- : cit : 2m	: Be- : soins: : eau	: Nom- : bre : par : déca- : de	: Doses : mm		
" Déc. 3:	-	-	-	-	-	-	-	110	-	-	-	-
" Janv. 1:	34	30	21	-	0	1	28	89	49	3	17	
" 2:	34	60	21	-	0	1	28	68	49	2	25	
" 3:	34	80	13	1	4	1	40	55	53	2	27	
" Fév. 1:	39	100	12	2	76	3	50	43	62	2	31	
" 2:	39	120	11	3	83	12	51	32	62	1	62	
" 3:	39	140	9	4	83	12	51	23	60	1	60	
" Mars 1:	45	160	8	5	83	12	57	15	65	1	65	
" 2:	45	180	8	6	83	12	57	7	65	1	65	
" 3:	45	200	7	7	83	12	57	0	64	1	64	
" Avr. 1:	49	200	0	8	83	12	61	0	61	1	61	
" 2:	49	200	0	9	83	12	61	0	61	1	61	
" 3:	49	200	0	10	83	12	61	0	61	1	61	
" Mai 1:	50	200	0	11	83	12	62	0	62	1	62	
" Totaux:							664		774			

Hypothèses de départ: Cycle de 130 jours - Semis: 1er Janvier
Récolte : 10 Mai
Poids de grain/ha : 40 Qx
Poids total de matière sèche/ha: 120 Qx

T A B L E A U - 1 2 -

EVAPOTRANSPIRATION ET BESOINS EN EAU D'UNE CULTURE
DE TOMATES EFFECTUEE EN SOL DIOR
(SEMIS: 10 DECEMBRE - RECOLTE: 31 MARS)

Zone	No de la décade	Fac- teur vége- tation	En mm			Arrosages						
			Evapo- trans- pirat	Défi- cit à 90cm	Be- soins eau							
radiculaire	Prof. en em	Défi- cit mm	V	a	E	A	Nbre par déca-	Doses mm				
"Dées des	1											
"Dées des	1											
"Dées des	2	32	20	14	0	1	25	45	39	3	13	
"Dées des	3	32	40	13	0	3	25	32	38	2	19	
"Janv.	1	34	50	8	1	47	11	41	24	49	2	25
"Janv.	2	34	60	7	2	71	12	44	17	51	2	26
"Janv.	3	34	70	6	3	83	12	45	11	51	2	26
"Fév.	1	39	80	6	4	83	12	51	5	57	2	29
"Fév.	2	39	90	5	5	83	12	51	0	56	2	28
"Fév.	3	39	90	0	6	83	12	51	0	51	2	26
"Mars	1	45	90	0	7	83	12	57	0	57	2	29
"Mars	2	45	90	0	8	83	12	57	0	57	2	29
"Mars	3	45	90	0	9	83	12	57	0	57	2	29
"Totaux:								504		563		

Hypothèses de départ: Cycle 110 jours
Semis: 10 Décembre - Récolte: 31 Mars
Poids de fruits frais: 40 T/ha
Poids total de matière sèche: 100 Qx/ha

T A B L E A U - 13 -

EVAPOTRANSPIRATION ET BESOINS EN EAU D'UNE CULTURE
DE TOMATES EFFECTUEE EN SOL DEK
(SEMIS: 10 DECEMBRE - RECOLTE: 31 MARS)

Zone	No de la décade	Fac- teur vége- ta- tion V	En mm			Arrosages						
			Evapo- trans- pirat: E	Défi- cit à: 90 cm: A	Be- soins: eau: A	Nbre : par : de	Doses: mm					
"Dés	1											
"Dés	2	32	20	23	0	1	27	72	50	2	25	
"Dés	3	32	40	21	0	1	27	51	48	1	48	
"Janv.	1	34	50	11	1	47	1	41	40	52	1	52
"Janv.	2	34	60	11	2	74	6	44	29	55	1	55
"Janv.	3	34	70	10	3	83	12	45	19	55	1	55
"Fév.	1	39	80	10	4	83	12	50	9	60	1	60
"Fév.	2	39	90	9	5	83	12	50	0	59	1	59
"Fév.	3	39	90	0	6	83	12	51	0	51	1	51
"Mars	1	45	90	0	7	83	12	57	0	57	1	57
"Mars	2	45	90	0	8	83	12	57	0	57	1	57
"Mars	3	45	90	0	9	83	12	57	0	57	1	57
"Totaux:								506		601		

Hypothèses de départ: Cycle 110 jours
Semis: 10 Décembre - Récolte: 31 Mars
Poids de fruits frais: 40 t/ha
Poids total de matière sèche: 100 Qx/ha .

T A B L E A U - 14 -

ECHELLE DE PERMEABILITE DES TERRAINS ET
APTITUDE A L'ARROSAGE
(D'APRES M. POIREE ET CH. OLLIER)

Nature du sol	PORCHET K (m/sec)	MÜNTZ p (cm/h)	Aptitude à l'arrosage
Sols pratiquement imperméables	2,5 x 10 ⁻⁸ à 1 x 10 ⁻⁷	0,01	Ne pas arrosé
Sols peu perméables	2,5 x 10 ⁻⁷ à 1 x 10 ⁻⁶	0,1 0,4	Arrosé avec précaution
Sols moyennement perméables	2,5 x 10 ⁻⁶ 5 x 10 ⁻⁶	1 2	Aptes à l'arrosage
	1 x 10 ⁻⁵ 5 x 10 ⁻⁵	4 20	
Sols très perméables	2,5 x 10 ⁻⁴ 1 x 10 ⁻³	100 400	Terres trop perméables que l'arrosage risque de délayer en même temps qu'il entraîne des pertes d'eau considérables (Utiliser l'aspersion)

TOLERANCE DE DIVERSES PLANTES VIS A VIS DU SEL
(D'APRES LES DONNEES DU LABORATOIRE DE RIVERSIDE, U.S.A.)

Tolérance	Limites de conductivité de l'extrait à saturation: Mhos 10^{-3} /cm:	Cultures fruitières	Cultures potagères	Cultures fourragères	Grande culture
Faible	CE ₂₅ ° = 0	Avocat	Haricots verts	Trifolium ladino	Haricots secs
		Citronnier	Céleri	T. pratense	
		Franboisier	Radis	T. hybridum	
		Pêcher		Alopecurus pratensis	
		Abricotier		Trifolium repens	
		Amandier			
		Prunier			
		Pamplemousse			
		Oranger			
		Pommier			
Moyenne	CE ₂₅ ° = 4	Poirier			
	CE ₂₅ ° = 4	Melon	Concombre	Astragalus flucatus	Ricin
		Raisin	Courge	Melilotus indica	Tournesol
		Ôlivier	Pois	Astragalus acer	Lin
		Figuier	Oignon	Arrhenaterum elatius	Maïs
		Grenadier	Carotte	Bromus inermis	
			Pommes de terre	Lotus uliginosus	
			Maïs doux	Phalaris arundinacea	
			Laitue	Festuca elatior	
		CE ₂₅ ° = 8		Boutoulea gracilis	
Forte	CE ₂₅ ° = 8		Dactylis glomerata		
			Chou fleur	Festuca arundinacea	Sorgho
			Chou	Medicago sativa	Riz
			Brocoli	Sorghum vulgare	Avoine
			Tomate	Paspalum dilatatum	Blé
			Epinard	Trifolium fragiferum	Seigle
			Asperge	Bromus carinatus	Coton
			Betterave	Lolium perenne	Colza
				Lotus corniculatus	Betteraves

T A B L E A U - 16 -

RESULTATS ANALYTIQUES SUR DIVERS PRELEVEMENTS D'EAU .

Indicatifs	Bn 3	K 33	Di 3	Bey 29	Dr85-4	Hn 2	F1
Caractéristiques							
Lieu de prélèvement	Bro-Bo- lon	Forage Ribo	Forage Diourbè	Puits Rambey	Dio- fior	Eau de mer (Hann)	Diou- roup
Date de prélèvement	3-12-57	9-3-60	11-1-61	3-59	8-7-58		3-3-59
pH	3,0	8,0	7,8	7,0	7,1	6,8	6,5
Conduct. $\mu\text{hos}10^{-6}/\text{cm}$	8.900	680	4.625	1.300	65.300	42.000	78
Résidu sec mg/l	7.720	410	2.845	872	107700	43.480	36
Anions en $\text{m}\acute{\text{e}}/\text{l}$							
CO_3^{--}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
CO_3H^-	0,0	4,6	9,0	8,3	80	35	0,12
Cl^-	104,0	0,3	33,6	4,0	1.460	535	0,24
SO_4^{--}	23,0	1,4	0,8	0,2	64	30	0,00
NO_3^-	0,1	0,0	0,6	0,2	0	-	0,24
Somme	127,1	6,3	44,0	12,7	1.604	600	0,60
Cations en $\text{m}\acute{\text{e}}/\text{l}$							
Ca^{++}	12,0	1,8	11,5	3,8	33	18	0,32
Mg^{++}	23,2	1,0	4,8	5,7	247	110	0,12
K^+	3,0	0,3	1,9	0,1	29	12	Traces
Na^+	94,0	3,5	23,4	3,8	1.250	460	0,22
Somme	132,2	6,6	41,6	13,4	1.559	600	0,66
Mat. Organiq. $0\text{mg}/\text{l}$	4,4	0,0	17,6	7,2	124	22	0,20
P205 mg/l	-	0,1	0,9	0,1	-	-	-
T.A.S.	22,4	3,0	8,0	2,0	-	-	0,8
Classe	C4-S4	C2-S1	C4-S3	C3-S1	-	-	C1-S1

T A B L E A U - 17 -

APPORTS D'ELEMENTS AU SOL PAR LES EAUX D'IRRIGATIONS
(CULTURE DE TOMATES EN SOL DIOR) .

Irrigations	Nappe du Lutétien		Nappe du Maestrichtien			
			Sans drainage		Avec drainage	
	mé/kg de terre sèche	Kg/ha	mé/kg de terre sèche	Kg/ha	mé/kg de terre sèche	Kg/ha
Eléments						
CO ₃	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
CO ₃ H	3,5	2.850	3,7	3.080	2,3	1.920
Cl	1,7	800	14,0	6.700	8,8	4.180
SO ₄	0,1	54	0,3	22	0,2	14
N	0,1	16	0,2	47	0,1	29
CaO	1,6	600	4,8	1.840	3,0	1.150
MgO	2,4	645	2,0	543	1,3	340
K ₂ O	0,04	27	0,8	505	0,5	320
Na ₂ O	1,6	660	9,7	4.100	6,1	2.600
P ₂ O ₅	0,002	6	0,02	51	0,01	32
Somme des ca- tions:	5,6	1.930	17,3	6.990	10,8	4.400
Sels totaux	-	4.900	-	16.000	-	10.000

SALINITE DES DIFFERENTES NAPPES AQUIFERES DU SENEGAL
(D'APRES L.DESFOSSEZ, P.ELOUARD, P.VERDONI)

N° de la zone	Dénomination de la zone	Niveau aquifère	Débit en m ³ /h	Résidu sec mg/1	Conductivité mmhos/cm-1	Classe de salinité	
1	Région de Bakel	Néant					
2	Nappe perchées et zones d'alimentation du S.E. du Sénégal	Nappes locales sur socle	Faible	100	0,2	C1	
		Grès argileux du Continental Terminal	Faible	100	0,2	C1	
3	Basse Casamance	Sable et grès argileux		60	0,1	C1	
4	Nappe du Continental Terminal du N de la Gambie	Grès argileux du Continental Terminal	Sondage	50	0,1	C1	
			6,5	à 150	à 0,2		
5	Nappe du Continental Terminal du Ferlo	Grès argileux du Continental Terminal		100	0,1	C1	
				à 150	à 0,2		
6	Dépression du Centre Nord du Sénégal	Calcaires argileux et grès argileux du Continental Terminal	Faible	500	0,8	C3	
				100	0,1	C1	
				à 250	à 0,2		
7	Vallée du Fleuve	Alluvions Calcaires et grès Grès arg. du C.T.	12	200	0,3	C1	
				200 à 400	0,3 à 0,6	C2	
				200	0,3	C1	
8	Zone d'alimentation de l'Ouest Sénégal	Grès et sables du Maestrichtien	Bons	500	0,8	C2	
9	Régions des Niayes	Sables et Latérite	Bons	100 à 300	0,1 à 0,5	C1 à C2	
10	Zone des calcaires perméables	Calcaires	Bons sondages	300	0,5	C2	
				à 60	à 500		à 0,8
11	Zone des marnes du Centre Ouest du Sénégal	Calcaires et marnes	Faibles	500	0,8	C2	
				à 1200	à 1,9	C3	
12	Nappe perchée de Koki et zone des marnes de Darmousty	Sable Latérite Marnes	Faibles	200 à 500	0,3 à 0,8	C2	
				Très faibles	200	0,3	C2
				600	0,9	C3	
13	Delta du Sénégal et du Saloum	Sables		1.000 à 3.000	1,6 à 4,7	C3 à C4	

- [1] R. MAIGNIEN
Carte pédologie du Sénégal au 1/1.000.000°
(Ministère du Développement et de la Coopération Technique
DAKAR).
- [2] B. BOUYER
Contribution à l'étude agrologique des sols du Sénégal
(Casamance exceptée)
Conférence Africaine des Sols de GOA, CONGO, 1948 .
- [3] P. BONFILS et J. FAURE
Etude comparative des sols du C.R.A. BALBEY
Annales du C.R.A. BALBEY, 1955 .
- [4] P. BONFILS et J. FAURE
Les sols de la région de THIES .
Annales du C.R.A. BALBEY, 1956 .
- [5] P. BONFILS, C. CHARREAU, M. MARA
Etudes lysimétriques au Sénégal (à paraître).
- [6] R. BILLAZ
L'Alimentation en eau de l'arachide dans les sols Diors
du Sénégal , Rapport inédit - I.R.H.O. 1959 .
- [7] C.W. THORNWAITE
An approach toward a rational classification of climate
(Geograph. Review, 1948).
- [8] B.J. GARNIER
A method of computing potential evapotranspiration in
West Africa
Bulletin de l'I.F.A.N., série A, Tome 13, n°3, Juillet
1956 .
- [9] B.J. GARNIER
Maps of the water balance in West Africa
Bulletin de l'I.F.A.N., tome XXII, série A, n°3,
Juillet 1960 .
- [10] C.W. THORNTHWAITE et J.R. MATHER
Instructions and Tables for Computing Potential Evapo-
transpiration and the Water balance .
Publis. in climat., Vol. X, n° 3, 1957 .
- [11] H.L. PENLAND
Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass
Proc. Roy. Soc. London série A, vol. 193, 1948 .
.../...

[24] A. DELOLON

Dynamique du sol
Dunod, éditeur, PARIS

[25] BRYSSINE G. et CHEROTSKY G.

Note sur la relation entre la salure du sol, celle de
l'eau d'arrosage et le régime des irrigations .
70° Congrès de l'A.F.A.S. - TUNIS, C.R.T. IV. -(1955).

[26] L. DEFOSSÉZ, P. ELOUARD, P. VERDOMI.

Les nappes phréatiques du Sénégal
Archives du Services des Mines et de la Géologie, 1959 .

[27] J. LARCHEAND

Hydrogéologie du Sénégal Central .
Archives du Service des Mines et de la Géologie, 1958 .

[28] P. VIDAL

Dynamique des éléments minéraux en sol Dior
Résultats de la deuxième année d'expérimentation (1960)
A paraître .

- [12] E.A. BERNARD
Le déterminisme de l'évaporation dans la nature
Série scientifique n°68 de l'I.N.E.A.C.
- [13] L.TURC
Le bilan d'eau des sols; relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement .
Thèse, I.N.R.A., 1953 .
- [14] C. CHARREAU
Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal (A paraître)
- [15] ORGIAS
Recherches préliminaires sur le système racinaire de l'arachide.
Oléagineux, 6° année, n° 10 .
- [16] R. TOURTE
Communication verbale .
- [17] C. CHARREAU et P.VIDAL
Influence du *Faidherbia albida* sur la fertilité du sol et la croissance des mils (A paraître).
- [18] P. BRYSSINE
Annales du C.R.A. de RABAT (MAROC)
- [19] P.ROLLEY
Irrigations
J.B. Baillièrre et fils, éditeurs, PARIS .
- [20] M. POIREE et CH.OLLIER
Irrigation
Eyrolles, éditeur, PARIS
- [21] United States Salinity Laboratory Staff
Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils
United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook n° 60 .
- [22] J.E. DURAND
La qualité de l'eau d'irrigation
Sols Africains, Vol.IV, n° 3 .
- [23] R.J. BOUCHET
Evapotranspiration potentielle et évaporation sous abri
VIème journées de l'hydraulique NANCY (1960).

.../...