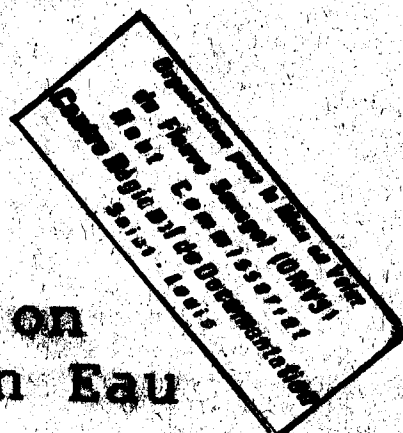


# 09539

Projet Gestion de l'Eau  
Coopération Scientifique KULeuven - SAED

en collaboration avec  
La direction de la Météorologie Nationale  
Le projet AGRHYMET



## Determination des Besoins en Eau

Zone de la  
Vallée du fleuve Sénégal

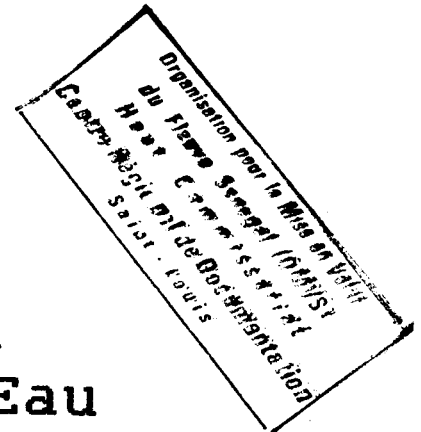
Bulletin Technique n° 7  
Juillet 1993.  
SAED - Centre de Ndiaaye  
BP. 74, Saint-Louis, Sénégal

09539

Projet Gestion de l'Eau  
Coopération Scientifique KULeuven - SAED

---

en collaboration avec  
La direction de la Météorologie Nationale  
Le projet AGRHYMET



# Determination des Besoins en Eau

---

Zone de la  
Vallée du fleuve Sénégal

---

Bulletin Technique n° 7  
Juillet 1993.  
SAED - Centre de NDiaye  
BP. 74, Saint-Louis, Sénégal



Détermination des Besoins en Eau.  
Zone de la Vallée du fleuve Sénégal.  
Projet Gestion de l'Eau, Bulletin Technique n° 7. 1993.  
SAED - Centre de NDiaye, Saint-Louis, Sénégal.

---

Rédigé par :

▪ Dirk RAES, Boubacar SY et Jan VANDERBORGHT,

en collaboration avec :

- La direction de la Météorologie Nationale, et
- Le projet AGRHYMET.

# Table des matières

<b>1. Introduction</b>	
1.1 Objectif .....	1
1.2 Stations météorologiques .....	1
<b>2. Précipitation</b>	
2.1 Données .....	3
2.2 Précipitations hivernales .....	3
▪ Hauteur .....	3
▪ Test d'homogénéité .....	4
▪ Variation interannuelle .....	7
▪ Analyse fréquentielle .....	7
2.3 Caractère des pluies .....	8
▪ Hauteur .....	8
▪ Nombre de jours de pluie .....	9
▪ Intervalle entre pluies .....	10
2.4 Précipitations décennales .....	11
▪ Hauteur décennale .....	11
▪ Test d'homogénéité .....	12
▪ Variation interannuelle .....	12
▪ Analyse fréquentielle .....	13
<b>3. Evapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>)</b>	
3.1 Données .....	16
3.2 Facteurs climatiques .....	17
▪ Rayonnement solaire .....	17
▪ Température de l'air .....	17
▪ Humidité de l'air .....	18
▪ Vitesse du vent .....	20
3.3 Calcul de l'ET <sub>0</sub> .....	20
<b>4. Besoins en eau</b>	
4.1 Objectif .....	21
4.2 Cultures pluviales .....	21
4.3 Méthodologie .....	23
▪ Besoins nets en eau d'irrigation .....	23
▪ Besoins bruts en eau d'irrigation .....	24
4.4 Cultures maraîchères et Maïs .....	24
▪ Besoins nets en eau d'irrigation .....	24
▪ Besoins bruts en eau d'irrigation .....	26
4.5 Riz .....	29
▪ Besoins nets en eau d'irrigation .....	29
▪ Besoins bruts en eau d'irrigation .....	32
▪ Les efficacités de l'irrigation .....	32
<b>Références</b> .....	35
<b>Annexe - Hauteurs des précipitations décennales</b> .....	36

# Chapitre 1. Introduction

## 1.1 Objectif

Après l'analyse des niveaux d'évapotranspiration et de probabilité d'occurrence de pluies dans différents endroits du delta et à différentes périodes de l'année (Raes et SY, 1992), une étude similaire est effectuée pour la zone de la vallée du fleuve Sénégal. Les analyses permettront de mieux cerner le climat en vue d'une bonne élaboration d'une stratégie d'irrigation.

De l'analyse des précipitations et de l'évapotranspiration, il a été tenté de voir s'il était possible, sans irrigations d'appoints, de boucler des cycles de cultures strictement pluviales. Avec la connaissance de ces mêmes paramètres (pluie et évapotranspiration), une estimation des besoins en eau d'irrigation a été effectuée pour des cultures maraîchères, le maïs et pour la riziculture. Ces estimations tiennent compte aussi d'autres paramètres non moins importants tels que les facteurs liés à la culture (date de semis, longueur du cycle, coefficients culturaux, etc.) et ceux liés au sol (texture, percolation, salinité, etc.).

## 1.2

### Stations météorologiques

Pour la réalisation de cette étude, la SAED par la biais du projet Gestion de l'Eau a fait appel à l'ASECNA (Dakar) pour avoir accès aux données de ses stations météorologiques implantées dans la vallée. Les stations de Dagana, Podor, Haïré-Lao, Matam et Bakel ont été retenues. La position géographique de ces stations (Tableau 1, Figure 1) permet une couverture intégrale de la zone étudiée. Toutes les stations possèdent une banque de données de la précipitation journalière. Les facteurs climatiques, nécessaires pour faire une bonne estimation de l'évapotranspiration, ne sont observés par contre qu'à Podor, Matam et Bakel.

Une collaboration fructueuse s'est instaurée entre la SAED et l'ASECNA pour mieux estimer le niveau d'évapo-

transpiration et la probabilité d'occurrence de pluies dans la zone de la vallée du fleuve Sénégal.

Tableau 1.  
Coordonnées des station météorologiques.

Stations	Latitude (degrés)	Longitude (degrés)	Altitude (m)
Dagana	16°31'N	15°30'W	5
Podor	16°39'N	14°56'W	6
Haïré-Lao	16°24'N	14°19'W	11
Matam	15°38'N	13°15'W	15
Bakel	14°54'N	12°28'W	25

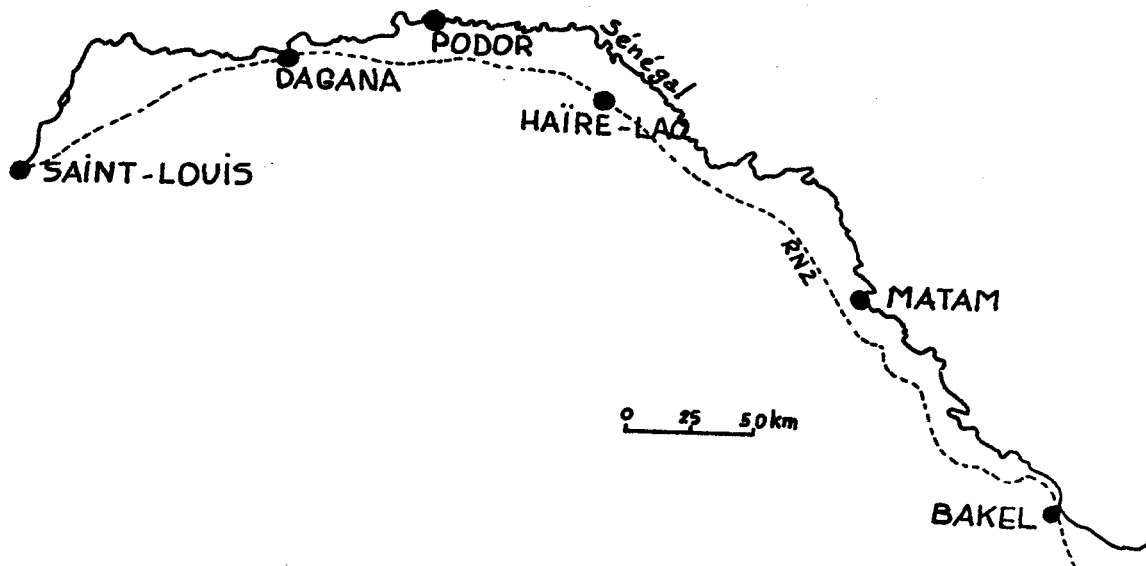


Figure 1.  
Position géographique des stations météorologiques.

## Chapitre 2. Précipitation

### 2.1 Données

L'analyse des précipitations a concerné la période au cours de laquelle la sécheresse a commencée à sévir dans la vallée du fleuve Sénégal jusqu'à nos jours (1968-1990). La série des précipitations de ces 23 ans a été analysée pour les stations de Dagana (limite entre le Delta et la Vallée), Podor, Haïré-Lao, Matam et Bakel. Pour l'analyse on a utilisé les données journalières, les totaux décadaires et hivernaux de ces stations. Pour Podor l'année 1986 était incomplète, et à Haïré-Lao, les années 1971, 1985 et 1986 manquaient.

Dans cette étude, uniquement la précipitation hivernale est analysée. A part quelques faibles pluies isolées, la précipitation est limitée à cette période dans la zone considérée.

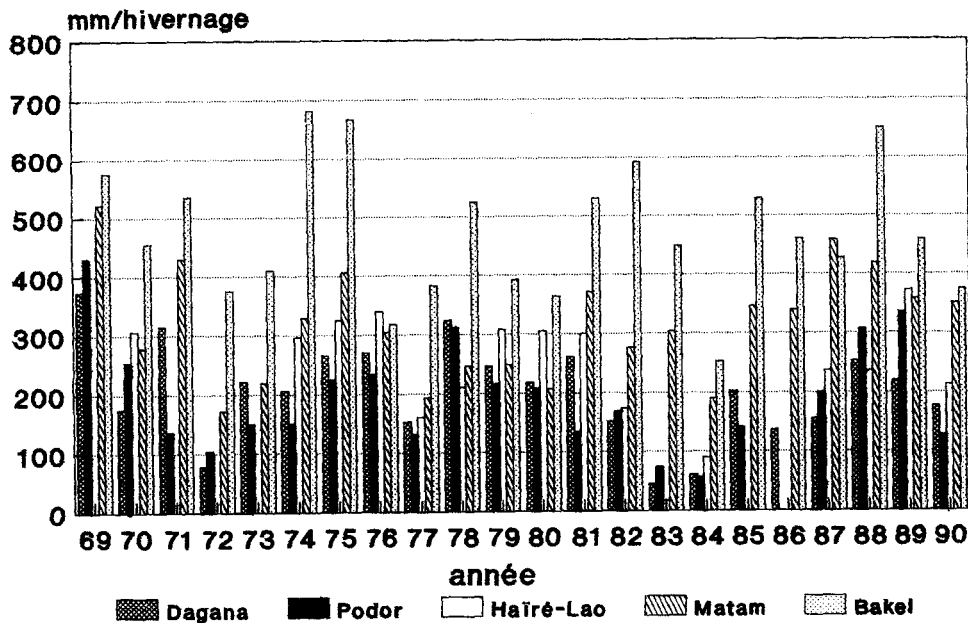
### 2.2 Précipitations hivernales

#### Hauteur

Dans le Tableau 2, la moyenne des précipitations hivernales pour les cinq stations est représentée. Les moyennes augmentent du Nord au Sud.

Tableau 2.  
Moyenne des précipitations hivernales (1968-1990).

Stations	(mm)
Dagana	205
Podor	195
Haïré-Lao	243
Matam	317
Bakel	473



**Figure 2.**  
**Hauteurs des précipitations hivernales.**

Un histogramme donnant les précipitations hivernales dans le temps et pour les cinq stations est représenté dans la Figure 2. Cette figure fait ressortir non seulement la variation des pluies dans le temps, mais aussi la variation d'une station à l'autre.

### **Test d'homogénéité**

Le test d'homogénéité est basé sur les déviations cumulatives des données d'une série à partir de la moyenne de cette série (Raes et Sy, 1992). Si la série est homogène, les déviations fluctueront autour de zéro, parce qu'une déviation systématique des valeurs par rapport à leur moyenne ne se produira pas.

Dans les Figures 3 et 4 les déviations cumulatives de la série de 22 ans par rapport à la moyenne des précipitations hivernales de Dagana, Podor, Haïré-Lao, Matam et Bakel sont dessinées, avec indications des lignes donnant la probabilité de rejet de l'homogénéité de ces séries.

Le test montre que les séries de Podor, Haïré-Lao, Matam et Bakel sont homogènes et peuvent être retenues pour des analyses fréquentielles. Par contre l'homogénéité de la série de 22 ans de Dagana est rejetée. L'année de changement (1981) est la-même de celle-ci de Richard-Toll (Raes

et Sy, 1992). C'est une année charnière qui divise la série des observations en une période humide (1969-1981) et sèche (1982-1990). Une détérioration due à la sécheresse n'est pas perçue aux autres stations.

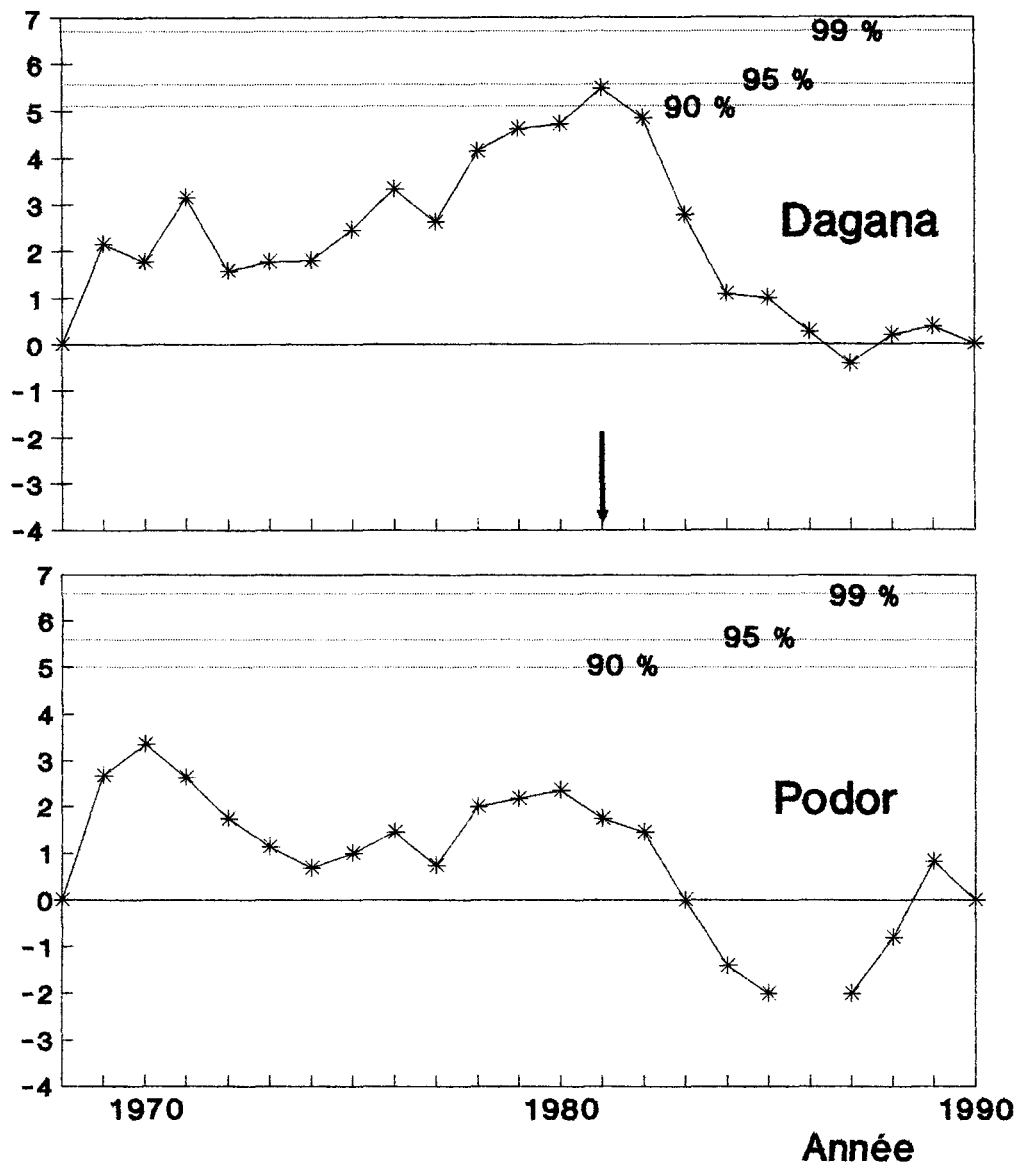


Figure 3.  
Déviations cumulatives des données de la série des précipitations hivernales de Dagana et Podor.

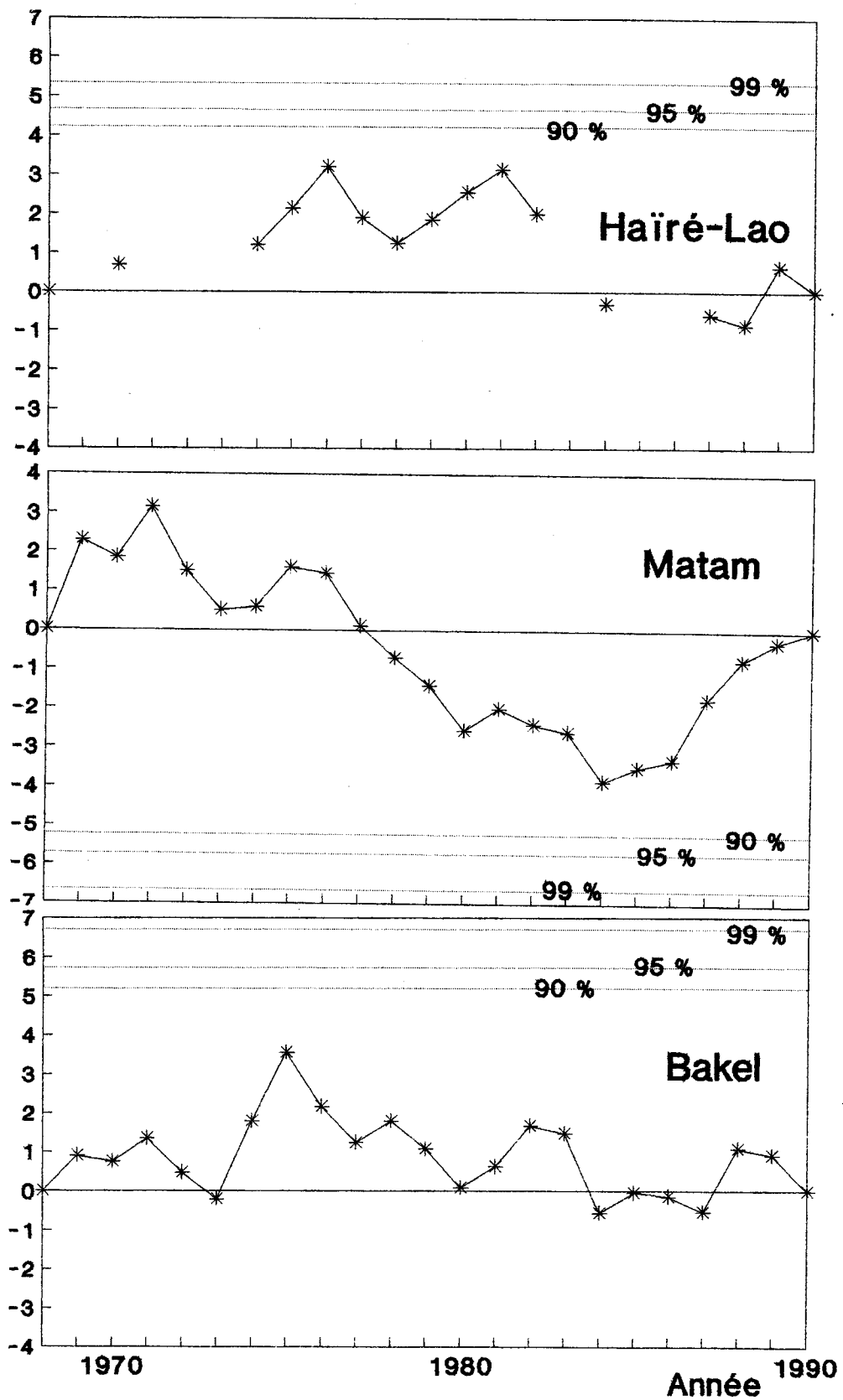


Figure 4.  
Déviations cumulatives des données de la série des  
précipitations hivernales de Haïré-Lao, Matam et Bakel.

## Variation interannuelle

Afin de cerner l'ampleur des variations interannuelles, le coefficient de variation et l'intervalle de variation des séries de précipitations hivernales sont représentés dans le Tableau 3. L'intervalle de variation est la différence entre le maximum et le minimum de la série des précipitations hivernales et le coefficient de variation donne une mesure de la variabilité dans les données, exprimée en pourcentage de la valeur moyenne.

Tableau 3.  
Le coefficient de variation et l'intervalle de variation  
des séries des précipitations hivernales.  
(période : 1968-1990).

Stations	Moyenne des Précipitations (mm)	Coefficient de variation (%)	Intervalle de variation (mm)
Dagana (69-81)	239	31	296
Dagana (82-90)	156	42	209
Podor	195	46	374
Haïré-Lao	243	38	356
Matam	317	29	351
Bakel	473	24	399

Les valeurs de l'intervalle et du coefficient de variation laissent entendre que les précipitations sont assez bien variables d'une année à l'autre et ceci pour les cinq stations. Le niveau de cette variation est quant-même tout à fait dans les normes (Jones, 1981).

## Analyse fréquentielle

Les résultats de l'analyse fréquentielle, obtenus à l'aide du logiciel RAINBOW (Raes et al., 1990), sont reportés dans la Figure 5. Elle présente les hauteurs de précipitations hivernales qui seront dépassées pour un niveau donné de probabilité. Cette probabilité est exprimée en nombre d'années sur 10 (ce qui correspond avec les pourcentages).

En considérant la non-homogénéité de la série de 22 ans de Dagana, on ne dispose que de deux petites séries pour cette localité : 1969-1981 et 1982-1990. Parce que l'analyse de telles courtes séries ne peuvent donner que des approximations, les résultats ne sont pas retenus. Avec de longues séries homogènes de données de Podor, Haïré-

Lao, Matam et Bakel, on peut se faire une bonne idée de la précipitation totale à laquelle on peut s'attendre. Mais pour apprécier la signification de ces pluies, il faut en plus connaître le caractère des pluies et la répartition dans le temps de ces mêmes pluies.

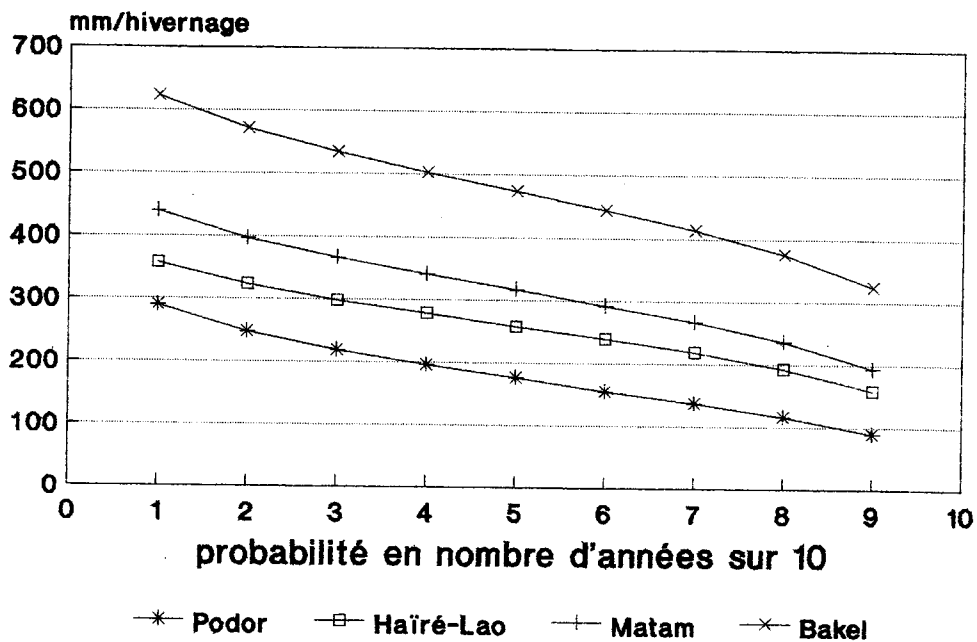


Figure 5.  
Probabilité de dépassement d'une certaine hauteur des précipitations hivernales (période : 1968-1990).

## 2.3 Caractère des pluies

### Hauteur

L'étude des hauteurs de précipitations est effectuée en rangeant les pluies par classe. Les cinq classes retenues dans le Bulletin Technique n°5 sont reprises. La Figure 6 donne la probabilité d'occurrence de chaque classe pendant l'hivernage.

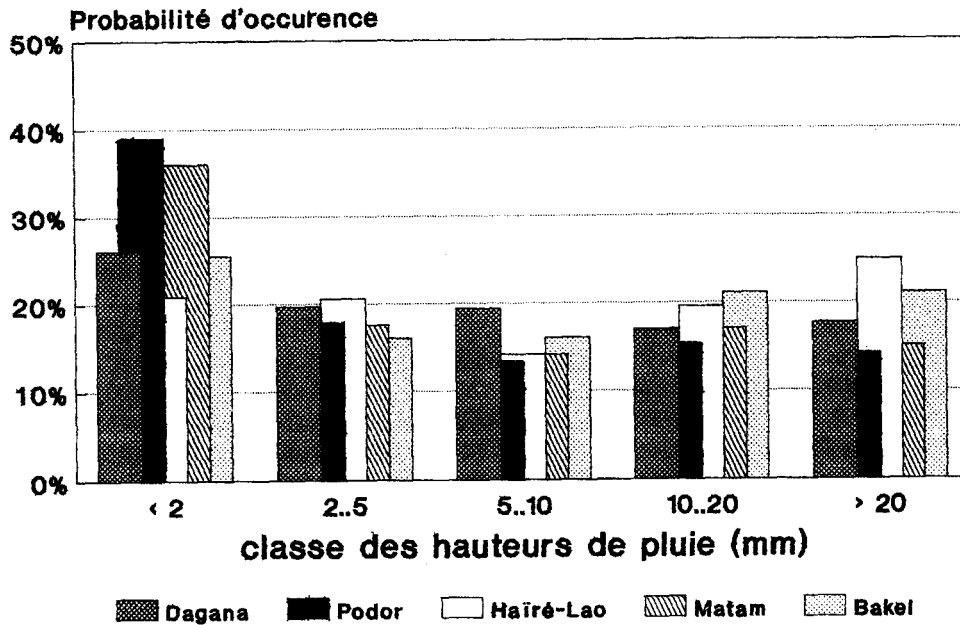


Figure 6.  
Probabilité d'occurrence d'une hauteur de pluie.  
(période : 1968-1990).

De ce classement il ressort que :

- en gros, une pluie sur deux est inférieure à 5 mm (donc des pluies de peu d'importance pour l'agriculture),
- les pluies très importantes, supérieures ou égales à 20 mm, représentent environ 20 pour cent des pluies.

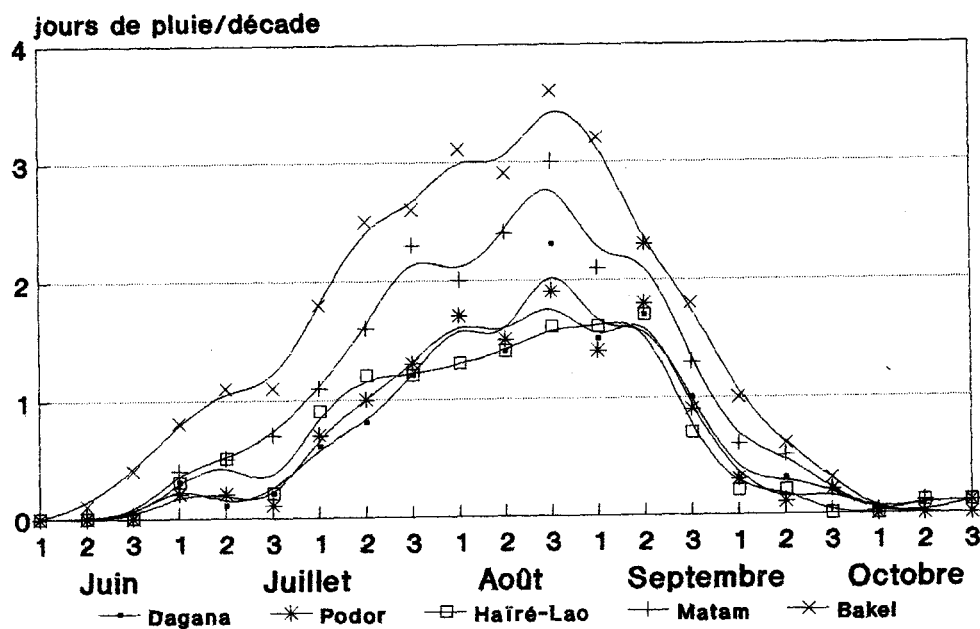
Dans le delta (Raes et Sy, 1992), les mêmes résultats ont été trouvés.

### Nombre de jours de pluie

Les moyennes du nombre de jours de pluie dans un hivernage, en négligeant les pluies très faibles, sont représentées dans le Tableau 4. De manière générale, les pluies augmentent du Nord vers le Sud. La Figure 7 donne la moyenne décadaire du nombre de jours de pluie ( $\geq 2$ mm) en fonction du temps. En plein hivernage il pleut une à deux fois par décade à Dagana, Podor et Haïré-Lao. En se dirigeant vers le Sud, le nombre décadaire de jours de pluie augmente.

**Tableau 4.**  
**Moyenne hivernale du nombre de jours ayant une pluie**  
**égale ou supérieure à 2 mm (période 1968-1990).**

Station	Nombre
Dagana	14
Podor	13
Haïré-Lao	13
Matam	21
Bakel	29



**Figure 7.**  
**Moyenne décadaire du nombre de jours ayant une pluie**  
**égale ou supérieure à 2 mm (période 1968-1990).**

### Intervalle entre pluies

Dans le Tableau 5 il est représenté la probabilité d'avoir au moins une pluie, égale ou supérieure à 2mm, dans un espace de temps donné et ceci pour chaque mois de l'hivernage.

De cette étude il ressort que l'intervalle entre les pluies est assez important à Dagana, Podor et Haïré-Lao. Ceci n'est pas sans poser de grands problèmes pour des

cultures pluviales dans cette zone de forte évapotranspiration. Les rendements escomptés avec ces cultures ne peuvent qu'être très faibles. A Matam et Bakel, malgré qu'il pleut plus fréquemment, la probabilité d'avoir des pluies régulières avec un intervalle de 1 à 3 jours, n'est aussi pas si élevée. Elle dépasse les 50 pour cent uniquement en Août et Septembre.

**Tableau 5.**  
**Probabilité d'avoir au moins une pluie égale ou**  
**supérieure à 2mm dans un espace de temps donné.**  
**(période : 1968-1990).**

Espace de temps	Station	Probabilité (%)				
		Juin	Juill	Août	Sept	Oct
1 à 3 jours	Dagana	5	27	51	42	15
	Podor	0	31	48	39	31
	Haïré-Lao	24	26	46	42	17
	Matam	24	44	60	52	23
	Bakel	28	49	65	56	36
1 semaine	Dagana	11	58	75	73	31
	Podor	5	59	73	73	38
	Haïré-Lao	29	58	71	78	33
	Matam	38	77	82	80	50
	Bakel	58	82	91	90	67
2 semaines	Dagana	16	71	92	93	77
	Podor	5	82	89	93	62
	Haïré-Lao	41	84	85	95	67
	Matam	66	91	98	94	77
	Bakel	84	97	100	98	87

## 2.4

### Précipitations décadaires

#### Hauteur décadaire

Dans la Figure 8 les moyennes des hauteurs de pluies décadaires sont représentées pour les cinq stations. Les pluies augmentent du simple au double du Nord vers le Sud.

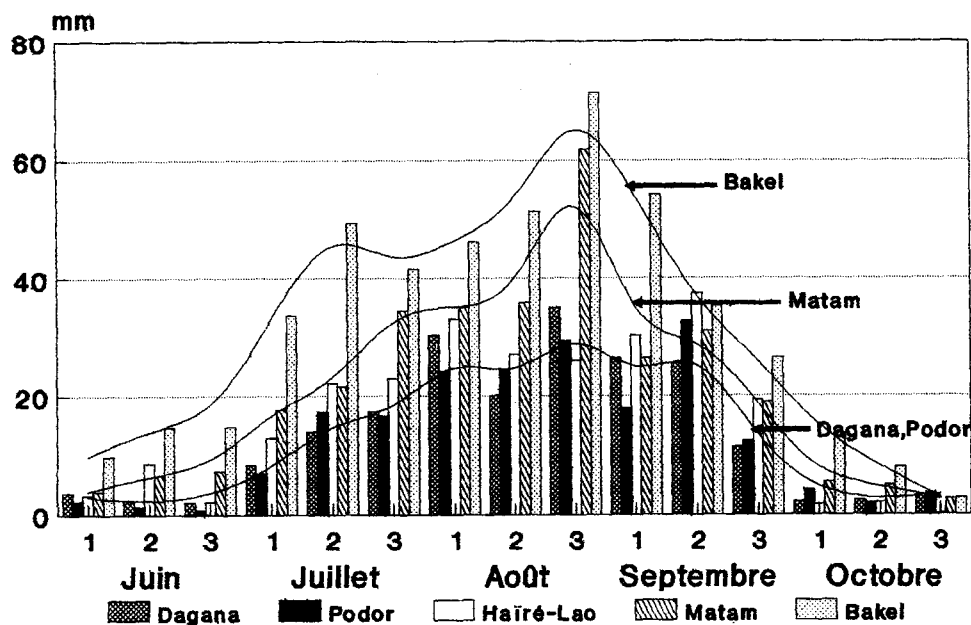


Figure 8.  
Moyenne des précipitations décadaires.  
(période : 1968-1990).

### Test d'homogénéité

A l'exception de deux séries décadaires, les séries des précipitations de chaque décade de 1969 à 1990 sont homogènes pour toutes les cinq stations. A Matam c'est la troisième décade de Juin qui ne peut pas être considérée comme homogène. Elle est devenue plus humide à partir de 1983. A Bakel les précipitations ont nettement diminué dans la première décade d'Août et ceci à partir de 1975. Ces deux séries décadaires sont exclues de l'analyse fréquentielle.

### Variation interannuelle

Dans la Figure 9 les coefficients de variation de chaque décade et station sont tracés. Ce coefficient exprime la diversité des hauteurs de pluie d'une année à l'autre et ceci pour chaque décade. Ils sont très élevés au début et à la fin de l'hivernage. Même en période d'installation effective des pluies, ils sont encore de 100 pour cent.

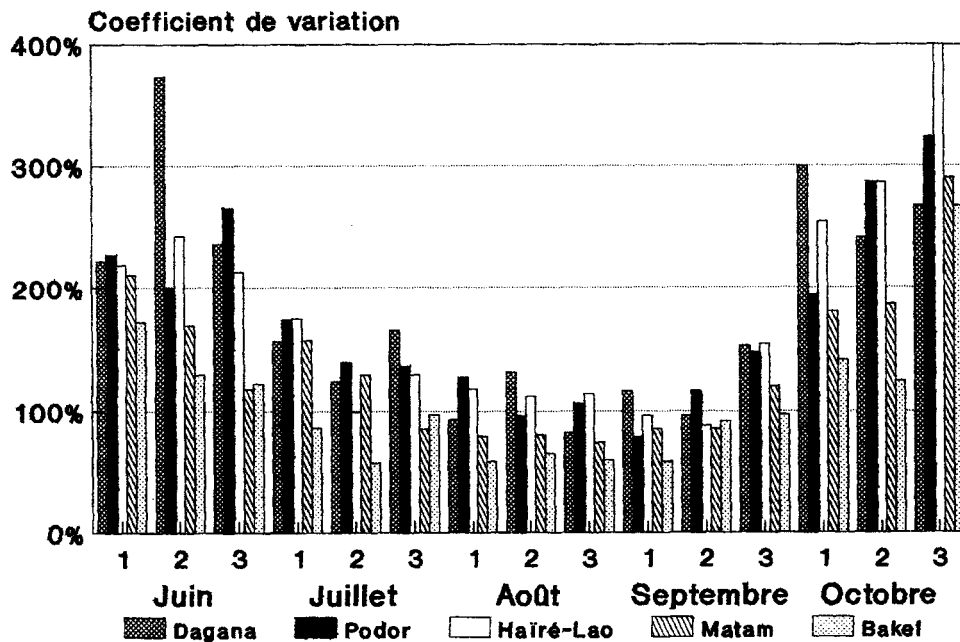


Figure 9.  
Coefficient de variation des séries  
de précipitations décadaires (période : 1968-1990).

## Analyse fréquentielle

Les résultats de l'analyse fréquentielle des données des séries décadaires de 23 ans (1968-1990) de Dagana, Podor, Haïré-Lao, Matam et Bakel, obtenus à l'aide du logiciel RAINBOW, sont reportés en Annexe dans les Tableaux 10, 11, 12, 13 et 14. Elles indiquent les hauteurs de précipitations décadaires qui seront dépassées pour un niveau donné de probabilité. Cette probabilité est exprimée en nombre d'années sur 10 (ce qui correspond avec les pourcentages).

Dans les Figures 10 et 11 les résultats de l'analyse fréquentielle sur les séries décadaires sont résumés. Dans chaque figure sont représentées trois courbes correspondant à des hauteurs de précipitations décadaires auxquelles on peut s'attendre avec trois différentes probabilités :

- La courbe correspondant à une occurrence de 5 ans sur 10, est nommée «Décade Normale»,
- La courbe nommée «Décade Humide», représente les hauteurs de précipitations qu'on ne dépasse que 2 ans sur 10, et
- La courbe nommée «Décade Sèche», représente les hauteurs de précipitations qu'on n'atteint pas 2 ans sur 10.

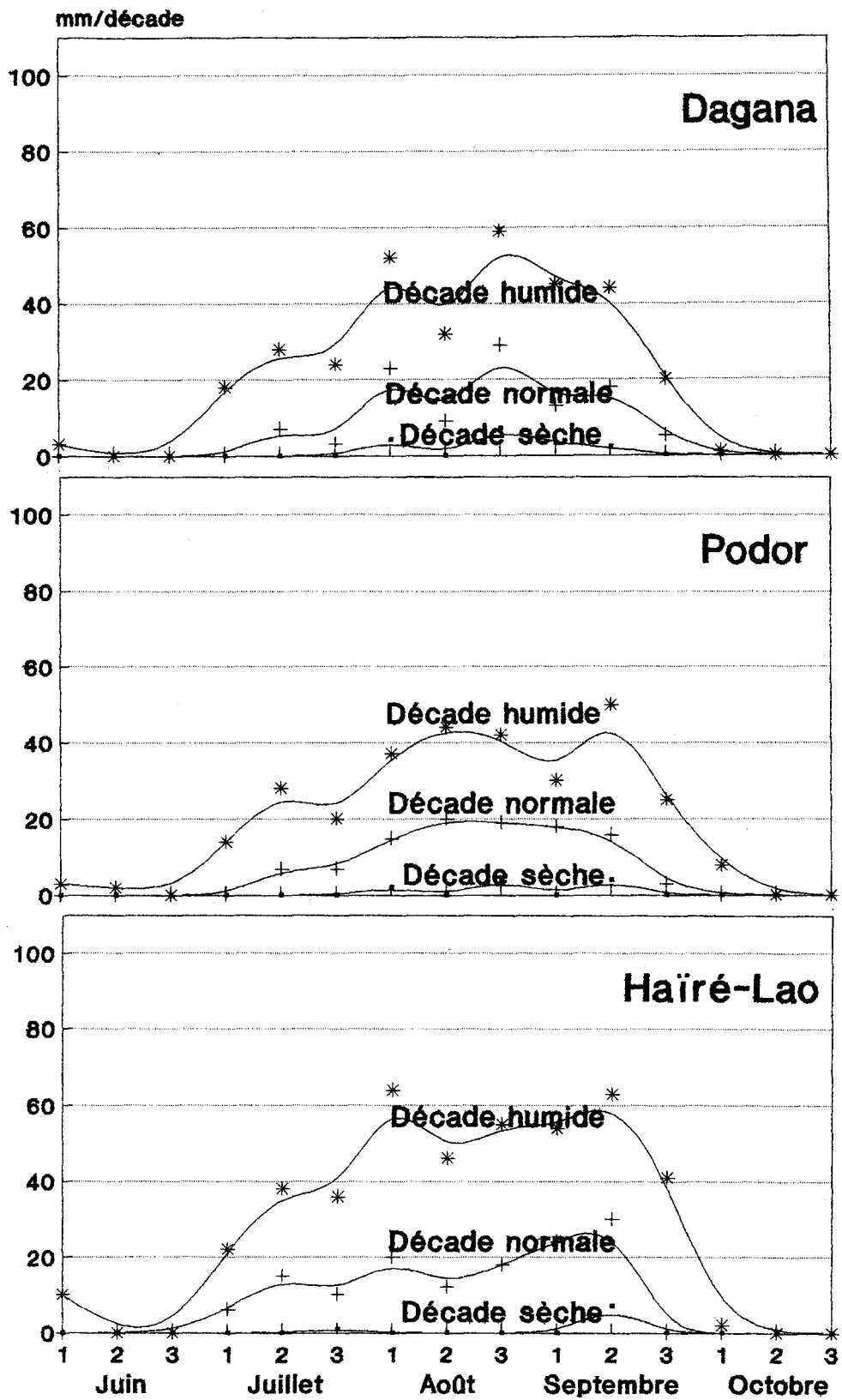


Figure 10.

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

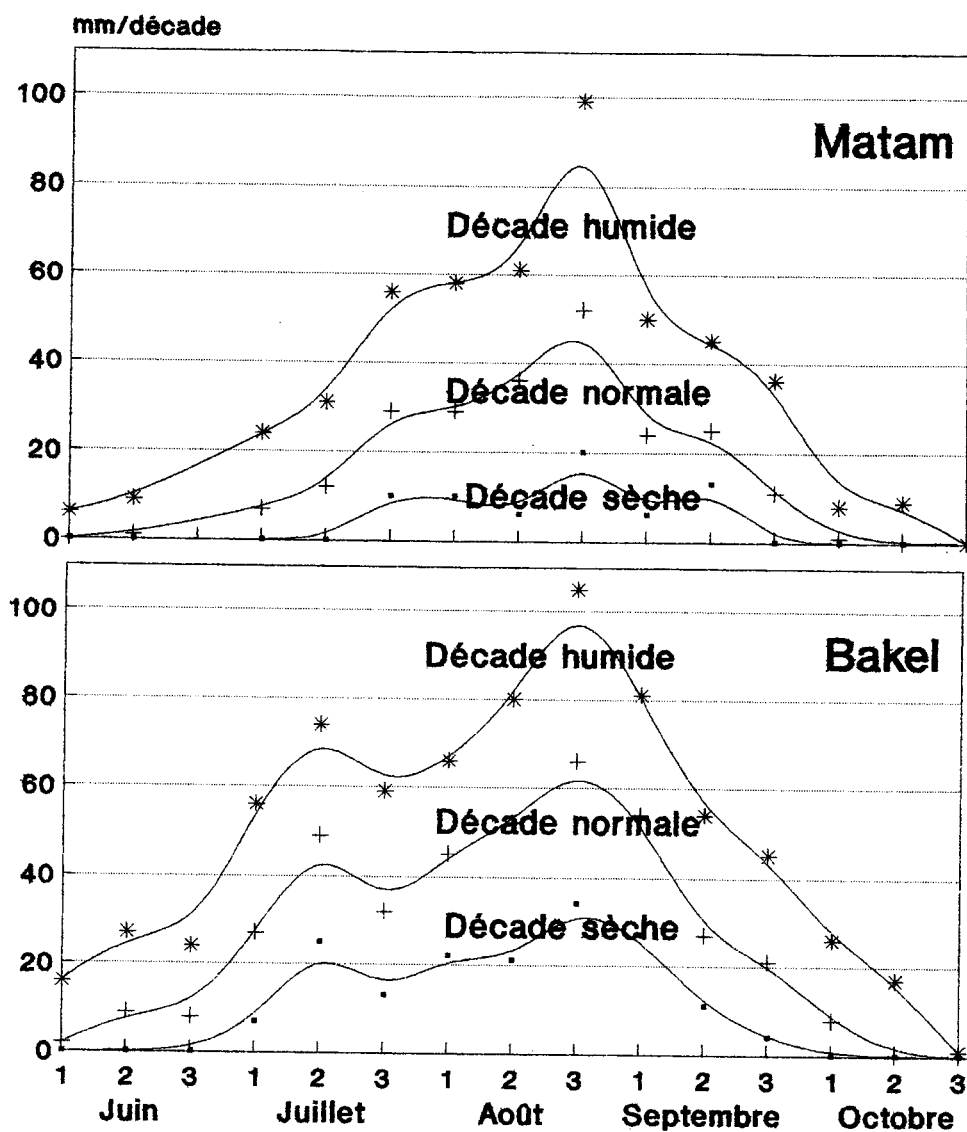


Figure 11.  
Hauteurs de précipitations décadaires escomptées  
avec trois différentes hypothèses à Matam et Bakel.  
(période : 1968-1990).

L'analyse fréquentielle étant effectuée décade par décade, il est évident qu'une saison sèche n'est pas composée d'une succession de décades sèches, ni une saison humide, de décades humides.

La méthode de Penman est utilisée pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>). Cette méthode incorpore dans son équation les principaux facteurs climatiques influençant le taux d'évapotranspiration, à savoir le rayonnement solaire, la température de l'air, l'humidité de l'air et la vitesse de vent. Les séries des valeurs mensuelles de ces facteurs climatiques des années 1968 à 1990 ont été utilisées dans l'analyse. Parce que toutes les séries ne sont pas complètes (Tableau 6), il est impossible de faire les calculs pour tous les mois de la série.

**Tableau 6.**  
**Disponibilité des données météorologiques.**

[illegible][illegible]

BAKEL																												
Année	68	9	70	1	2	3	4	5	6	7	8	9	80	1	2	3	4	5	6	7	8	9	90	1				
Temp.	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																										
Rayonn	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx													xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx														
HR.	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx													xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx														
Vent	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx																											

## 3.2 Facteurs climatiques

### Rayonnement solaire

La durée d'insolation réelle ( $n$ ), mesurée avec un héliographe Campbell-Stokes, est reportée dans la Figure 12. Les valeurs sont mises en rapport avec l'insolation maximale théorique ( $N$ ) qui est la durée du jour. L'insolation relative ( $n/N$ ) est de l'ordre de 70 pour cent. Une baisse de l'insolation réelle est notée entre mai et août, et août et octobre.

Le coefficient de variation, exprimant la variation interannuelle des moyennes mensuelles, est de l'ordre de 10 pour cent. la variation est la plus faible pendant l'hivernage et la plus forte en contre-saison froide et en mai.

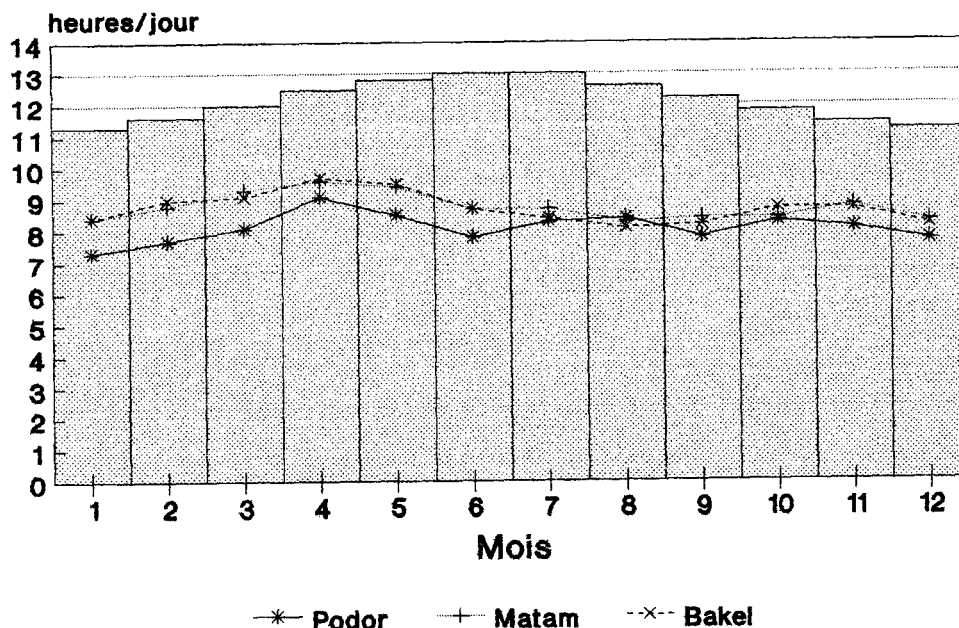


Figure 12.  
L'insolation réelle (lignes) en rapport avec  
l'insolation maximale théorique (barres).

### Température de l'air

La moyenne des valeurs mensuelles de la température minimale et maximale de l'air est reportée dans la Figure 13. L'amplitude diurne de la température est forte. Elle

monte en pleine contre-saison jusqu'à 17°C. Les températures de la contre-saison chaude sont plus élevées à Bakel et Matam qu'à Podor. Par contre, l'hivernage est plus chaud à Podor qu'à Matam et Bakel.

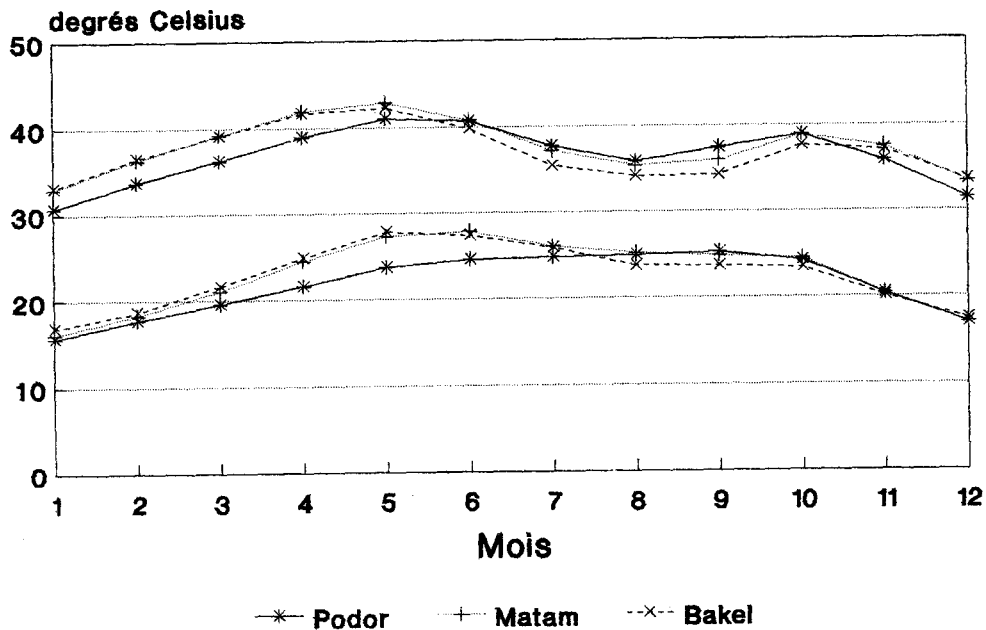


Figure 13.  
Température de l'air.

La variation inter-annuelle des moyennes mensuelles n'est pas très élevée. Le coefficient de variation est de l'ordre de 3 à 6 %.

### Humidité de l'air

La moyenne des valeurs mensuelles de l'humidité relative est reportée dans la Figure 14. La figure montre que l'humidité relative moyenne est de l'ordre de 60 à 70 pour cent pendant la saison des pluies et s'abaisse jusqu'à 30 pour cent en saison sèche.

Le coefficient de variation de l'humidité maximale est de l'ordre de 10 %, tandis que celui-ci de l'humidité minimale monte à 20 %.

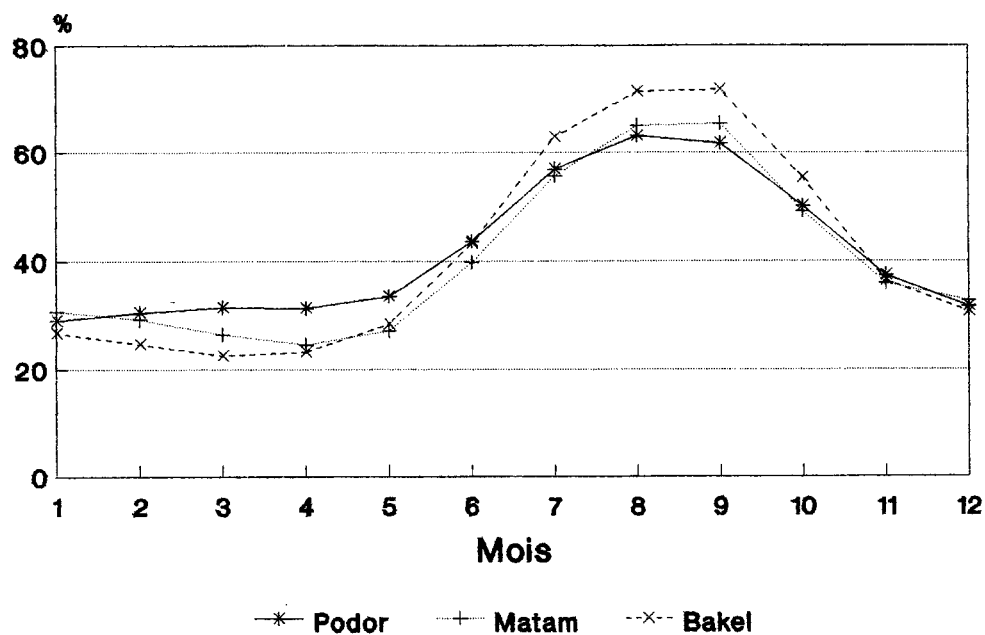


Figure 14.  
Humidité relative moyenne de l'air.

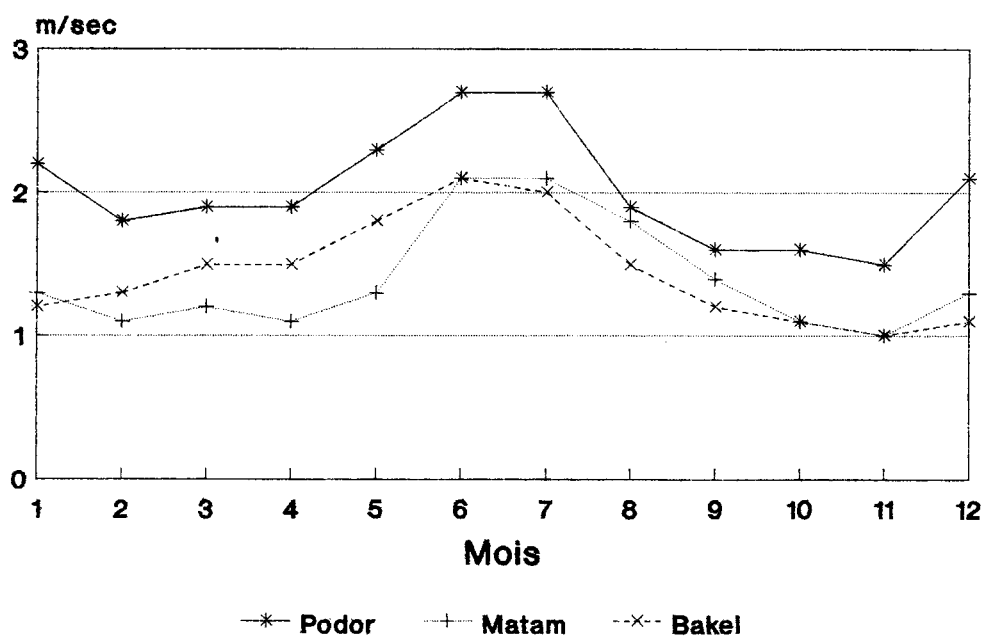


Figure 15.  
Vitesse du vent à 2 m du sol.

## Vitesse du vent

La moyenne des valeurs mensuelles de la vitesse du vent est reportée dans la Figure 15. Les vitesses du vent mesurées à 6 mètres de sol à Podor et à 10 mètres à Matam sont rapportées à deux mètres. La figure fait sortir que les vitesses sont les plus faibles en hivernage et atteignent leur maximum en contre-saison chaude.

## 3.3 Calcul de l'ET<sub>o</sub>

L'évapotranspiration de référence, ET<sub>o</sub>, est calculée à l'aide de la formule de Penman en utilisant les moyennes mensuelles de la température minimale et maximale, de l'humidité relative minimale et maximale, de l'insolation relative et de la vitesse du vent. Les coefficients proposés par Doorenbos et Pruitt (1977) sont utilisés. La moyenne des valeurs mensuelles d'ET<sub>o</sub> est reportée dans la Figure 16.

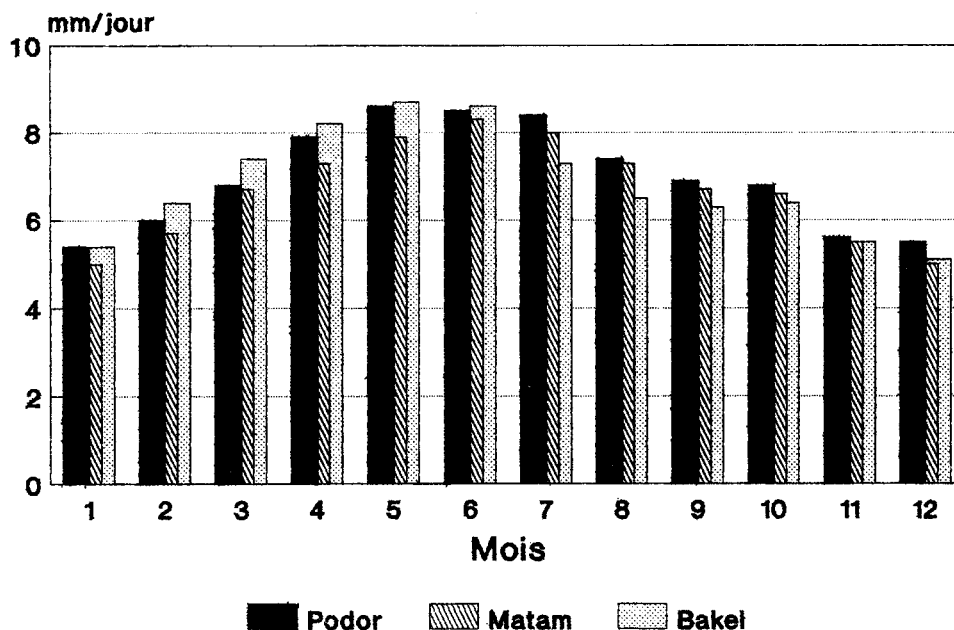


Figure 16.  
L'évapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>).

Vu que la variabilité inter-annuelle des principaux facteurs climatiques influençant le taux d'évapotranspiration est limitée, la variabilité inter-annuelle des valeurs mensuelles d'ET<sub>o</sub> ne sera non plus élevée. Le coefficient de variation est de l'ordre de 7 pour cent.

## Chapitre 4

### Besoins en Eau

#### 4.1 Objectif

Dans ce chapitre, les besoins en eau d'irrigation sont estimés, et ceci pour les cultures maraîchères, le maïs et la riziculture. Cette estimation est faite pour la saison hivernale et pour les périodes de contre-saison.

Avant l'établissement des besoins en eau il a tenté de voir s'il était possible de boucler des cycles de spéculations sans une irrigation d'appoint.

#### 4.2 Cultures Pluviales

La construction sur un même graphique (Figure 17) des courbes de pluviométrie et d'évapotranspiration permet d'analyser le déficit hydrique des cultures pluviales. Une précipitation décadaire égale à 50 pour-cent du taux d'évapotranspiration de référence ( $1/2$  ETo) peut être considérée comme équivalent aux besoins en eau d'une jeune plante. Une fois que la culture est bien développée, les besoins seront égaux ou supérieurs à ETo.

L'analyse de la figure 17 montre qu'il est impossible de boucler des cycles de spéculations sans une irrigation d'appoint à Podor et Matam. Les stress hydriques seront très importants et les chutes en rendements seront très considérables en conséquence.

A Bakel, la période de végétation active est en moyenne suffisamment longue pour des cultures à cycle court (sorgho, mil). La probabilité que les pluies décadaires à Bakel équilibrent la moitié et la totalité de l'évapotranspiration est indiquée dans la Figure 18. La comparaison entre les besoins en eau et la possibilité d'avoir autant de pluie montre quand même que le déficit hydrique d'une culture pluviale reste importante et que les rendements seront loin d'être optimaux. Même pas une année sur 2, les besoins en eau d'une culture en plein développement peuvent être entièrement satisfaits par les pluies en plein hivernage.

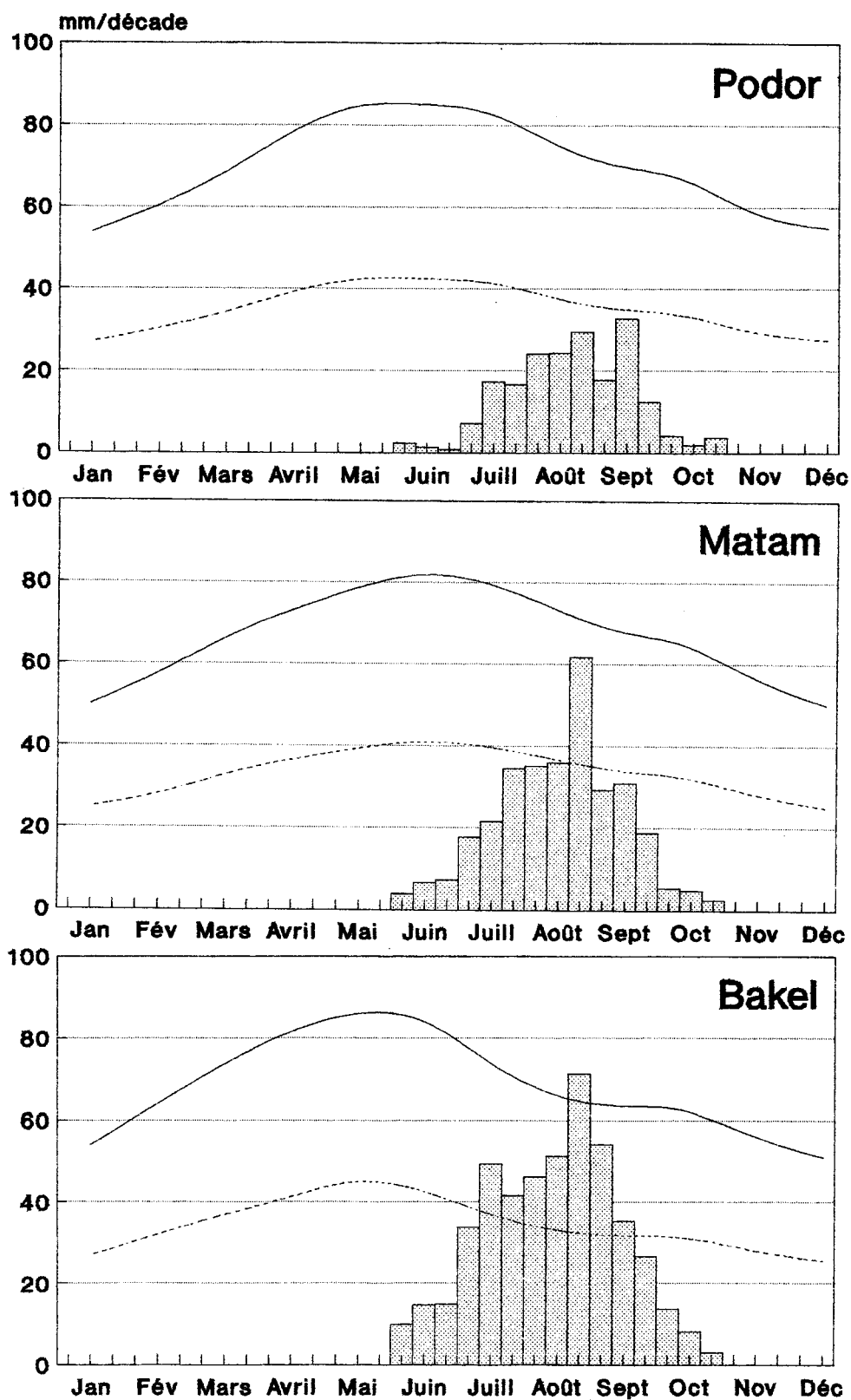


Figure 17.  
Le niveau décadaire d'évapotranspiration de référence (ligne continue), de sa moitié (ligne pointillée) et la moyenne des précipitations décadaires (barres).

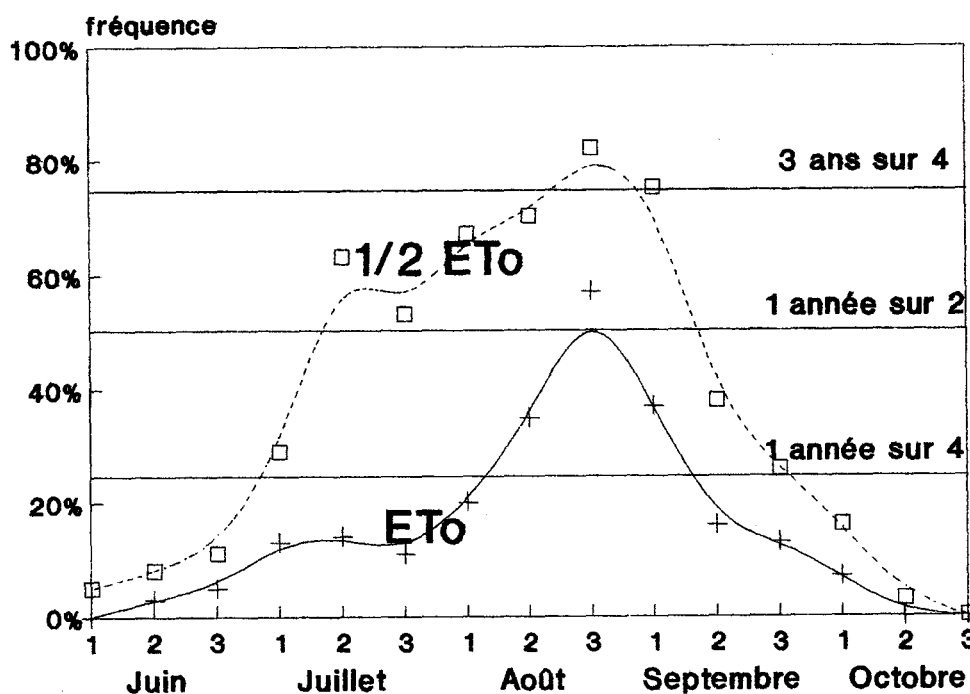


Figure 18.

Probabilité d'occurrence d'une pluie décadaire  
égale ou supérieure à 50 % et 100 % de l'ETO à Bakel.  
(Période : 1969-1990).

## 4.3 Méthodologie

### Besoins nets en eau d'irrigation

Les besoins nets en eau d'irrigation (Inet) expriment la quantité d'eau qui devra être apportée à la plante durant son cycle. Les calculs sont effectués en tenant compte des pertes et des gains d'eau par une source autre que l'irrigation :

$$\text{Inet} = \text{Pertes} - \text{Gains}$$

Les pertes d'eau sont constituées de l'évapotranspiration potentielle de la culture (ET<sub>culture</sub>) qui est calculée en multipliant l'évapotranspiration de référence (ETO) avec un coefficient cultural (kc). En riziculture il faudra en plus tenir compte de l'eau nécessaire pour l'imbibition, pour l'établissement d'une lame d'eau, et pour remplacer l'eau perdue par percolation.

Les gains d'eau peuvent provenir de la précipitation, de la quantité d'eau stockée dans le sol et de la remontée à partir de la nappe phréatique. L'apport d'eau par remontée à partir de la nappe n'est pas pris en considération dans cette étude.

En calculant les gains, plusieurs niveaux de précipitations avec différentes probabilités d'occurrence sont considérés. Seule la partie de la précipitation qui est efficace est considérée.

Un autre gain est constitué par l'eau stockée dans le sol en début de cycle. Mais dans la région, avec les faibles pluies enregistrées et avec une forte évaporation, la probabilité d'avoir un stock d'eau dans la zone racinaire est quasi nulle. Même le sol risque d'être au point de flétrissement ce qui nécessitera une pré-irrigation en début du cycle. Au lieu d'être un gain, il s'agit donc en réalité d'un apport extra en eau d'irrigation.

### **Besoins bruts en eau d'irrigation**

---

Les besoins bruts en eau d'irrigation sont obtenus en tenant compte de l'efficience de l'irrigation et du contrôle de la salinité dans la zone racinaire.

## **4.4 Cultures maraîchères et Maïs**

### **Besoins nets en eau d'irrigation**

---

Les besoins nets en eau d'irrigation sont donnés par :

$$I_{net} = \delta S + ET_{culture} - P_{eff}$$

où  $\delta S$  = la pré-irrigation qui amène la zone racinaire de son humidité initiale à une humidité favorable pour une évapotranspiration potentielle,

$ET_{culture}$  = l'évapotranspiration potentielle de la culture (=  $k_c ETo$ ), et

$P_{eff}$  = la précipitation efficace.

Le coefficient cultural (kc) varie en fonction du stade de développement, du climat et de la culture. La longueur du cycle de végétation varie en fonction de la culture, de la saison et de la date de semis (Tableau 7).

**Tableau 7.**  
**Date de semis et longueur du cycle.**

Spéculation	Date de semis	Longueur dy cycle
Maïs	Dernière décade de Juin	95 jours
Maïs	Première décade de Novembre	120 jours
Tomate	Première décade de Décembre	120 jours
Maraichage	Première décade de Décembre	100 jours

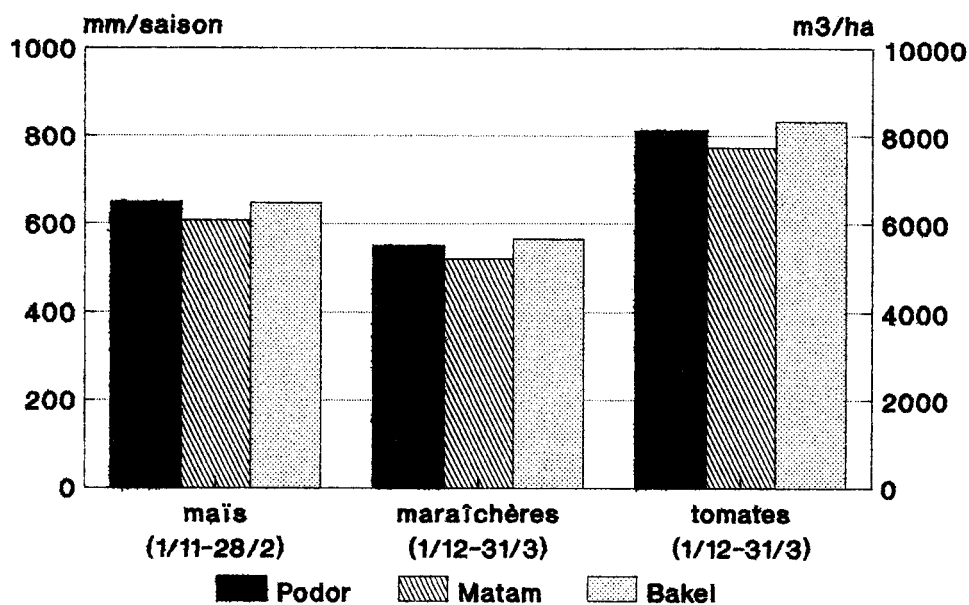
Le cycle est décomposé en quatre phases distinctes de développement : (i) Phase initiale, (ii) phase de développement, (iii) mi-saison et (iv) fin de saison. La durée de chaque stade de développement et les valeurs de kc des différents spéculations sont présentées dans le Tableau 8.

**Tableau 8.**  
**La durée en jours (n) et les valeurs de kc pour chaque stade de développement des spéculations.**

Hivernage Maïs			Contre saison froide					
			Maïs		Tomates		Maraichères	
Stade	n	kc	n	kc	n	kc	n	kc
i	20	0.50	20	0.50	10	0.50	20	0.40
ii	30	0.5-1.2	40	0.5-1.2	30	0.50-1.25	30	0.4-1.2
iii	35	1.20	50	1.20	40	1.25	30	1.20
iv	10	1.2-0.6	10	1.2-0.6	40	1.25-0.65	20	1.2-0.8

Pour élaborer les besoins en eau, les valeurs mensuelles d'ETo figurant dans la Figure 16 ont été utilisées. Des précipitations hivernales (Figure 5) ayant différentes probabilités d'occurrence ont été considérées ; 2 ans sur 10 (hivernage humide), 5 ans sur 10 (hivernage normal) et 8 ans sur 10 (hivernage sec). Selon notre étude, la distribution proportionnelle de la précipitation hivernale le long de la saison ne varie pas significativement entre des années sèches, normales ou humides. La distri-

## Besoins nets en eau



## Besoins bruts en eau

= Besoins nets en eau

+ 160 à 360 mm pour la culture de maïs  
(1,600 à 3,600 m3/ha)

+ 150 à 325 mm pour les cultures maraî-  
(1,500 à 3,250 m3/ha) chères

+ 190 à 475 mm pour la culture des tomates  
(1,900 à 4,750 m3/ha)

Figure 20.  
Besoins en eau d'irrigation  
de différentes spéculations en contre saison froide.

## 4.5 Riz

### Besoins nets en eau d'irrigation

Les besoins nets en eau d'irrigation d'une saison sont exprimés par :

$$Inet = Imb + Lame + ETriz + Perc - Peff$$

où Imb = la quantité d'eau nécessaire pour saturer le sol des rizières avant la mise en place de la culture,

Lame = la quantité d'eau nécessaire à l'établissement d'une submersion de la parcelle,

ETriz = la quantité d'eau perdue par évapotranspiration potentielle du riz,

Perc = la quantité d'eau perdue par drainage profond dans les rizières,

Peff = la quantité de pluie effectivement stockée dans les rizières.

▪ L'imbibition est fonction du type de sol et de l'état initial d'humidité du sol. Suite aux expérimentations effectuées dans quelques cuvettes (Raes et Sy, 1993), l'imbibition est évaluée à 175 mm soit 1,750 m<sup>3</sup>/ha. La valeur est légèrement sur estimée pour compenser le surplus en percolation observé en phase d'imbibition.

▪ Un semis direct à l'aide de graines pré-germées est de coutume. Avant le semis, une lame d'eau d'environ 5 cm est généralement apportée pour éviter tout stress hydrique. Après le semis, cette lame est évacuée (ou laissée évaporer) pour faciliter la levée et l'enracinement des plantules. Après quelques jours, la lame est progressivement restaurée jusqu'à une hauteur d'environ 7 à 10 cm. Dix jours avant la fin présumée du cycle végétatif du riz les champs sont progressivement vidés. En fonction des besoins de fertilisation, de traitement phytosanitaire ou de dessalement des parcelles, il sera nécessaire de prévoir un ou plusieurs processus d'évacuation et de restauration de la lame. Pour les besoins en eau d'irrigation, les calculs sont établis pour une hauteur de lame de 150 mm, soit 1,500 m<sup>3</sup>/ha.

▪ L'évapotranspiration du riz (ETriz) est calculée pour une riziculture hivernale et une riziculture de contre-saison. Plusieurs dates de semis ont été simulées et des variétés du riz à cycles moyen (Jaya) et court (I Kong Pao) ont été distinguées. L'ETriz est calculée en multipliant

l'ETo des trois lieux (Fig. 16) avec un coefficient cultural dont la valeur est fonction du stade de développement. Les coefficients culturaux ont été choisis selon les recommandations de la FAO. Une valeur de 1.15 a été sélectionnée pour le stade de végétation. En hiverna-

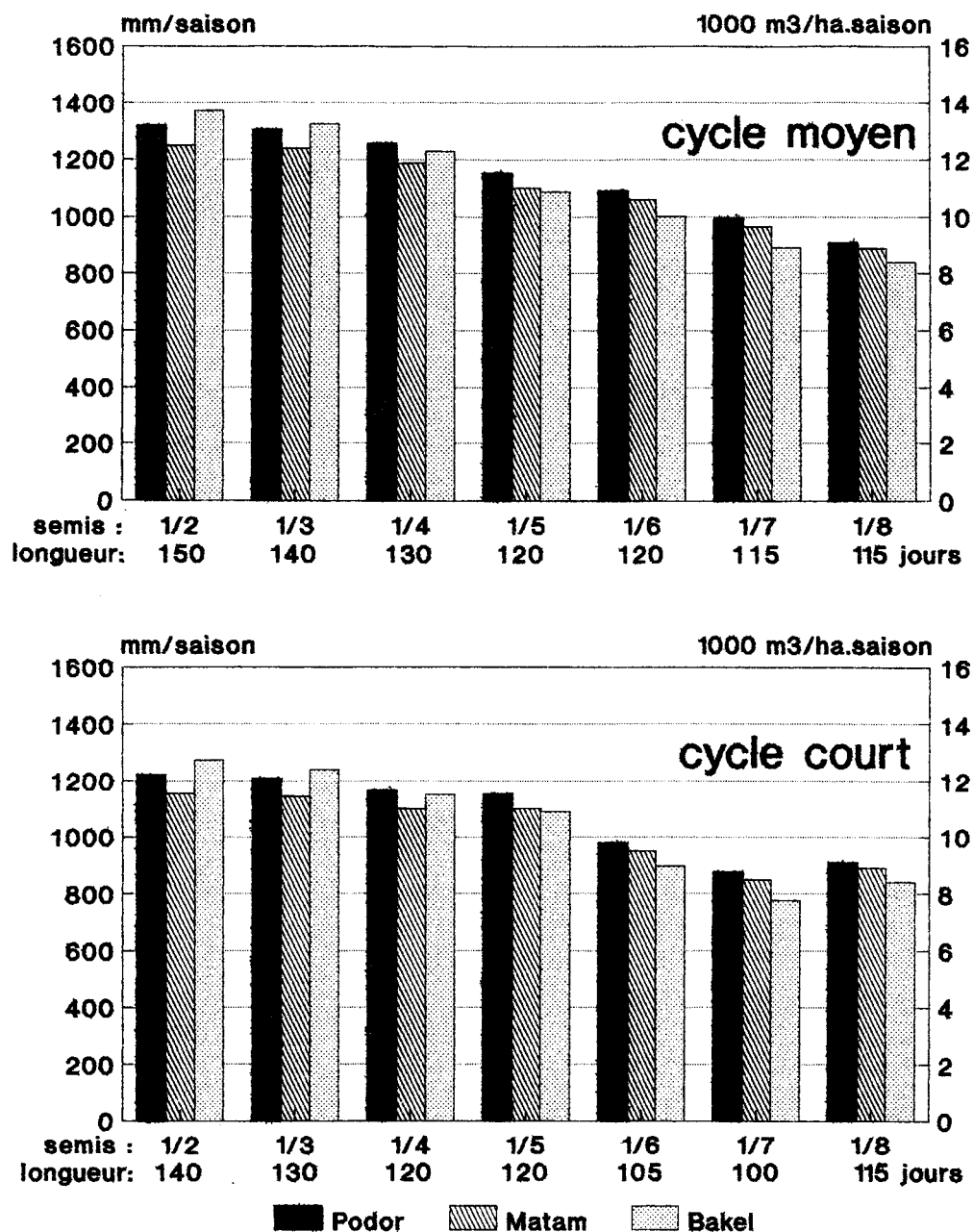


Figure 21.

La valeur d'ETriz pour une variété du riz à cycle moyen et une à cycle court, en fonction de la date de semis.

ge, ce premier stade aura une longueur de deux mois, tandis qu'en contre-saison il sera plutôt de deux à trois mois et ceci en fonction de la date de semis et de la variété. En mi-saison (floraison et formation du produit), le coefficient atteint la valeur de 1.30, pour ensuite descendre à 1.05 à un mois de la récolte. Toutes les irrigations seront arrêtées 10 jours avant la fin

présumée du cycle. Dans la Figure 21 il est indiqué la variation de l'ETriz en fonction de la date de semis et du site et ceci pour une variété de riz à cycle moyen et une à cycle court. Les recherches de l'ADRAO (WARDA/ADRAO, 1992) ont permis de fixer les longueurs de cycle de chaque variété en fonction de la date de semis.

■ Trois niveaux de percolation ont été retenus : 2, 3.5 et 5 mm/jour. Les 2 mm/jour correspondent à la percolation observée dans des sols très argileux qu'on trouve dans les cuvettes de décantation (hollaldé). Les 3.5 mm/jour est la percolation moyenne des faux-holladés, situés entre les berges de la rivière et les cuvettes de décantation. Les petits périmètres privés sont parfois aménagés tous près de la rivière sur les berges. La percolation y peut facilement atteindre 5 mm/jour. Au début de la saison les valeurs des percolation retenues seront souvent plus grandes, mais une ou deux décades après la mise en eau la percolation se stabilisera aux niveaux retenus.

■ En considérant que 85 % des précipitations supérieures à 5 mm sont efficaces, les valeurs de la **précipitation efficace** ont été calculées. Dans le Tableau 9 les valeurs sont reportées en fonction du site, de la date de semis et de l'importance des pluies en hivernage. La valeur correspondante avec un hivernage humide, représente la hauteur des précipitations hivernales qu'on ne dépasse que 2 ans sur 10, tandis que celle qui correspond avec un hivernage sec représente la hauteur des précipitations hivernales qu'on n'atteint pas 2 ans sur 10.

**Tableau 9.**  
**Précipitation efficace (mm).**

Date de semis	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
<b>Podor</b>					
Hivernage humide	64	125	180	200	170
Hivernage normal	49	103	133	140	120
Hivernage sec	18	56	81	85	75
<b>Matam</b>					
Hivernage humide	120	239	298	295	245
Hivernage normal	95	185	241	230	190
Hivernage sec	65	128	165	165	137
<b>Bakel</b>					
Hivernage humide	186	327	417	420	330
Hivernage normal	160	287	354	345	270
Hivernage sec	113	206	274	265	210

## **Besoins bruts en eau d'irrigation**

Les besoins bruts en eau d'irrigation sont obtenus en majorant les besoins nets avec les volumes d'eau nécessaires pour le contrôle de la salinité et en tenant compte de l'efficience de distribution. Si le terrain n'est pas soigneusement nivelé, il faut en plus envisager un surplus d'eau pour atteindre une lame d'eau satisfaisante.

L'efficience de distribution dépend du design et du mode de gestion des périmètres. Vu que les canaux sont relativement imperméables, et que beaucoup de pertes de distribution à l'intérieur du périmètre sont en effet des irrigations, une valeur de 85 pour cent a été retenue comme efficience.

Un contrôle de salinité s'impose à cause d'apport des sels par l'eau d'irrigation. Dans la vallée, le premier assèchement et la percolation de l'eau à travers la zone racinaire tout le long de la saison sont quand-même en général suffisants pour évacuer les sels en dehors de la zone racinaire.

Les besoins bruts en eau d'irrigation sont résumés dans les Figures 22 et 23 en fonction de la date de semis, de la variété de riz, du site et de la percolation du terrain. Les calculs sont faits pour un hivernage avec une précipitation normale. Selon que l'année est humide ou sèche, les besoins en eau doivent être minorés ou majorés de 20 à 100 mm (Tab. 9), soit 200 à 1,000 m<sup>3</sup>/ha, en fonction de la date de semis et du site.

## **Les efficacités de l'irrigation**

Après l'établissement des besoins en eau, les efficacités de l'irrigation auxquels on peut s'attendre peuvent être calculées. L'efficience totale, donnant le rapport entre le volume d'eau d'irrigation utilisée par la culture et le volume total d'eau d'irrigation, est de l'ordre de 55 pour-cent pour une riziculture sur des sols peu perméables, et de 50 à 45 pour cent sur des sols perméables à très perméables.

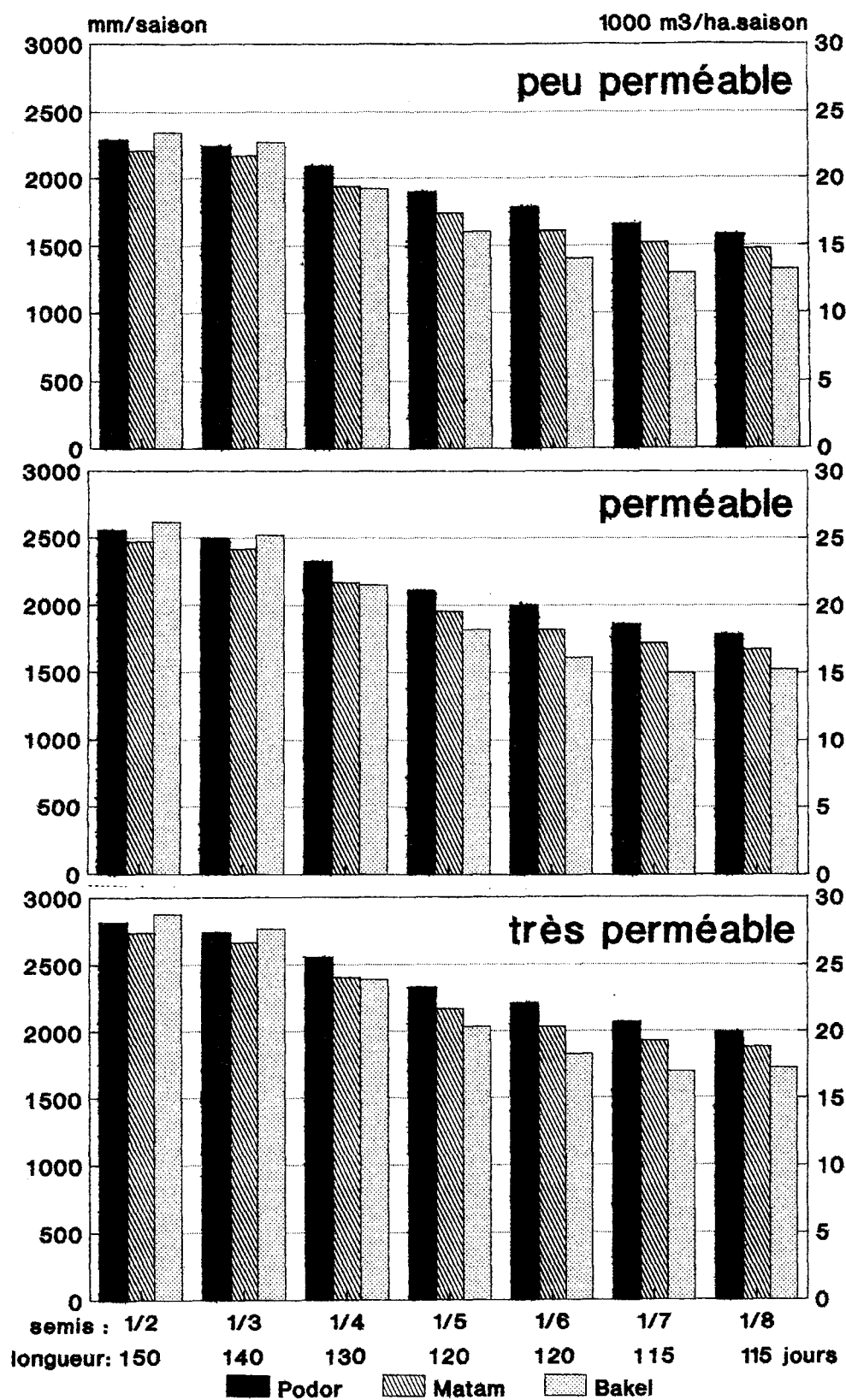


Figure 22. - Besoins bruts en eau d'irrigation pour une variété du riz à cycle moyen en fonction de la date de semis et d'une perméabilité du terrain de 2 (peu perméable) à 5 (très perméable) mm/jour.

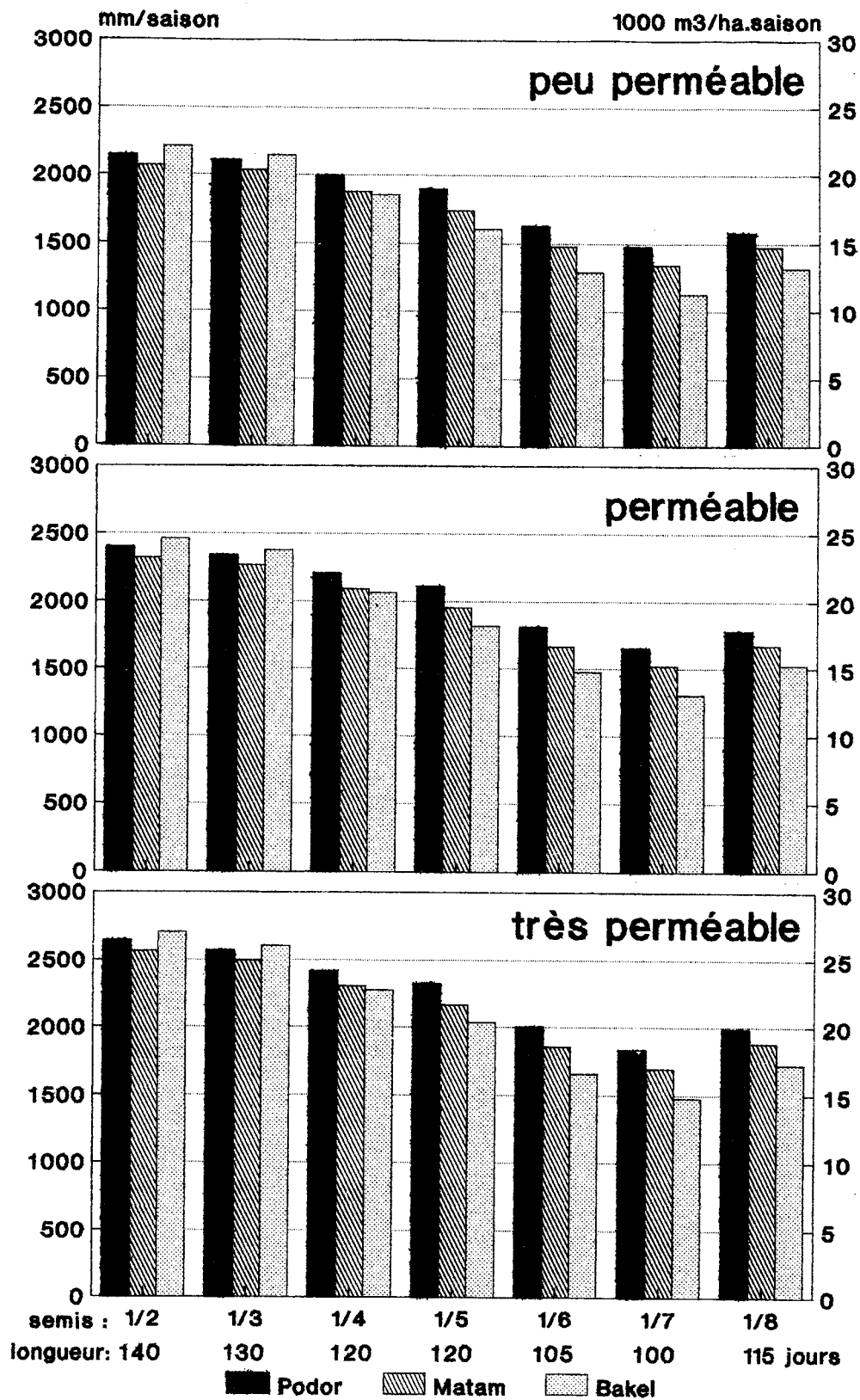


Figure 23. - Besoins bruts en eau d'irrigation pour une variété du riz à cycle court en fonction de la date de semis et d'une perméabilité du terrain de 2 (peu perméable) à 5 (très perméable) mm/jour.

## Références

- Doorenbos, J. et W.O. Pruitt. 1977.  
Les besoins en eau des cultures.  
FAO, Bulletin d'Irrigation et de Drainage n° 42. Rome, Italie. 144 p.
- Jones, K.R. 1981.  
Arid zone hydrology.  
FAO, Irrigation and Drainage paper n°37. Rome, Italie. 265 p.
- Raes, D., H. Lemmens, P. Van Aelst, M. Vanden Bulcke and M. Smith. 1988.  
IRSIS - Irrigation Scheduling Information System.  
KULeuven, Institute for Land and Water Management, Reference Manual n° 3. Leuven, Belgium. 119 p.
- Raes, D., Z. Song, D. Mallants and G. Wyseure. 1990.  
RAINBOW - frequency analysis and probability plotting of hydrologic data.  
KULeuven, Center for Irrigation Engineering, Reference Manual. Leuven, Belgium. 44 p.
- Raes, D. et B. SY. 1992.  
Analyse de la pluviométrie et de l'évapotranspiration dans la zone du Delta du fleuve Sénégal.  
SAED, Projet Gestion de l'Eau, Bulletin Technique n°5. Saint-Louis, Sénégal. 67 p.
- Raes, D. et B. SY. 1993.  
Bilan d'eau et Coût d'énergie de périmètres rizicoles.  
SAED, Projet Gestion de l'Eau, Bulletin Technique n°6. Saint-Louis, Sénégal. (en impression).
- WARDA/ADRAO. 1992.  
Annual report for 1991.  
WARDA, Bouaké, Côte d'Ivoire. (in press).

## ANNEXE

Hauteurs des précipitations décadaires qui seront dépassées à des probabilités différentes à :

- Dagana
- Podor
- Haïré-Lao
- Matam
- Bakel

Tableau 10.

Hauteurs des précipitations décadaires qui seront dépassées à Dagana  
à des probabilités différentes (période : 1969-1990).

Mois	Décade	Probabilité en nombre d'années sur 10								
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
Mai	1	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	*
Juin	1	.	.	.	.	.	.	.	3	15
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	13
Juillet	1	.	.	.	.	.	3	10	18	29
	2	.	.	.	.	7	13	19	28	40
	3	.	.	.	2	3	7	12	24	58
Août	1	.	4	10	17	23	31	40	52	72
	2	.	.	3	6	9	14	20	32	58
	3	.	7	14	21	29	37	46	59	78
Septembre	1	1	3	6	9	13	19	28	45	87
	2	.	2	7	13	18	25	33	44	62
	3	.	.	.	.	5	9	14	20	32
Octobre	1	.	.	.	.	.	.	.	1	3
	2	.	.	.	.	.	.	.	*	*
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	*
Novembre	1	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.

\* = la hauteur des pluies non calculée à cause d'insuffisance des données.

Tableau 11.

Hauteurs des précipitations décadaires qui seront dépassées à Podor  
à des probabilités différentes (période : 1969-1990).

Mois	Décade	Probabilité en nombre d'années sur 10								
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
Mai	1	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Juin	1	.	.	.	.	.	.	.	3	10
	2	.	.	.	.	.	.	.	2	5
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	2
Juillet	1	.	.	.	.	.	.	6	14	26
	2	.	.	.	4	7	12	18	28	51
	3	.	.	.	3	7	10	14	20	28
Août	1	.	2	7	11	15	20	27	37	58
	2	.	.	6	13	20	26	34	44	59
	3	.	4	9	14	19	25	32	42	57
Septembre	1	.	.	8	14	18	22	26	30	36
	2	.	4	7	11	16	23	33	50	88
	3	.	.	.	.	3	9	16	25	38
Octobre	1	.	.	.	.	.	.	1	8	15
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	7
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	*
Novembre	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	*

\* = la hauteur des pluies non calculée à cause d'insuffisance des données.

Tableau 12.

Hauteurs des précipitations décadaires qui seront dépassées à Haïré-Lao  
à des probabilités différentes (période : 1969-1990).

Mois	Décade	Probabilité en nombre d'années sur 10								
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
Mai	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Juin	1	.	.	.	.	.	.	.	10	27
	2	.	.	.	.	.	.	.	*	*
	3	.	.	.	.	.	.	.	*	*
Juillet	1	.	.	.	3	6	9	14	22	39
	2	.	.	5	10	15	21	28	38	56
	3	.	1	4	6	10	15	23	36	66
Août	1	.	.	.	8	20	32	46	64	91
	2	.	.	.	6	12	20	30	46	78
	3	.	.	.	.	18	32	43	55	70
Septembre	1	.	*	8	16	24	32	42	54	73
	2	1	7	14	22	30	38	50	63	85
	3	.	.	.	.	.	10	25	41	64
Octobre	1	.	.	.	.	.	.	.	2	5
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	*
Novembre	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.

\* = la hauteur des pluies non calculée à cause d'insuffisance des données.

Tableau 13.

Hauteurs des précipitations décadaires qui seront dépassées à Matam  
à des probabilités différentes (période : 1969-1990).

Mois	Décade	Probabilité en nombre d'années sur 10								
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
Mai	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	3	.	.	.	.	.	.	.	*	*
Juin	1	.	.	.	.	.	.	2	6	13
	2	.	.	.	.	1	3	5	9	19
	3	.	.	.	(?)	(?)	(?)	(?)	(?)	(?)
Juillet	1	.	.	.	2	7	12	17	24	34
	2	.	.	2	7	12	17	23	31	42
	3	4	10	16	22	29	36	44	56	74
Août	1	3	10	16	22	29	37	46	58	76
	2	.	6	19	28	36	44	52	61	74
	3	9	20	30	40	52	64	79	99	129
Septembre	1	.	6	12	18	24	31	39	50	66
	2	8	13	17	21	25	30	37	45	60
	3	.	.	.	4	11	18	26	36	52
Octobre	1	.	.	.	.	1	3	5	8	16
	2	.	.	.	.	.	.	4	9	17
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	6
Novembre	1	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	*

\* = la hauteur des pluies non calculée à cause d'insuffisance des données.

? = la série n'est pas homogène.

Tableau 14.

Hauteurs des précipitations décadaires qui seront dépassées à Bakel  
à des probabilités différentes (période : 1969-1990).

Mois	Décade	Probabilité en nombre d'années sur 10								
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
Mai	1	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	3	.	.	.	.	.	1	2	4	9
Juin	1	.	.	.	.	2	5	9	16	30
	2	.	.	.	4	9	14	19	27	38
	3	.	.	2	5	8	11	16	24	40
Juillet	1	1	7	14	20	27	35	44	56	76
	2	12	25	34	42	49	57	64	74	86
	3	5	13	19	26	32	40	48	59	76
Août	1	(?)	(?)	(?)	(?)	(?)	(?)	(?)	(?)	(?)
	2	2	21	33	43	52	60	70	80	95
	3	20	34	46	56	66	77	90	105	130
Septembre	1	13	27	37	46	54	62	71	81	95
	2	4	11	16	22	27	34	42	54	75
	3	.	4	10	15	21	27	35	45	61
Octobre	1	.	.	.	5	8	12	18	26	43
	2	.	.	.	.	.	8	12	17	24
	3	.	.	.	.	.	.	.	1	6
Novembre	1	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	2	.	.	.	.	.	.	.	.	*
	3	.	.	.	.	.	.	.	.	*

\* = la hauteur des pluies non calculée à cause d'insuffisance des données.

? = la série décadaire n'est pas homogène.

