

C1000400



MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE  
INSTITUT SÉNÉGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

ISRA

POLE RÉGIONAL CORAF DE RECHERCHE  
SUR LES SYSTÈMES IRRIGUÉS SOUDANO SAHÉLIENS

PSI-CORAF

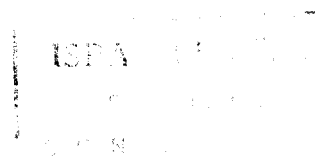


ETUDES SUR L'HYDRAULIQUE AGRICOLE DANS  
LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL

SYNTHESE DES ACQUIS DE LA RECHERCHE

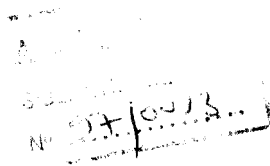
Magatte WADE

PSI Sénégal  
Travaux et Etudes N° 3  
ISRA / FLEUVE



Décembre 1997

TABLES DES MATIÈRES



PAGES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	1
<b>1 LES ACQUIS DE LA RECHERCHE SUR LES ASPECTS TECHNIQUES DE LA GESTION DE L'IRRIGATION</b> .....	2
1.1 LES QUANTITÉS D'EAU NÉCESSAIRE AUX IRRIGATIONS .....	5
1.1.1 <i>Études sur les données hydro-climatiques.</i> .....	7
1.1.2 <i>Détermination des besoins en eau des cultures.</i> .....	5
1.2 ÉTABLISSEMENT DES CALENDRIERS D'ARROSAGE .....	7
1.2.1 <i>Caractéristiques hydriques et hydrodynamiques des sols</i> .....	7
1.2.2 <i>Études sur la conduite des arrosages</i> .....	8
1.3 RATIONNEMENT DES ARROSAGES .....	9
14. DRAINAGE DES SOLS .....	10
1.5 ÉTUDE DES MODES DE TRANSPORT ET DISTRIBUTION DE L'EAU .....	11
1.5.1. <i>Les irrigations gravitaires</i> .....	11
1.5.2. <i>Les irrigations par aspersion.</i> .....	12
1.5.3. <i>Les irrigations localisées</i> .....	13
<b>2. ORIENTATIONS EN MATIÈRE DE RECHERCHE SUR LA GESTION DE L'IRRIGATION</b> .....	15
2.1 SECTEUR DE LA BORDURE OUEST DU LAC DE GUIERS .....	15
2.2. SECTEUR DU DELTA CENTRAL.....	17
2.3 SECTEUR DE LA MOYENNE VALLÉE AVAL .....	IX
ANNEXES .....	19
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	25

## RÉSUMÉ

La présente synthèse résume les principaux acquis en matière de recherche en hydraulique agricole qui ont été menées ou qui sont applicables dans la vallée du fleuve Sénégal.

Elle est constituée de deux parties.

La première traite des études sur les concepts qui sont nécessaires à la conception, la planification et la gestion technique de l'irrigation. Ces concepts sont les données hydro-climatiques de la région (pluies, évapotranspiration, débits, hauteurs d'eau), les données sur les cultures (consommation en eau, valorisation de l'eau), les notions liées aux sols (capacité de stockage, perméabilité, ...). Des études portant sur la conduite des arrosages sont présentées. Enfin quelques paragraphes sont consacrés aux principaux modes de transport et de distribution de l'eau d'irrigation qui ont été étudiés et ou que l'on peut utiliser dans cette zone.

La deuxième partie suggère quelques orientations qui pourraient être adoptées pour asseoir un programme de recherche développement à la lumière des principaux acquis décrits dans la première partie. Ces orientations sont définies à travers trois secteurs de référence (bordure ouest du lac de Guiers, delta central, Moyenne vallée aval), compte tenu des problématiques particulières qui s'y posent en matière d'irrigation et de gestion de l'eau. A ce titre, il s'agira essentiellement d'aborder les activités de recherches dans une démarche pluridisciplinaire en milieu réel afin de compléter les résultats techniques disponibles.

## 1. LES ACQUIS DE LA RECHERCHE SUR LES ASPECTS TECHNIQUES DE LA GESTION DE L'IRRIGATION

---

Les recherches sur la gestion de l'eau dans la vallée du fleuve Sénégal ont été menées d'abord sur la détermination des besoins en eau des cultures, sur plusieurs cultures. Ce premier chapitre récapitule les acquis techniques relatifs aux différentes méthodes qui sont mises en œuvre pour la prévision des arrosages ainsi que pour la gestion des ressources en eau d'irrigation.

Nous essayerons dans les paragraphes qui suivent d'aborder les travaux de recherche qui traitent de la détermination des quantités d'eau nécessaires aux irrigations dans la vallée, de la manière dont les eaux d'irrigations sont fournies aux plantes. Les aspects relatifs aux modes de transport et de distribution de l'eau seront aussi traités, parce que ceux-ci conditionnent fortement la gestion des eaux d'irrigation.

Dans la mesure du possible nous essayerons de nous limiter aux résultats spécifiques à la vallée du fleuve Sénégal. Toutefois, lorsque, pour un sujet ayant trait à la gestion de l'eau, des acquis importants ont été obtenus par ailleurs, nous présentons brièvement ces résultats dans la mesure où ceux-ci sont applicables dans cette région.

### 1.1. Les quantités d'eau nécessaire aux irrigations

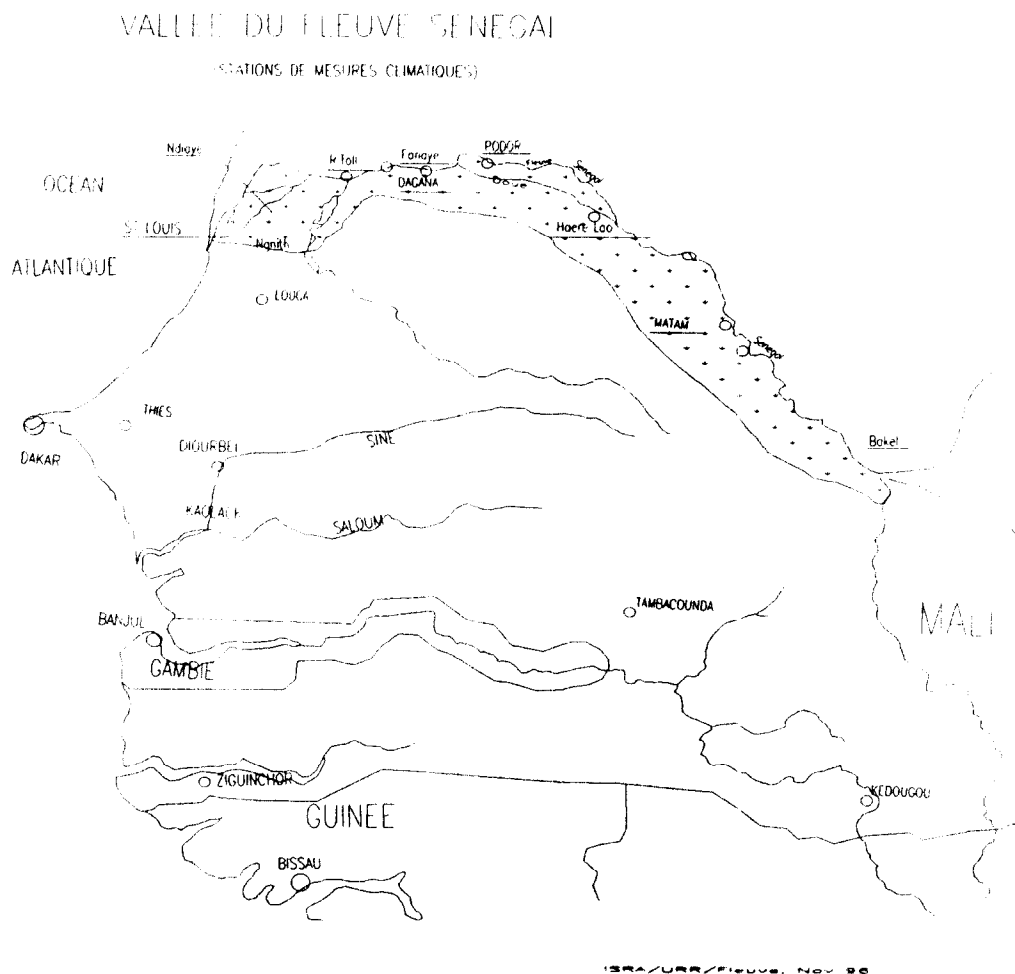
#### *1.1.1. Études sur les données hydro-climatiques*

Les données climatiques sont collectées depuis longtemps et pendant des époques variables, dans plusieurs stations réparties dans l'ensemble du bassin du fleuve. Ces stations sont mises en place par les organismes qui interviennent dans le développement, l'encadrement ou la recherche. Ce sont, entre autres, l'ISRA, la SAED, l'OMVS, le Service régional chargé de l'hydraulique, l'ASECNA, la SOCAS, l'ORSTOM, etc....

Sur la carte de la figure 1, sont indiquées les principales stations dans lesquelles les données sont (ou ont été) collectées.

Les données climatiques que l'on utilise généralement sont les précipitations, la température, l'humidité relative, la vitesse du vent, le rayonnement solaire et l'évaporation. Les données hydrologiques sont constituées de relevés de hauteurs d'eau ou de débits du fleuve ou de ses principaux affluents / défluent.

Figure 1 Carte de situation de la vallée du fleuve Sénégal et des stations de relevés météo



Dans cette partie du document, seront étudiés les travaux qui ont été faits sur les données qui sont utiles pour la conception, la planification de la gestion de l'eau dans les périmètres irrigués.

### Pluviométrie

La F.A.O. a mené une étude sur le développement de la recherche agronomique dans le bassin du **fleuve** Sénégal' dans laquelle une analyse de la régularité des pluies a été faite. Le but était de déterminer les probabilités de répartition des pluies au cours d'une saison donnée ainsi que le calendrier **cultural** le plus favorable. Les résultats' sont très généraux pour l'ensemble du bassin du fleuve.

Le centre AGRHYMET de Niamey' fournit les valeurs décennales des précipitations pour plusieurs stations. Ces valeurs, ajustées sur une distribution de probabilités convenable sont données pour des **fréquences** d'apparition comprises entre 1 et 100 ans.

Pour les stations de Saint-Louis, Ndiaye, Richard-Toll, Dagana, Podor, Haïré-Lao, Matam et Bakel, l'analyse de la pluviométrie décennales a été faite pendant la période 1968-1 990<sup>3</sup>. Dans les graphiques de l'annexe A sont présentés les évolutions de la pluviométrie pour des décades « humides », « normales » et « sèches ». La mise en oeuvre d'une irrigation de complément pourrait s'appuyer sur ces données afin de prévoir les besoins en eau décennales des cultures. Ces résultats peuvent être directement utilisés pour l'élaboration de calendriers d'irrigation.

## Évaporation et évapotranspiration

Les mesures à partir de bacs de l'évaporation ont été depuis longtemps entreprises un peu partout au Sénégal. Dans ce document, nous ne faisons ressortir que les résultats de mesures les plus actuelles, mesures effectuées par la F.A.O., l'ISRA, et la SAED

Tableau I Mesures d'évaporation (mm/j) dans la vallée<sup>4</sup>

	St Louis	Ndiol	Richard Toll	Fanaye	Podor	Matam
Janvier	7.5	7.7	9.3	8.8	7.9	7.6
Février	8.5	8.5	10.8	10.1	9.0	8.7
Mars	8.9	10.2	12.5	11.5	11.0	9.9
Avril	8.3	10.6	13.1	12.6	12.2	11.8
Mai	8.7	9.9	13.9	13.0	13.4	12.3
Juin	7.3	8.6	11.7	11.6	11.7	10.5
Juillet	7.1	7.8	9.5	9.3	9.9	7.8
Août	7.1	7.3	8.4	8.2	8.0	5.6
Septembre	6.9	6.7	8.1	7.4	7.3	4.7
Octobre	6.9	7.4	8.9	8.2	8.9	6.9
Novembre	7.3	7.1	8.2	8.2	8.1	7.7
Décembre	7.4	7.5	8.3	8.2	7.7	7.6

L'évapotranspiration a pu être mesurée au niveau de quelques stations par des cases lysimétriques (ISRA, IRAT). Mais la plus part des valeurs utilisées dans les applications des calculs de besoins **en eau** des cultures ont été calculées. Les calculs, lorsque l'on dispose d'une station synoptique se font à l'aide de la formule de **Penman** (modifiée ou non).

Dans les années 70, **Dancette** a établi des corrélations entre l'évapotranspiration potentielle (ETP) d'un gazon et l'évaporation d'une nappe d'eau libre ( $Ev_{bac}$ )<sup>5</sup> Le rapport ETP/ $Ev$  était de 0.68 en saison sèche et de 0.79 en saison des pluies, à Richard-Toll.

Le même auteur établit des corrélations entre l'évapotranspiration potentielle et la pluviométrie. Un diagramme d'isovaleurs d'ETP moyenne pendant l'hivernage, très pratique qu'il **conviendrait** d'actualiser (du fait de l'évolution des conditions climatiques) pour la vallée a été élaboré.

Signalons enfin qu'il existe plusieurs banques de données qui fournissent les valeurs mensuelles de la pluviométrie (**PLUVIOM**) et de l'évapotranspiration calculée suivant **Penman**. La base de données CLIMWAT (F.A.O.) fournit ces données pour St-Louis, Matam, Podor et **Guédé**. Celles-ci sont disponibles sur fichiers.

Notons aussi l'existence dans le domaine de l'analyse et de l'exploitation des données agro-climatologiques, la mise au point d'outils informatiques pour faciliter ces tâches souvent très fastidieuses.

## Données hydrologiques

Depuis la réalisation des barrages de **Diam**a et Manantali, les problèmes hydrologiques se posent sous un angle différent. La gestion du régime du fleuve permet de compenser, dans une certaine mesure les déficits, et d'écarter les crues qui survenaient dans le passé.

Les données hydrométriques renseignent sur les quantités des ressources en eau disponibles au niveau du fleuve et des ses différents affluents ou défluent. La gestion de l'eau à cette échelle, vise une meilleure allocation de cette ressource pour satisfaire les besoins des différents usagers (périmètres, alimentation en eau potable).

Dans toute la vallée du fleuve, il existe un réseau de station hydrométriques, installée; pour le suivi global des ressources en eau dans le fleuve.'

Dans le delta du fleuve, les données hydrométriques portent sur l'axe Gororrx-Lampsar Le fleuve dans cette partie de son cours est sous l'influence du remous occasionné par le barrage de Diama. C'est ainsi que suivant la demande en eau dans les périmètres tributaires de cet axe, les écoulements dans celui-ci peuvent se faire soit d'amont en aval à partir de Ronkh, soit d'aval en amont à partir de Dakar Bango, dans le dernier bief (aval) de l'axe. Cela se fait par l'ouverture ou la fermeture de certains ouvrages de contrôle.

Pour permettre une exploitation simple des mesures et obtenir les débits qui transitent dans l'axe, des corrélations sont faites entre les débits et les différentes hauteurs d'eau dans les marigots, pour chaque station de mesures. Il suffit d'une simple mesure de niveau de l'eau pour pouvoir connaître les disponibilités en eau en vue de la gestion en temps réel de celle-ci.

Afin de donner une idée des débits que l'on pourrait exploiter - et donc des surfaces irrigables à partir de cet axe - des valeurs sont données pour l'hivernage 96 en annexe B de cet **document**<sup>6</sup>.

Dans la haute vallée, des données sont disponibles sur les débits, les hauteurs limnimétriques ainsi que leurs relations avec le niveau de l'eau à **Matam, Podor** Dagana et **Diama**.

### ***1.1.2. Détermination des besoins en eau des cultures***

Les travaux sur la détermination des besoins en eau des cultures ont porté sur pratiquement toutes les espèces mais à des degrés de précision et des pas de temps variables. Suivant la demande évaporatoire du climat et la pluviométrie qui varient avec le lieu d'une part, et la saison de l'année pendant laquelle la culture est pratiquée d'autre part, ces besoins prennent des valeurs différentes pour chaque espèce cultivée. Toutefois plusieurs travaux ont fourni des valeurs globales qui peuvent servir à la planification de l'irrigation.

Cependant le principe de calcul demeure généralement identique. Ces besoins s'expriment de la façon suivante :  $\text{Besoins} = ((\text{Pertes} - \text{Pluie}) \times \text{facteur de lessivage}) / \text{efficience}$  du réseau d'irrigation.

Les pertes sont constituées par l'évapotranspiration maximale (ETM) de la culture en général mais à la quelle il faut ajouter les pertes par infiltration, les besoins de pré-irrigation pour le cas de la **riziculture**.

La pluie utilisée est, dans le cas de détermination de besoins prévisionnels, une pluie que l'on peut « probablement » dépasser durant la période d'irrigation (voir plus haut, décades sèches par exemple). De la pluie directement tombée sur le sol, il faut déduire la fraction qui s'infiltre en profondeur et celle qui ruisselle hors de l'espace irrigué.

Les travaux portant sur l'ETM montrent que ce paramètre varie pendant le cycle de développement de la culture, une très large bibliographie existe à ce sujet sur lequel nous ne nous attarderons donc pas.

Le facteur de lessivage dépend de la salinité du sol en place, de celle de l'eau d'irrigation et de la tolérance de la culture à la salinité. La salinité est exprimée en conductivité électrique (mmhos/cm)<sup>1</sup> de l'extrait du sol saturé CE<sub>s</sub> ou de l'eau d'irrigation CE<sub>e</sub>.

La fraction de l'eau d'irrigation pour le contrôle de la salinité (FI) est alors dans les cas généraux donnée par  $FI = \frac{CE_e}{CE_s}$ <sup>7</sup>.

La connaissance de l'efficacité des réseaux de transport et de distribution de l'eau est fondamentale pour la planification de l'irrigation. Ce facteur - rapport entre les besoins nets d'irrigation et les besoins bruts en tête de réseau - conditionne la consommation globale d'un périmètre irrigué.

Des travaux de détermination de bilans d'eau pour la riziculture dans la vallée<sup>7</sup> ont permis de dégrossir ces efficacités. Des valeurs sont obtenues quant à l'efficacité (saisonnière) à la plante<sup>ii</sup> pour des irrigations gravitaires par des canaux en terre. Les valeurs sont comprises entre 33% et 61%, avec une moyenne de 45% et un écart type de 7,5%. Bien entendu ce sont des efficacités de périmètres ayant leurs propres caractéristiques organisationnelles et techniques et, bien que relativement homogènes comme chiffres, il n'est pas indiqué de les extrapoler ailleurs.

Sur les sols du diéri, les efficacités des réseaux gravitaires non revêtus sont probablement plus faibles.

Dans le cas des irrigations sous pression les valeurs sont meilleures du fait de la réduction des pertes.

A titre indicatif, les besoins en eau par campagne de certaines cultures, extraits de diverses références<sup>7, 13</sup>, sont donnés dans le tableau 2.

<sup>1</sup> 1 mmho/cm correspond environ à 640 mg de sel par litre, -0,36 bar de pression osmotique.

<sup>ii</sup>Quantité d'eau consommée par le riz (Etriz) /Quantité d'eau totale apportée



**Tableau 2 Besoins en eau globaux de cultures (irriguées)<sup>9</sup>**

Cultures	Besoins en eau en m <sup>3</sup> /ha
Mais	6 500 à 7 000
Sorgho	5 600 à 6 600
Tomate	~ 15000
Oignon	-6500
Coton	4 500 à 6 500
Arachide de bouche	6000 à 8000
Haricot vert	~ 2 000
Melon	-6500
Canne à sucre	15000 à 25000
Pomme de terre	5000 à 7000
Pastèque	4000 à 6000
L'ournesol	6000 à 10000

Pour ce qui concerne la riziculture , suivant que l'on contrôle la salinité ou non, les volumes consommés varient beaucoup. Toutefois on estime qu'il faut maintenir une lame d'eau de 10 à 15 cm dans le bassin de submersion.

## 1.2. Établissement des calendriers d'arrosage

### 1.2.1. Caractéristiques hydriques et hydrodynamiques des sols

Les caractéristiques hydriques et hydrodynamiques des sols ont été étudiées par l'ISRA<sup>10</sup> entre Février 1982 et Avril 1983 pour les sols Diéri<sup>i</sup>, Diéri/fondé, Fondé<sup>ii</sup>, Ouaka, Fondé ranéré et Hollaldé<sup>iii</sup>.

Les sols diéri, diéri/Fondé et fondé/ouaka ont fait l'objet d'études complètes quant à leur propriétés hydriques (capacité de rétention, point de flétrissement, réserve utile, classe de drainage) et hydrodynamiques (perméabilité à la saturation, relation succion-humidité et conductivité hydraulique-succion).

Une caractérisation simplifiée a permis de déterminer les propriétés hydriques et la perméabilité à la saturation des sols Hollaldé fondé ranéré.

Les valeurs trouvées sont présentées dans le: tableau 3 suivant :

<sup>1</sup> Sols situés en hors du lit majeur, jamais inondé, sableux en général

<sup>ii</sup> Sols situés dans le lit majeur, mais rarement inondé, texture variable (Fondé ouaka : 30% d'argile, Fondé ranéré : 8% d'argile)

<sup>iii</sup> Sols des parties basses du lit majeur, régulièrement inondés par les crues ayant 30 à 80% d'argile.

Tableau 3 Caractéristiques hydriques et hydrodynamiques des sols de la vallée

Type de sol	Diéri	Diéri-fondé	Fondé ouaka	Hollaldé	Fondé ranère
Perméabilité à la saturation (mm/j) Ks	5840	1992	112	93	687
-Humidité à la capacité de rétention % Hcr	9	13	29	35	23.2
-Humidité au Point de flétrissement % Hpf	1	3	13	17	8.1
Réserve utile (mm) RU	40	50	80	90	76
-Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.53	1.62	1.58	1.76	1.65

Par contre il existe des références de portée plus générale” sur ces caractéristiques qui permettent à un **projeteur ou à tout** autre concepteur de mettre en place ou de gérer des ressources en eau d’irrigation, d’avoir des éléments pour définir son **calendrier** d’arrosage. Nous citerons les travaux de Gras et Betremieux qui à partir de la granulométrie expriment la notion d’humidité équivalente (à la quelle on peut approcher l’humidité à la capacité au champ)“.

Des relations sont établies entre la texture du sol et sa perméabilité à la saturation, facteur important pour la définition des pluviométries d’arrosage dans le cas de l’irrigation par aspersion.

Ces relations sont données en abaques ou par des formules.

### 1.2.2. Études sur la conduite des arrosages

La dose d’arrosage correspond à la quantité d’eau qu’il faut apporter à chaque irrigation Pour ce qui est des cultures autres que le riz, elle est intimement liée **au type** de sol et à la profondeur d’enracinement de la plante, pour des besoins en eau donnés.

Pour la **riziculture** irriguée de submersion - celle qui se pratique dans la vallée - la dose représente en fait une quantité d’eau que l’on apporte pour maintenir la lame d’eau à la hauteur convenable, du fait des pertes par **évaporation** et par drainage naturel ou forcé. A cette quantité d’eau, il arrive que l’on ajoute une fraction supplémentaire destinée au contrôle de la salinité.

L’espacement entre les arrosages dans un intervalle de temps de 10, 15 ou 30 jours se détermine en évaluant les besoins globaux en eau et la capacité d’eau que le sol peut retenir utilement pour la plante (celle4 correspond à la dose d’arrosage). Le nombre **d’apport** de cette dose permet d’évaluer les espacements entre les arrosages. L’intervalle de temps entre deux arrosages correspond au tour d’eau. Des études expérimentales ont été menées à ce sujet sur le casier de Ndombo-Thiagho.

D’une façon générale, la dose est donnée par l’expression Dose = a x RU x z, α un **coefficient** qui permet de prendre en compte la valorisation de l’eau par la plante, RU la réserve utile (cf tableau 3) et z la profondeur d’enracinement de la plante.

Le nombre d’apports de la dose est fonction des besoins bruts de la **culture** pendant l’intervalle de temps de gestion (besoins décadaires, mensuels,...).

<sup>4</sup>Ces valeurs sont relatives à une tranche de sol de 50 cm

$$(\text{Nombre d'irrigations} = \frac{\text{Besoins bruts}}{\text{Dose}})$$

Le nombre d'apport de l'eau d'irrigation., dans le cas de la riziculture de submersion dépend de la demande évaporatoire du climat, de la pluviométrie et des pertes, qui contribuent au rabattement du plan d'eau des bassins, ainsi que de la tolérance que l'on se fixe pour l'entretien ou la remontée de cette lame d'eau. Celle-ci doit être réglée en fonction du stade végétatif, et tenant compte des assec nécessaires à réaliser pour des besoins de traitement chimique, de fertilisation, de lessivage ou de récolte.

Une étude du choix des doses d'irrigation sur sol **fondé**<sup>12</sup> à été menée dans la moyenne vallée aval (Station de Fanaye) pour les cultures de riz (variété Jaya), de tomate (variété Roma V.F.) et d'oignon (variété Créole). Il s'agissait de déterminer la dose qui apporte le meilleur rendement. La conclusion qui se dégage est qu'il n'a pas été observé de différences significatives de ces rendements lorsque l'on fait varier la dose dans un certain intervalle.

Des essais ont été menés pour déterminer les fréquences d'irrigation sur sol diérisé pour les cultures de tomate et d'arachide. Ces essais avaient pour objectif l'économie de l'eau d'irrigation.

Les résultats montrent une meilleure économie de l'eau pour des apports quotidiens (tomate) et tous les deux jours pour l'arachide, en irrigation par aspersion.

Dans le même objectif de rentabilisation de l'irrigation, les fréquences des irrigations de complément pour le riz (**I Kong Pao**), le maïs (**Early Thai**), le sorgho (**C.E 15 1-262**) le mil (**IBV**) et le niébé (**Diongoma**) ont été étudiées.

Les résultats obtenus sont les suivants (essais sur sol fondé) :

Riz	: 8,7 jours
Maïs et sorgho	: 10,7
Mil	: 11,2
niébé	: 9,1

Pour des besoins de gestion prévisionnelle et de planification des irrigations, des logiciels spécifiques ont été développés à cet effet. Nous citerons pour mémoire CROPWAT (toutes les cultures) BIRIZ (Riziculture dans la vallée du fleuve Sénégal), RIDEV (Riziculture).

### 1.3. Rationnement des arrosages

Il est possible, aux fins d'application à la planification, à la conception et à l'exploitation des périmètres d'irrigation, d'analyser l'incidence de l'alimentation en eau sur les rendements des cultures.

Lorsque la totalité des besoins en eau de la culture n'est pas satisfaite, le déficit hydrique dans la plante peut atteindre un point tel que le développement et le rendement de la culture sont compromis. La manière dont le déficit hydrique influe sur le développement et le rendement de la culture varie selon l'espèce végétale et le stade de croissance. Une analyse des résultats de la recherche montre qu'il est possible, si l'on dispose de renseignements sur le rendement réel comparé au rendement maximum,

de calculer les pertes de rendement relatives. Pour quantifier l'effet du manque d'eau dans la plante sur le rendement, on utilise le coefficient de réponse des rendements à l'eau,  $K_r$ . Ce coefficient est obtenu de la façon suivante :

$$\left(1 - \frac{R_r}{R_m}\right) = K_r \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)^{13}$$

où :  $R_r$  = rendement récolté réel

$R_m$  = rendement récolté maximum

$K_r$  = coefficient de réponse du rendement

$ET_r$  = évapotranspiration réelle

$ET_m$  = évapotranspiration maximum.

Le tableau suivant, dont le contenu est tiré du bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage N° 33 fournit les valeurs des coefficients de réponse du rendement pour différentes cultures.

Tableau 4 Coefficients de réponse du rendement pour différentes espèces culturales

Cultures	Efficacité de la consommation* d'eau/ rendement Kg/m <sup>3</sup>	Coefficient de réponse $K_r$
Maïs	0,8-1,6 (grain 10 à 13%)	1,25
Sorgho	0,6-1,0 (grain 12-15%)	0,9
Riz	0,7-1,1 (paddy 15-20%)	>1,15
Arachide	0,6-0,8 (Graine sèche)	0,7
Tomate	10-12 (fruit frais 80-80%)	1,05
Pomme de terre	4-7 (Tubercule frais, 70-75%)	1,1
Banane	2,4-6 (fruit à 70%)	1,2-1,35
coton	0,4-0,6 (graine de coton, 10%)	0,85
Chou	10-12 (pomme, 90 -96%)	0,95
Oignon	8-10 (bulbe à 85-90%)	1,1
Haricot	1,5-2,0 (vert 80-90%)	1,15
	0,3-0,6 (sec à 10%)	1,15
Blé	0,8-1,0 (grain 12-15%)	1,1
Chue à sucre	5-8 (canne 80%)	1,2
Pastèque	5-8 (fruit 90%)	1,1
Soja	0,4-0,7 (fève 6-10%)	0,85
Agrumes	2-5 (fruit 70-85)	0,8-1,1

\* Les chiffres en % représente, pour le produit récolté, la teneur en eau pour laquelle l'efficacité est déterminée.

#### 1.4. Drainage des sols

De nombreuses connaissances ont été acquises à propos des avantages du drainage<sup>14</sup> La nécessité du drainage n'est plus à démontrer si l'on veut intensifier ou diversifier le système de culture irrigué. Les excès d'eau posent entre autres des problèmes de travail du sol (difficulté de pénétration des engins, mauvaise consistance des terres), des problèmes de développement des cultures (engorgement prolongé, asphyxie des végétaux, évolution des caractéristiques édaphiques des sols par salinisation ou

alcalinisation...) qui aboutissent à une chute des rendements, ou pire, à la dégradation du sol qui peut devenir inapte à l'agriculture.

Dans les périmètres aménagés du delta du fleuve Sénégal, les excès d'eau . donc les besoins en drainage - ont pour origine soit la remontée de la nappe phréatique située à moins de deux mètres de profondeur en général, soit un problème de planage qui favorise l'accumulation de l'eau au niveau de zones de basses dans les périmètres suite aux irrigations. Dans certains périmètres, situé aux abords des axes hydrauliques, les débordements de ces axes entraînent souvent des excès d'eau. Mais ces excès d'eau peuvent survenir à l'issue d'une pluie de forte intensité. La valeur de cette intensité pluviométrique sert souvent de paramètre pour dimensionner les ouvrages de drainage

Dans les zones du diéri, la profondeur des sols est telle que, lorsqu'on irrigue successivement une parcelle, les sels apportés par l'eau d'irrigation s'accumulent progressivement, du fait des évaporations, jusqu'à compromettre l'aptitude des sols à l'agriculture irriguée. Ce phénomène rend nécessaire l'étude de systèmes de drainage adaptés à ces situations.

En général c'est le drainage de surface qui est appliqué dans les périmètres aménagés par la SAED (fossés à ciel ouvert, tranchée,...). La plupart des autres périmètres (PIV, périmètres privés) ne sont pas équipés de réseau de drainage.

Ces drains (SAED) servent pour réaliser l'assec ou la vidange des bassins rizicoles à des fins de traitement chimique ou de fertilisation. La réalisation de l'assec nécessite la connaissance du délai de ressuyage de la parcelle. Ce délai varie selon le type de sol, le stade végétatif, l'évapotranspiration et l'épaisseur de la lame d'eau. Néanmoins, il est possible de donner des bornes :

- 8 à 12 jours sur faux hollaldé ;
- 12 à 16 jours sur hollaldé.

Si l'on veut rabattre une nappe, il est possible de mettre en œuvre un réseau de drains enterrés dont les écartements sont fonction de la perméabilité des sols, de l'intensité des apports d'eau ainsi que de la profondeur de l'horizon à drainer.

Il serait intéressant d'étudier ces caractéristiques spécifiquement pour notre zone d'intervention. Certes, des résultats existent sur la perméabilité mais les autres paramètres sont encore souvent estimés lors des conceptions, si on n'omet pas tout simplement les calculs de drainage.

## **1.5. Étude des modes de transport et distribution de l'eau**

Il existe dans la vallée du fleuve Sénégal, trois grandes catégories de modes de transport et de distribution de l'eau d'irrigation Le gravitaire qui est le plus fréquent, l'aspersion qui est en seconde position et la micro-irrigation.

### ***1.5.1. Les irrigations gravitaires***

Pour la riziculture c'est la submersion qui est pratiquée, la taille des bassins est variable (quelques dizaines de m<sup>2</sup> à plus d'un ha). La raie est pratiquée pour la canne à sucre, les

cultures maraîchères, les melons. Mais on trouve aussi des irrigations gravitaires par infiltration rapide sur des terrains très filtrants.

Les études portant sur le modes de transport et de distribution gravitaires de l'eau a la parcelle ont été menées sur le casier expérimental de NDombo-Thiago<sup>16</sup>. Le travail a porté principalement sur l'irrigation à la raie cloisonnée qui présente une meilleure économie d'eau par rapport à l'irrigation à la raie « ouverte » et, sur l'irrigation à la planche. La distribution à la raie cloisonnée est d'ailleurs; générale dans la vallée du fleuve, sur les cultures maraîchères Elle consiste à relier un ensemble de sillons (une dizaine) en amont et en aval et à procéder à l'arrosage en même temps jusqu'à ce que tous ces sillons soient remplis d'eau. Il n'y a donc pas besoin de prise à chaque raie, ce qui présente un avantage économique.

### **Aménagements parcellaires**

Pour l'irrigation individuelle des sillons, il a été procédé à l'étude des effets des différences de pentes sur la culture. C'est ainsi que la pente longitudinale de 1/1000 a été retenue.

La longueur de la parcelle qui donne une meilleure efficacité de l'irrigation correspond a 30 mètres sur sol dièri.

Les mêmes valeurs ont été adoptées pour l'arrosage à la planche.

La largeur et l'écartement des billons peuvent varier selon la culture mais les valeurs de SO a 60 cm et de 80 à 120 cm pourraient être adoptées, respectivement. Les planches quant à elles auront des largeurs de 4 à 5 mètres.

### **Débits d'arrosage**

Dans le cas de l'arrosage par sillons, un débit de 40 litres par minute et par sillon conviendra alors que ce débit sera de 50 litres par mètre de largeur pour les planches.

## ***1.5.2. Les irrigations par aspersion***

L'eau est transportée sous pression et distribuée ensuite aux plantes sous forme de pluie artificielle. Les organes de distribution sont des asperseurs rotatifs (qui peuvent arroser des surfaces circulaires complètes ou des secteurs, suivant les modèles. L'eau doit y parvenir sous une prssion de 2 à 4 bars, elle sort à l'air libre par des buses. Il existe de très nombreux modèles d'asperseurs dont les débits s'étagent entre 0,10 et 30 m<sup>3</sup>/h assurant une pluviométrie horaire de 1,5 à 8 mm. Leur portée: varie de 5 à 36 m. Ils sont disposes le plus souvent à 12, 24 ou 36 m, les uns des autres."

On en distingue plusieurs systèmes, selon différents critères de classification :

- les systèmes d'irrigation non mécanisés **sont** ceux dont le déplacement n'est réalisé qu'à main d'homme ; si l'on ne mentionne pas la station de mise en pression, ils comportent toujours des organes d'arrosage montés sur des tuyauteries qui, elles-mêmes, sont alimentées par d'autres conduites branchées sur la station de pompage ou sur la borne délivrant l'eau sous pression,
- l'aspersion mécanisée dans laquelle le déplacement des ouvrages hydrauliques est automatisé. Dans cette catégorie nous avons les canons automoteurs, les pivots, les rampes oscillantes.

Du matériel d'aspersion a été testé à la station de Ndiol en vue de la **détermination** des conditions optimales de fonctionnement La pression de service ainsi que les maillages des asperseurs de type RB 46 AWH qui donnent les meilleures uniformités d'arrosage suivant que ces asperseurs sont sur traîneau ou non ont été étudiés.

Dans des conditions similaires, des asperseurs ont été testés au Niger (Tran Minh DUC) pour déterminer les conditions d'irrigation par aspersion de la canne à sucre suivant la hauteur de la buse, l'angle du jet, l'heure de journée (pour tenir compte de l'effet du vent)

Ce genre d'essais mériterait d'être menés localement pour actualiser et **déterminer** les conditions les meilleurs d'utilisation du matériel d'aspersion et pour prendre en compte les nouveaux modèles de matériel.

### ***1.5.3. Les irrigations localisées***

Avec ces modes d'irrigation l'eau est transportée sous faible pression et distribuée au pied de chaque plante avec un très faible débit.

Les installations d'irrigation localisée comprennent en général :

- l'unité de tête (manomètres, débit-mètres, régulateurs de pression et de débit, doseur/dilueur d'engrais, filtres...),
- une conduite principale,
- des rampes porte-goutteurs qui peuvent être ramifiées,
- les appareils de distribution (goutteurs, microasperseurs, capillaires).

de la Une étude comparative\* de quatorze modèles de goutteurs a été réalisée au champ, sur tomate. Les effet étudiés ont portés sur :

- les obstructions,
- l'uniformité de la distribution le long d'une rampe porte-goutteurs,
- la répartition de l'eau dans le sol sous un goutteur, son influence sur la culture,
- l'influence de l'ensoleillement. sur les goutteurs,
- les dégâts causés par les rongeurs.

Les modèles suivants ont été étudiés :

DRIP EZE INLINE (USA)

DRIP EZE SNAP (USA)

NETAFIM à vis (Israe)

NETAFIM à chicanes (Israel)

PLUIDOR Standard (France)

PLUIDOR anticalcaire (France)

IRRIFRANCE

SUB TERRAIN

TWIN WALL (USA, CSS Sénégal)

BI WALL (USA, CSS Sénégal)

IDIS (USA, CSS Sénégal)

PORTUBE ou SUB IRRIGATION SYSTEM (USA, France)

BAS RHONE LANGUEDOC (France)

MICROJET (Afrique du Sud)

Les résultats indiquent les modèles qui sont les mieux adaptés aux conditions de sol à la qualité des eaux et à la culture.

En 1980, une étude similaire fût menée sur le modèle de goutteur TIROSH<sup>19</sup>. Ce travail avait permis de déterminer:

- les « caractéristiques <sup>i</sup> » du goutteur, c'est à dire, la loi de variation du débit en fonction de la pression de service ;
- les coefficients d'uniformité de la distribution de l'eau, paramètre qui permet de gérer l'eau d'irrigation ;
- la forme du bulbe d'humectation d'un goutteur pour apprécier la répartition de l'eau dans le sol.

Ces travaux devraient d'être actualisés pour tenir compte des faits suivants

- les essais sont menés en station, sur le même sol, il importe de tenir compte des variations des types de sols,
- l'évolution des modèles de goutteurs chez les mêmes fabricants,
- et de l'apparition sur le marché de nouveaux fabricants.

---

<sup>1</sup> Coefficients a et b de l'équation  $y = a H^b$ , qui lie le débit à la pression fournie aux goutteurs



## 2. ORIENTATIONS EN MATIÈRE DE RECHERCHE SUR LA GESTION DE L'IRRIGATION

La première partie de ce document consacrée aux acquis techniques de la recherche en hydraulique agricole dénote un important capital de résultats obtenus à ce sujet dans la vallée du fleuve Sénégal Compte tenu de la problématique de l'irrigation dans cette région, nous essayerons d'aborder ci-dessous les nouvelles voies d'investigations dans cette discipline.

Dans la mise en œuvre des orientations de recherche développement du PSI, il a été identifié trois (3) secteurs de références dans lesquelles les interventions en milieu réel se feront. Il s'agit de la bordure Ouest du lac de Guiers, du delta central du fleuve (zone comprise, en gros, entre Ronq et Ndiol) et de la Moyenne vallée aval (Nianga )

La figure 2 de la page suivante donne la position et illustre les types de contraintes de chacun de ces trois secteurs.

### 2.1. Secteur de la bordure Ouest du Lac de Guiers

Cette zone est caractérisée par le fait qu'elle est entièrement située sur le dién où l'irrigation est récente et peu développée. Les conditions édaphiques locales semblent privilégier les formes d'irrigation autres que **gravitaires**. Toutefois ce mode est le plus fréquent que l'on y rencontre'. Aussi serait-il utile, dans ces conditions, d'orienter les recherches dans le sens de la valorisation de potentialités propres à cette localité, tout en essayant de prendre en compte le niveau d'encadrement et de formation des producteurs ainsi que de leurs capacités d'investissement pour le développement de l'irrigation.

Dans ces conditions, les interventions devraient être orientées sur les axes **suivantes**

1. Définition des conditions d'utilisation des systèmes d'irrigation **efficente** en eau dans des conditions de sols filtrants. Il s'agira principalement de la mise oeuvre de systèmes d'exploitation irriguée par aspersion ou, au goutte à goutte pour pouvoir intensifier les cultures. Cette orientation devra prendre en compte le fait que ce type d'irrigation est peu général dans la vallée et nécessiterait, à priori des investissements de base élevés.

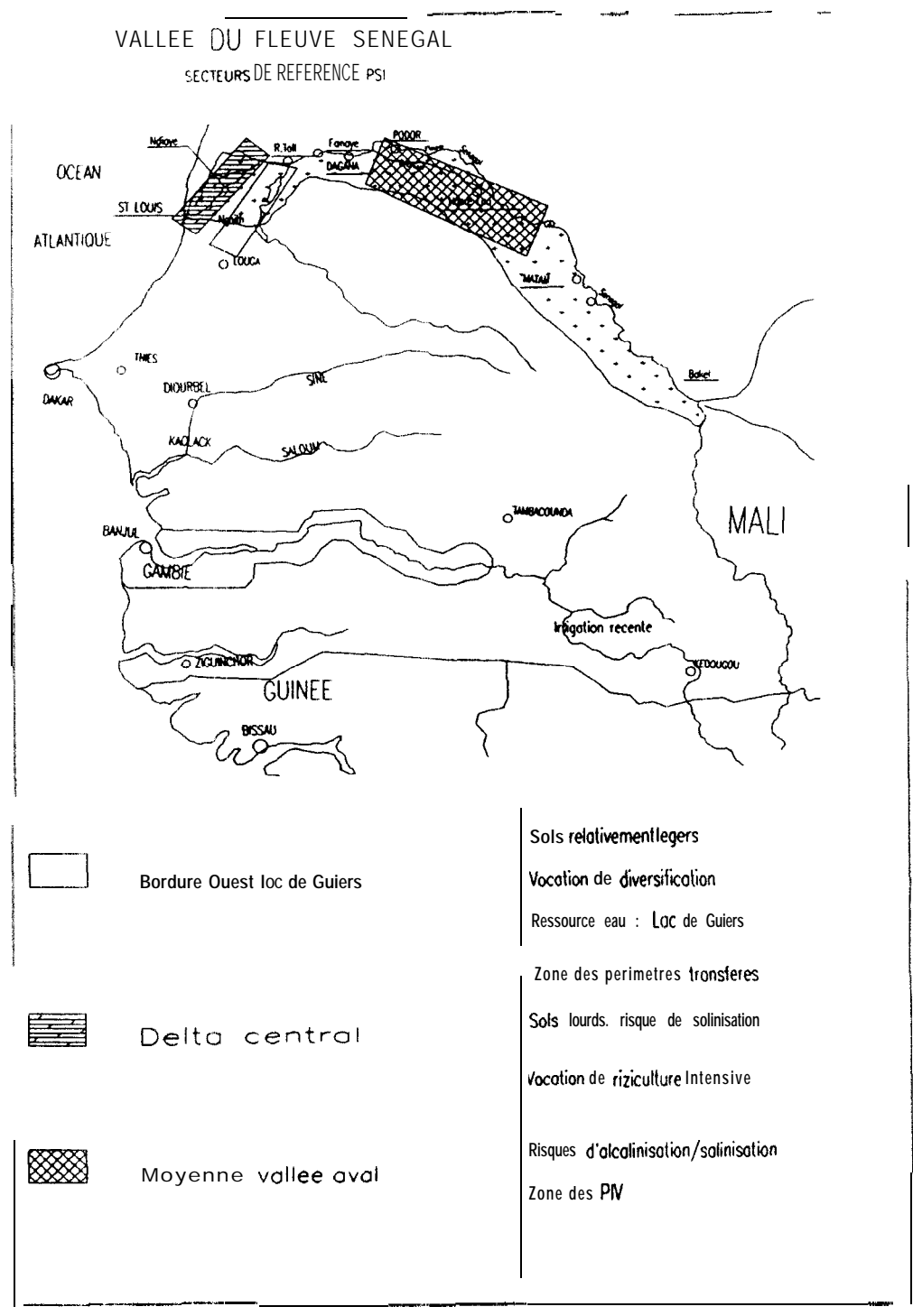
**La** connaissance des spécifications du matériel d'aspersion (asperseurs , **goutteurs**, pivots, canon, etc.), leur adaptabilité dans les conditions technico-économiques de la zone sera importante. Cela pourrait se faire par le biais de l'actualisation de certains études cité plus haut à propos des modes d'arrosage.

2. Amélioration des systèmes d'irrigation en vigueur dans la zone

Dans les aménagements hydro-agricoles où se pratiquent des modes d'irrigations peu **efficentes** et dans lesquels il est difficile, pour des raisons économiques ou sociales, d'envisager des changements profonds, la recherche / développement doit se pencher sur la mise au point de méthodes d'améliorations des performances des systèmes d'irrigation en place.. Ces méthodes viseront la valorisation des technologies locales

ou à la modification des systèmes de transport et de distribution de l'eau réalisés par les producteurs.

Figure 2 Vallée du Fleuve et secteurs de référence



Elles ne devraient pas exiger des investissements supplémentaires qui ne seront pas en adéquation avec les capacités d'investissement des exploitants.

### 3. Étude de l'organisation sociale et foncière de l'irrigation.

Cette partie du fleuve, est le siège de profondes mutations quant à la configuration et l'utilisation de l'espace agricole. En effet depuis la mise en service des barrages sur le fleuve qui a permis l'amélioration des disponibilités hydriques du lac, la compétition sur le foncier entre différents usagers (pasteurs, agriculteurs colons, riverains, gros privés, etc.) est devenue une sérieuse préoccupation. Il est encore temps de s'interroger sur l'influence de ces aspects dans la gestion durable de l'irrigation dans ce milieu où la pratique de l'irrigation est récente. Ce type d'orientation s'efforcera d'apprécier et de déterminer les formes d'organisation de la gestion foncière les plus indiquées pour le développement agricole par l'irrigation,

### 4. Étude de l'influence de l'irrigation sur les terres irriguées.

On ne connaît pas encore très bien l'hydrodynamique des nappes de l'environnement sub-lacustre des terres des périmètres au bord du Lac de Guiers. Dans une perspective de développement à grande échelle de systèmes irrigués, il conviendrait d'aborder le suivi de la dynamique des 'nappes sous-jacentes dans les zones irriguées afin d'en préciser utilement les effets sur la qualité des sols.

## 2.2. Secteur du delta central

C'est dans ce secteur que l'on trouve un nombre important d'aménagements transférés par la SAED aux Organisations de Producteurs. Ce transfert d'aménagements se fait par contrat de concession assortis de Notes d'Entretien et de Maintenance (N.E.G). Ces notes, élaborées par les services techniques de la SAED, se basent sur la superficie du périmètre, les besoins en eau des cultures (**riziculture** ou tomate pour la polyculture) pour évaluer les coûts de pompage de l'eau d'irrigation. L'entretien et la maintenance sont une série d'opérations (curage de canaux ou drains, faucardage, entretien des stations de pompage,...) de fréquence déterminée dont les coûts sont basés sur les prix en vigueur au niveau des prestataires de service de terrassement ou de génie civil.

Quand on sait la complexité d'un **aménagement** hydro-agricole du fait de la multitude des facteurs qui en conditionne la performance, on est **tenté** de réfléchir sur la façon d'intégrer tous les autres facteurs qui permettent au périmètre de répondre aux attentes

Il est nécessaire, *dans une approche globale, d'étudier la gestion de l'irrigation sous un angle aussi bien technique qu'organisationnel*. Les aspects socio-fonciers sont également des paramètres déterminants dans le succès et le devenir des périmètres irrigués dans le cadre du désengagement de l'état.

A côté de cette approche qui a pour objet les unités d'aménagement hydro-agricole - les périmètres en particulier -, il existe des questions qui relèvent d'échelles plus importantes.

Pour améliorer la gestion globale de l'eau dans le delta, il est nécessaire d'identifier et de coordonner les actions des différents usagers de l'eau du fleuve et des **défluent**s. Les disponibilités de l'eau dans le delta sont directement influencées par le mode de gestion des ouvrages communs de l'OMVS (barrages de **Diama** et **Manantali**). L'étude qui prendra en compte le schéma hydraulique du delta, aboutira à l'élaboration d'un modèle

hydrologique d'aide à la décision pour la gestion et d'alimentation des axes hydrauliques en rapport avec le modèle de gestion des barrages. Cette étude devrait à terme prendre une dimension sous-régionale en considérant les usagers des deux rives du fleuve et en associant les structures de recherches du Sénégal et de la Mauritanie.

Dans le delta du fleuve, il existe une nappe salée à faible profondeur et de nombreux aménagements (privés notamment) sans drainage. Les irrigations successives<sup>1</sup> causeraient la remontée capillaire de celle-ci, provoquant des dépôts de sels en surface suite à l'évaporation". La dynamique de cette nappe, en relation avec la mise en valeurs des grands aménagements, à l'échelle du delta mériterait d'être étudiée. Ce travail devrait permettre de prévenir les risques de dégradation des sols pour la mise en place de systèmes irrigués durables.

### 2.3. Secteur de la moyenne vallée aval

Dans cette partie de la vallée du fleuve Sénégal, les contraintes du développement de l'irrigation sont de nature relativement différentes de celles qui prévalent dans le delta.

Ici nous prédominent les périmètres Irrigués Villageois, les PIV, de conception et d'exécution sommaires et simplifiées. Ils présentent globalement les caractéristique, communes suivantes\*\* :

- adduction d'eau par **GMP** sur radeau flottant,
- superficie unitaire de l'ordre de 20 ha,
- parcelles de taille **0,20 à 0,50** ha,
- à proximité de marigot, du village et sur bourrelets de berge,
- pas de **planage** ni de **réseaux** de drainage.

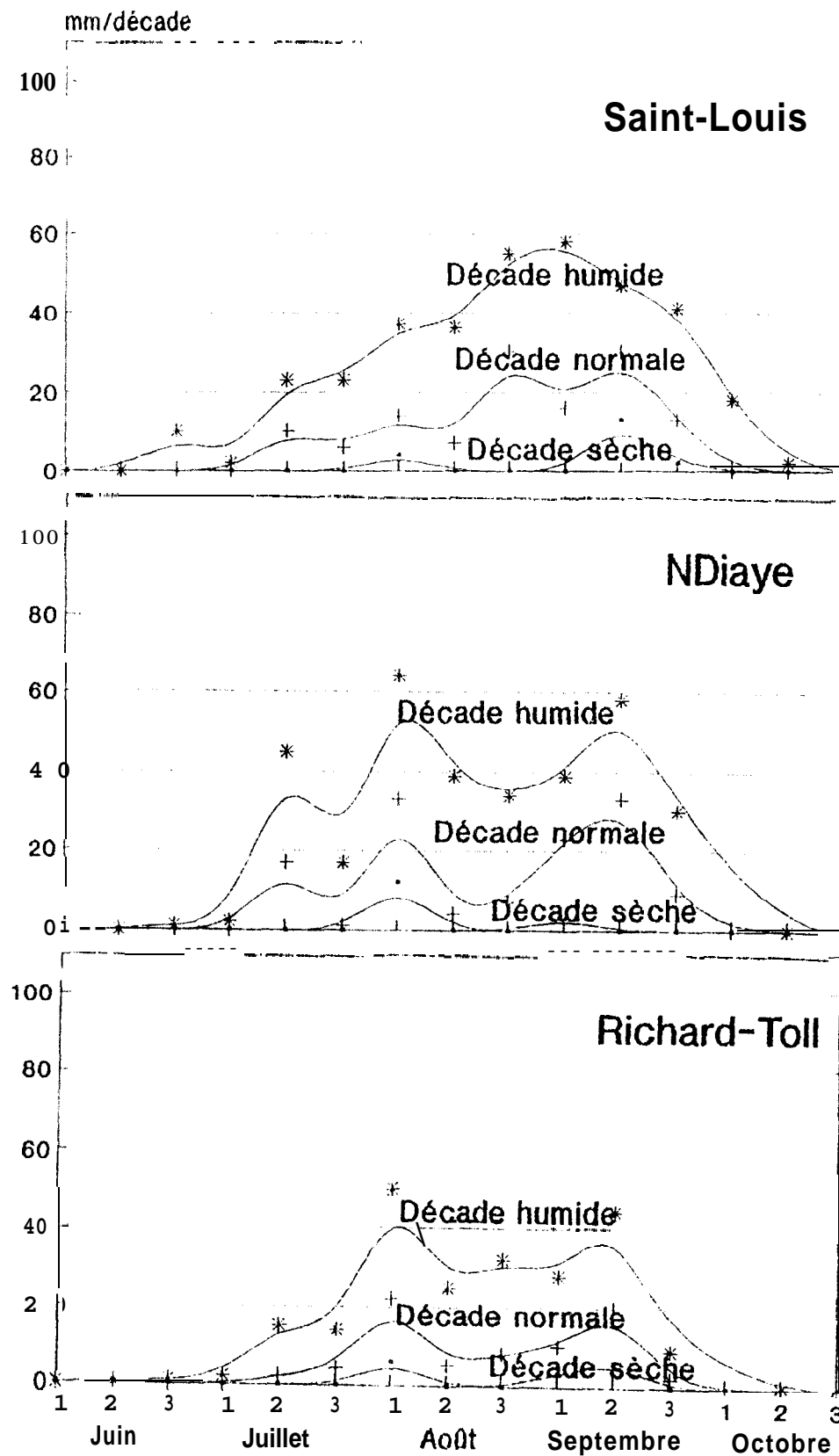
Les règles de fonctionnement qui règnent dans ces PIV sont établies par les producteurs eux mêmes et apparemment celles-ci (divergent plus ou moins les schémas de conception des ingénieurs du Génie Rural. Des recherches sur ces modes d'organisation devraient être envisagées afin d'en apprécier les avantages éventuels et suggérer des propositions d'amélioration.

A cause de l'absence de drainage, les études menées par l'ORSTOM révèlent une « durée de vie » de ces aménagements relativement faible du fait de l'accumulation progressive des sels suites aux irrigations successives. Ce travail de recherche, qui est une des préoccupations majeures des producteurs de la zone, visera à trouver un système d'évacuation des eaux (et des sels) peu coûteux qui préservera les sols des PIV.

Dans les cuvettes de décantation qui font l'objet de mise en valeur rizicole, il se pose des problèmes d'alcalinité, suite aux irrigations, du fait du caractère carbonaté des eaux du fleuve Sénégal\*\*. Les travaux de caractérisation et d'évaluation de ces phénomènes mériteraient d'être élargies.

<sup>1</sup>Notamment en cas de double **culture** de riz irrigué

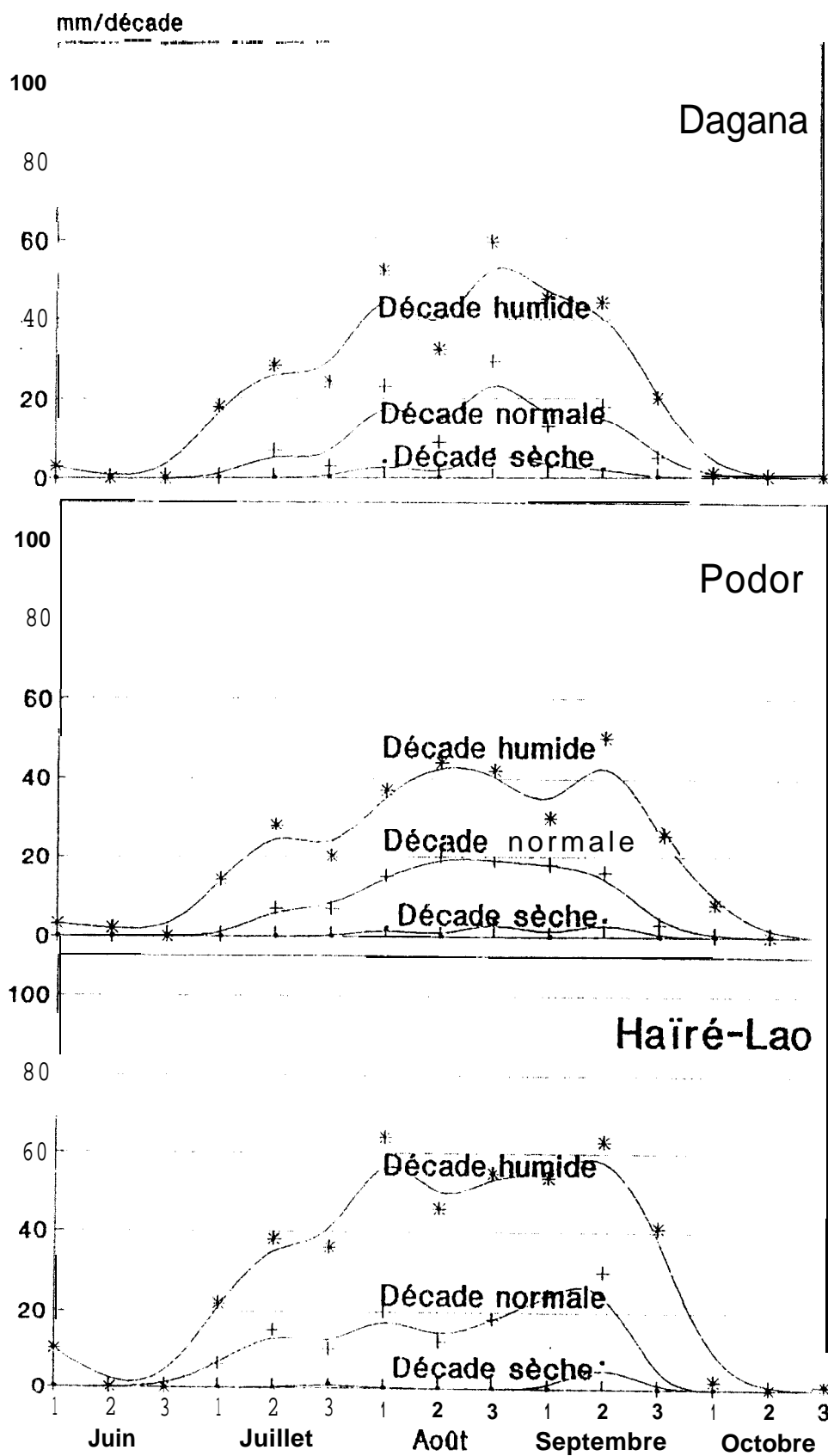
## Annexe A : Pluviométries décadaires (Source :Projet Gestion de l'eau, SA)



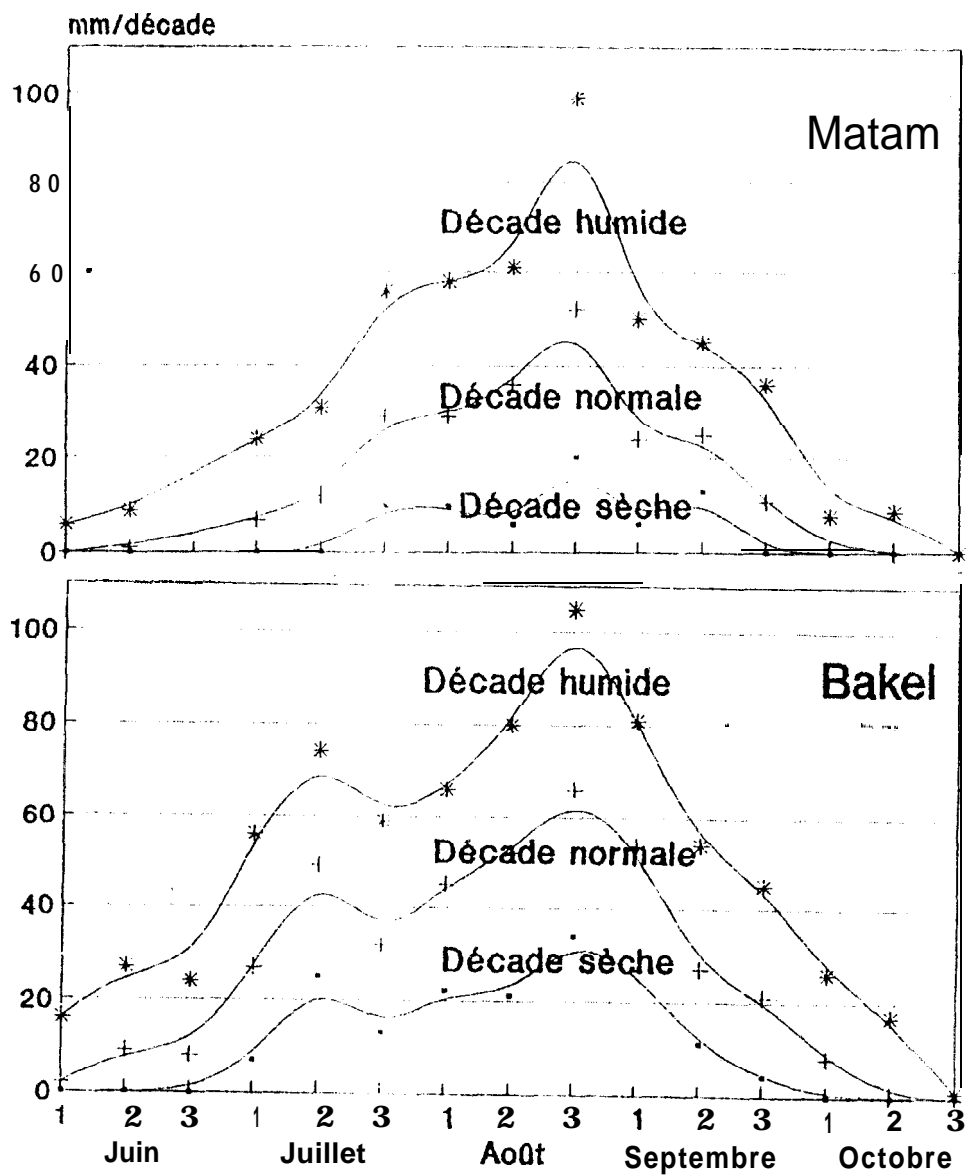
Hauteurs de précipitation décadaires escomptées avec trois différentes hypothèses à Saint-Louis, NDiaye et Richard-Toll (période : 1983 - 1991).

## Annexe A suite

1



Hauteurs de précipitation décadaires escomptées  
avec trois différentes hypothèses à Dagana, Podor et  
Haïré-Lao (période : 1968 - 1990).



**Hauteurs de précipitation décadaires escomptées  
 avec trois différentes hypothèses à Matam et Bakel.  
 (période : 1968 - 1990).**

## Annexes B : Données hydrologiques

Tableau 5 Données hydro/ Axe Gorom-Lampsar en Juin 96

Dates	Défluentes	Stations	Amont	e Aval	Débits m <sup>3</sup> /s	Section m <sup>2</sup>	Pm m	Rh m	Vms m/s	Vmoy. m/s
18.06.96	Gorom Amt	Ronq Aval*		1,83	4,65	59,3	34,9	1,70	0,089	0,078
18.06.96	Kassack	Pont Diambar		1,57	1,23	30,1	17,8	1,69	0,054	0,041
19.06.96	Gorom Amont	Diambar		1,74	3,88	72,1	31,6	2,28	0,071	0,054
19.06.96	Gorom Amont	Village Kassack		1,42	2,22	129	76,2	1,69	0,005	0,017
19.06.96	Kassack	Siphon Ndiael		1,29	0,505	11,6	16,1	0,72	0,039	0,044
20.06.96	Lampsar	Boudoum		1,36	2,30	61,2	37,9	1,61	0,058	0,038
20.06.96	Lampsar	Am. Gde Digue		0,96	1,60	114	68,4	1,67	0,026	0,014
21.06.96	Lampsar	Ross-Béthio Aval	0,80	0,80	2,32	33,4	16,8	1,99	0,055	0,070
21.06.96	Lampsar	Ndiol-Aval *	0,40	0,38	1,66	22,7	14,7	1,54	0,064	0,073
21.06.96	Djeuss-Aval	Pont Boupéne		0,33	1,02	37,4	27,4	1,37	0,008	0,027
24.06.96	Djeuss-Aval	Amt.conf.Lamp.		0,32	4,36	210	141	1,49	0,037	0,021
24.06.96	Gorom-Aval	Ouvrage G	1,92		0,581	3,40	5,40	0,63	0,268	0,171

Tableau 6 Données hydro/ Axe Gorom-Lampsar en Septembre 96

Dates	Défluentes	Stations	He Amont	He Aval	Débits m <sup>3</sup> /s	Section m <sup>2</sup>	Pm m	Rh m	Vms m/s	Vmoy. m/s
4.09.96	Gorom-Am	Ronq Aval*								
4.09.96	Kassack	Diambar			3,01	35	18,9	1,85	0,061	0,086
4.09.96	Gorom-Am	Diambar		2,14	8,47	82,6	33,8	2,44	0,093	0,103
4.09.96	Gorom-Am	Village Kassack		1,90	7,98	153	93,5	1,64	0,027	0,052
5.09.96	Kassack	Siphon Ndiael		1,59	1,87	16,5	18,8	0,87	0,090	0,054
5.09.96	Lampsar	Boudoum		1,52	3,66	67,4	42,7	1,58	0,060	0,054
5.09.96	Lampsar	Am. Gde Digue		0,62	5,84	86,5	63,2	1,37	0,092	0,067
	Lampsar	R.Béthio Aval *	0,277		2,36	23,4	14,5	1,61	0,094	0,101
	Lampsar	Ndiol-Aval .								
	Djeuss-Av	Pont Boupéne								
	Djeuss-Av	Amt.conf.Lamp.								
	Gorom-Av.	Ouvrage G								
5.09.96	DJEUSS	NGAELA (Drain)		1,359	0,403	6,14	7,10	0,86	0,098	0,066

### Légende

Ross-Béthio \* : Station à deux échelles (amont-aval )

He : Hauteur à l'échelle (en M. I.G.N.)

Rh : Rayon Hydraulique

Pm : Périmètre mouillé

Vms : Vitesse moyenne de surface

Vmoy: Vitesse moyenne de la section



### Courbes de tarage sur l'axe Gorom-Lampsar.

Stations	Équation de tarage (Débita en m <sup>3</sup> /s)	Paramètres
Ross-Béthio aval	$Q = 121,4 \cdot (H - H_0)^{2,38}$	H = différence de charge entre R Béthio et Ndiol en m, $H_0 = 0,25m$
Ndiol aval (écoulement aval -> amont)	$Q = 5,41 H^{0,36}$	H = différence de charge entre Ndiol aval et Bango en m
Ndiol aval (écoulement amont -> aval)	$Q = 1,11mGH^{0,5}$	H = différence de hauteur entre l'amont et l'aval de la station en m. G = ouverture vanne (m), $m = 0,615 + 0,007 \cdot 2^{5-3,2811}$
Dakar Bango	$Q = 1,84 \cdot L \cdot n \cdot (H + 0,381D) \cdot Z^{0,5}$	H = charge radier amont (m) D = charge radier aval (m) Z = différence de niveaux amont-aval (m), L = largeur de passe (m)
Ndiawdoune	$Q = 9,53 \cdot h \cdot H^{2/3}$	h = charge entre Bango et côte radier (m) H = charge au dessus du radier (m)

### Corrélations entre les hauteurs d'eau de différentes stations

$$H_{\text{bango}} = 0,8468 \cdot H_{\text{Ndiol}} - 11,3.$$

$$r^2 = 0,992$$

$$H_{\text{Ndiawdoune}} = 0,9384 \cdot H_{\text{Bango}} - 38,1 \text{ si } H_{\text{Bango}} \leq 129 \text{ cm}$$

$$r^2 = 0,99$$

$$H_{\text{Ndiawdoune}} = 1,0139 \cdot H_{\text{Bango}} - 48,2 \text{ si } H_{\text{Bango}} > 129 \text{ cm}$$

$$r^2 = 0,99$$

$$H_{\text{Ndiol aval}} = 0,8889 \cdot H_{\text{Bango}} - 42,0$$

$$r^2 = 0,99$$

$$H_{\text{Ndiol amont}} = 1,0714 \cdot H_{\text{R.Béthio}} - 50,4$$

$$r^2 = 0,99$$

$r$  = coefficient de corrélation

**'Table des illustrations**

	<b>Pages</b>
FIGURE 1 CARTE DE SITUATION DE LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL ET DES STATIONS DE RELEVÉS MÉTÉO	3
TABLEAU 1 MESURES D'ÉVAPORATION (mm/j) DANS LA VALLÉE	4
TABLEAU 2 BESOINS EN EAU GLOBAUX DE CULTURES (IRRIGUÉES)	7
TABLEAU 3 CARACTÉRISTIQUES HYDRIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DES SOLS DE LA VALLÉE	8
TABLEAU 4 COEFFICIENTS DE RÉPONSE DU RENDEMENT POUR DIFFÉRENTES ESPÈCES CULTURALES	10
FIGURE 2 VALLÉE DU FLEUVE ET SECTEURS DE RÉFÉRENCE	16
TABLEAU 5 DONNÉES HYDROLOGIQUES/ AXE GOROM-LAMPSAR EN JUIN 96	22
TABLEAU 6 DONNÉES HYDROLOGIQUES/ AXE GOROM-LAMPSAR EN SEPTEMBRE 96	25

## Références bibliographiques

- <sup>1</sup>Développement de la recherche agronomique dans le bassin du fleuve Sénégal OMVS-F.A.O., 1976
- ‘Atlas agro-climatique de la zone du CILLS/Centre AGRHYMET NIAMEY
- <sup>3</sup>Projet Gestion de l’eau. Coopération KULeuven/SAED. Rapport final. SAED, Centre de Ndiye Octobre 1993
- <sup>4</sup>Quelques données climatiques sur la vallée du fleuve Sénégal- Eric Pierard, F. A. O. ISRA ASECNA - CSS. 1995.
- ‘Mesures d’évapotranspiration potentielle et d’évaporation d’une nappe d’eau libre au Sénégal. C Dancette, IRAT, CNRA Bambey Agronomie Tropicale Octobre-Décembre 1976
- ‘Rapport annuel de la campagne hydrologique. Division Régionale de l’Hydraulique de St Louis. 1991, 1992, 1993, 1994.
- <sup>7</sup>Les besoins en eau des cultures. Bulletin F.A.O. d’irrigation et de drainage N° 34. J Doorenbos, W.O.Pruit Rome 1976.
- ‘Bilan d’eau et coût d’énergie de périmètres rizicoles. Projet Gestion de l’eau. Bulletin technique N° 6. SAED, Centre de Ndiye Juillet 1993.
- ‘Résumé des acquis techniques en matière de diversification des cultures annuelles dans la vallée du fleuve Sénégal. J DINTINGER, Mai 1993
- ‘@Rapport de synthèse 1983 du programme hydraulique Agricole Fleuve - Centre de recherches agricoles- Richard-Toll. Août 1983.
- \*‘Evaluation des quantités d’eau nécessaires aux irrigations. Ministère Français de la Coopération
- <sup>12</sup> Direction de Recherches sur les cultures et systèmes irrigués, ISRA-St Louis, Rapport annuel 1993.
- <sup>13</sup>Réponse des rendements à l’eau. Bulletin F.A.O. d’irrigation et de drainage N° 33 J Doorenbos, A. H. Kassam. F.A.O.. Rome 1987
- <sup>14</sup>Les bases scientifiques du drainage. Jean Luc DEVILLERS, ENSSAA (France) 1974.
- <sup>15</sup>Opération de recherche développement pour l’amélioration de la production rizicole et la préservation de la ressource en sols. Rapport final. ORSTOM/ISRA, Mars 1996.
- <sup>16</sup>Étude expérimentale du développement agricole. Rapport final, JICA, Février 1991
- <sup>17</sup>La mécanisation de l’irrigation par aspersion. Bulletin FAO d’irrigation et de drainage Lionel Rolland. Rome 1980
- <sup>18</sup>‘Irrigation au goutte à goutte. Étude au champs de quelques systèmes de goutteurs. T M DUC, J. SENE ISRA-CNRA-Bambey 1978.
- ‘Technique d’irrigation goutte à goutte : Test du goutteur TLROSH. Par Medoune BIEYE, ISRA CNRA. Août 1980.
- <sup>20</sup> Etude de la salinité à Thiagar. Johan Ceupens, M. Wopereis Abdourahmane Kane. SAED/DPDR - ADRAO. St Louis 1995
- <sup>21</sup> Gestion paysanne de l’irrigation dans la vallée du fleuve Sénégal : implication pour la conception des aménagements hydro-agricoles. G. Diemer, F. P. Huibers. 1991
- <sup>22</sup> La dégradation des terres irriguées dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Mécanismes, état et modes de caractérisation. Pascal Boivin, Avril 1995