BESOINS EN EAU ET PROFITS AGRICOLES POUR LE

BASSIN VERSANT DU FLEUVE SÉNÉGAL

UTAH STATE UNIVERSITY
Logan, Utan
1984

TABLE DES MATIÈRES

Page

LISTE DES TABLEAUX..... iv

LISTE DES FIGURES..... v

SOMMAIRE..... vi

Chapitre

I INTRODUCTION..... 1

Objectif..... 4
Méthodologie..... 5

II LES BESOINS EN EAU..... 6

Estimation de ET_{CROP}..... 7
Estimation de la Précipitation Efficace (P_e)..... 12

Exemple..... 17

Demandes totales en irrigation..... 18

Exigences de filtration..... 18
Efficacités d'irrigation..... 19

Méthode d'Irrigation..... 21

III RENDEMENTS AGRICOLES..... 24

Administration et Technologie..... 24

Coton..... 24
Sorgho..... 26
Riz..... 26
Tomates..... 27
Blé..... 27

Fertilité et Rendement des Récoltes..... 29

IV LE MODÈLE DES PROFITS AGRICOLES..... 34

Données d'Entrée pour le Modèle des Profits Agricoles (AGBEN)..... 34

Les données du secteur économique agricole (AGTAB.PRE)..... 36

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

Chapitre		Page
	Rendements de l'élevage du bétail.....	39
	Les données des superficies agricoles(AREA.DAT)	43
	Programme des superficies(AREA.FTN).....	46
	Données entrées interactivement.....	46
	Algorithmes du Modèle des Profits Agricoles (AGBEN).....	49
	Revenus de l'agriculture.....	50
	Valeur de la production remplacée.....	50
	Coûts hors-projet.....	51
	Besoins en eau.....	54
	Sortie du Modèle des Profits Agricoles (AGBEN).....	54
V	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	59
	Profits Agricoles.....	59
	Petits contre grands périmètres.....	61
	Besoin en Eau pour l'Irrigation.....	63
	Évapotranspiration potentielle.....	63
	Précipitation effective, P_e.....	65
	Hauteur-durée de précipitation.....	66
	Agriculture par alimentation pluviale.....	67
VI	SOMMAIRE ET RECOMMANDATIONS.....	71
	Recommandations.....	71
RÉFÉRENCES CHOISIES.....		73
APPENDICES.....		77
Appendice A.	L'effet Serre.....	78
Appendice B.	Précipitation mensuelle en fonction de la probabilité d'occurence ou de dépassement....	82
Appendice C.	Tableaux.....	86
Appendice D.	Programmes.....	89
Appendice E.	Bibliographie.....	112

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2-1	Région approximative pour les valeurs saisonnières de K_c et ET_{crop}	12
2-2	Précipitation mensuelle totale versus effective	14
2-3	Efficacités de transport, des canaux, de distribution et d'application	22
3-1	Besoins des récoltes	25
3-2	Augmentations temporelles des rendements	30
4-1	Pourcentage de la surface totale agricole du Bassin du fleuve Sénégal destiné aux diverses cultures, en saison humide et sèche	38
4-2	Composition de l'hectare théorique irrigué	39
4-3	Produits du bétail par hectare théorique	40
4-4	Table des données du secteur économique agricole	41
4-5	Table des données des superficies agricoles	45
4-6	Profits individuels et demandes en eau	56
4-7	Demandes totales en eau et profits agricoles	57
4-8	Demandes en eau annuelles pour l'irrigation, par pays	58
5-1	Nombre d'années pour atteindre des profits positifs, pour chaque produit	60
5-2	Demande en eau des récoltes	64
5-3	RS, ET_o, précipitation réelle et effective sur l'ensemble du Bassin du fleuve Sénégal	65
5-4	Précipitation maximale mensuelle mesurée (P_{max}) donnée en hauteur-durée	69
C-1	Rayonnement solaire extraterrestre	87
C-2	Durée moyenne maximale d'ensoleillement en heures	88

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1-1	Carte montrant la localisation du Bassin versant du fleuve Sénégal et les isohyètes de précipitation moyenne annuelle (en millimètres).....	2
2-1	Courbes de distribution classée et de type gamma pour le mois d'Août à la station climatologique de Matam.....	15
3-1	Tendances historiques du rendement du riz au Japon et du blé en angleterre, comparées au rendement, dans plusieurs régions, du blé et du riz en 1968.....	29
3-2	Isoquantes de production du maïs.....	32
3-3	Augmentation du rendement du maïs par kg d'azote ajouté à divers taux d'application. La quantité d'eau était adéquate pour tous les niveaux d'application de l'azote. Basé sur des données d'Israël.....	33
4-1	Organigramme du modèle déterminant les profits agricoles et les demandes en eau pour le projet de développement du Bassin versant du fleuve Sénégal.....	35
A-1	L'augmentation à long terme du contenu de l'atmosphère en bioxyde de carbone, à partir de la Révolution Industrielle et se produisant durant le siècle prochain.....	79
A-2	Exemple de scénario des plans de répartition possibles de l'humidité du sol sur une terre réchauffée.....	81

SOMMAIRE

Besoins en Eau et Profits Agricoles pour le Bassin Versant du Fleuve Sénégal

Le but de cette étude était de développer un modèle permettant de déterminer les besoins en eau et les profits agricoles y résultant, concernant le développement de l'irrigation à l'intérieur du Bassin du fleuve Sénégal. De plus, une discussion est apportée concernant les options de gestion et leurs implications sociales.

Les profits agricoles et les besoins en eau pour l'ensemble du bassin ont été estimés d'après un modèle informatisé. Le modèle se sert d'un taux de développement agricole projeté, d'un budget agricole qui met en évidence les coûts et les ressources, ainsi que les besoins saisonniers en eau des récoltes pour l'ensemble du bassin.

Les méthodes d'estimation d'évapotranspiration de Hargreaves ont été utilisées pour estimer les besoins en eau en conjonction avec les coefficients de récolte de la FAO. Une analyse probabiliste utilisant une distribution gamma a servi pour estimer la précipitation efficace. Une discussion sur le potentiel pour l'agriculture par alimentation pluviale est présentée, basée d'après la précipitation certaine avec une probabilité d'occurence ou de dépassement de 75 pour cent.

Dans le but d'évaluer les rendements des récoltes, de bons rendements anticipés sont présentés ainsi que les exigences environnementales qui per-

mettent d'obtenir les meilleurs résultats. Les facteurs administratifs et technologiques en rapport à l'amélioration des rendements sont également discutés. Les interactions de l'eau et de la fertilité sur les rendements des récoltes sont décrites et des équations indiquant comment les rendements peuvent être optimisés sont aussi présentées.

Une courte discussion au sujet des effets possibles qu'une augmentation globale de bioxyde de carbone, CO_2, dans l'atmosphère pourrait avoir sur les besoins en eau et les rendements futurs des récoltes est présentée à l'Appendice A.

(114 pages)

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Le Fleuve Sénégal, d'une longueur approximative de 1800 km, représente l'un des plus grands cours d'eau en Afrique. Son Bassin versant, localisé en Afrique de l'ouest, recouvre approximativement 290,000 km^2, et est compris entre les latitudes $10^{o}00'$ et $17^{o}30'$ nord et les longitudes $7^{o}00'$ et $16^{o}30'$ ouest (voir la figure 1-1.). Le bassin est constitué de trois régions distinctes, le haut bassin, la vallée et le delta. Le haut bassin constitue la source de ruissellement ou d'approvisionnement en eau, tandis que les deux autres régions représentent généralement des zones d'évapotranspiration ou d'utilisation en eau. Le point le plus élevé du bassin repose à une altitude de 1372 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les pentes des cours d'eau varient d'un maximum d'environ 2 m par km pour les cours d'eau situés complètement en amont, à moins de 1 cm par km pour ceux situés dans la région deltaïque.

Les précipitations varient considérablement à la surface du bassin, variant d'une moyenne de 2000 mm par année dans la région sud, à environ 250 mm par année dans la zone nord. Les courbes isohyètes du bassin sont représentées à la figure 1-1. Les précipitations en un lieu varient également de saison en saison. Il a été observé que les quantités d'eau tombées sur toute la surface du Bassin versant variaient de plus de 20 pour cent d'une année à l'autre. Les précipitations moyennes mensuelles sont élevées pendant la saison des pluies, tandis que presque nulles du-

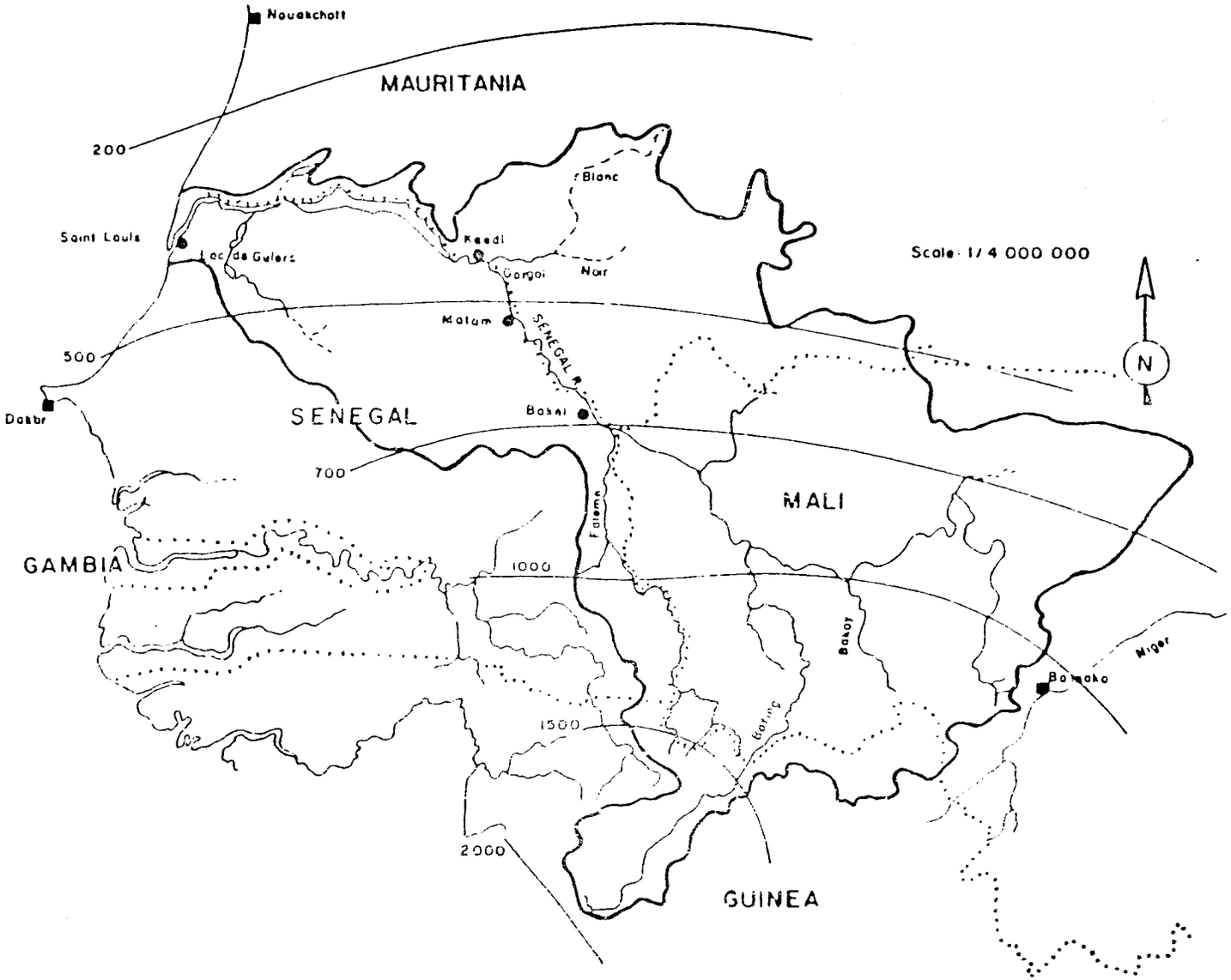

Figure 1.1. Carte montrant la localisation du Bassin versant du fleuve Sénégal et les isohyètes de précipitation moyenne annuelle (en millimètres).

rant le reste de l'année. Dans la région sud, la saison des pluies survient d'avril à novembre, alors que dans la section nord, cette saison ne dure que trois mois, soit de juillet à septembre. Les débits des rivières, tout comme les quantités de précipitation, varient considérablement pendant l'année et également d'une année à l'autre. Le débit moyen annuel à Bakel est fixé à 771 m^3/s, tandis que le débit de pointe correspondant à une période de récurrence de 100 ans est, à cet endroit, de 10700 m^3/s. Le débit mensuel moyen à Bakel est de 3,423 m^3/s en septembre et de 10 m^3/s au mois de mai.

La plupart des terres cultivées reposent dans les régions de la vallée et du delta, à l'aval de Bakel, et englobent approximativement 120,000 ha en récoltes "de décrue". Ces récoltes sont cultivées annuellement sur les plaines de débordement du fleuve pendant la période de tarissement suivant l'avènement de son débit de pointe. De plus, une irrigation contrôlée est maintenant pratiquée sur de petits projets pilotes situés dans la vallée et sur une surface approximative de 17,000 ha dans la région deltaïque. De ce total, 1,100 ha en Mauritanie et 11,000 ha au Sénégal sont irriguées suivant des techniques d'inondation contrôlée, et une récolte est produite par année. La région restante, soit environ 5,000 ha, est recouverte de plants de canne à sucre, et est entièrement contrôlée par une irrigation pompée dans la région sénégalaise de Richard-Toll.

Avec la construction du Barrage de Manantali, deux types de périmètres agricoles sont en phase d'implantation, soient le périmètre à grande échelle et le périmètre à petite échelle. Ces deux types de périmètres sont caractérisés par Diallo (1980) comme suit:

1. <u>Périmètres irrigués à grande échelle</u>

   a. surfaces de 100 à 10,000 hectares;

b. importantes stations de pompage (plus de 240 hp);

c. équipement lourd (tracteurs, moissonneuses);

d. grand nombre de travailleurs paysans;

e. grand nombre d'agents d'extension et de services d'extension.

Le périmètre est divisé en propriétés de 0,5 à 3 hectares chacune et est alimenté par un canal d'alimentation pouvant irriguer 10 hectares. Cet arrangement permet une amélioration de l'irrigation et l'utilisation de grosses pompes. Un groupe de garantie mutuelle, formé de 15 à 20 fermiers, est chargé de la distribution et de l'entretien des canaux d'alimentation. Pour son implantation, le système requiert un capital d'investissement élevé avec peu de participation de la part des paysans.

2. Périmètres de villages irrigués à petite échelle

a. petites régions de 15 à 50 hectares avec une surface moyenne de 20 hectares par périmètre;

b. un groupe de garantie mutuelle composé de fermiers par périmètre de village (15 à 20 fermiers par groupement de producteurs);

c. une pompe motorisée par périmètre;

d. un agent d'extension pour deux à trois villages;

e. utilisation d'outils traditionnels;

Ce système requiert un faible capital d'investissements comparativement au grand nombre de paysans participant à son implantation et à son opération.

Objectif

Le but de cette étude est de développer une méthodologie pour estimer les demandes en eau pour l'irrigation et les profits agricoles, associés

au développement proposé du fleuve Sénégal. Les profits agricoles et les besoins en eau pour l'irrigation seront utilisés dans une analyse de répartition des coûts joints du projet entre les divers services et des coûts d'établissement des frais d'utilisation de l'eau par les paysans. Il faut mentionner toutefois que cette analyse de coûts n'est pas développée dans ce rapport.

Méthodologie

1. Développer un modèle permettant de calculer les profits agricoles, basé sur une analyse de revenus-coûts.

2. Déterminer et évaluer les données économiques agricoles de base à être utilisées dans le modèle.

3. Déterminer les demandes en eau pour l'irrigation

   a. Développer un modèle pour calculer l'évapotranspiration potentielle, ET_o.

   b. Déterminer la précipitation efficace, basée d'après une analyse de probabilité de réalisation ou de dépassement de l'événement.

CHAPITRE II

LES BESOINS EN EAU

Les besoins en eau pour chaque récolte sont calculés sur la base de satisfaire le taux d'évapotranspiration, ET_{CROP}, d'une récolte saine, poussant dans des conditions optimales d'un sol possédant une fertilité et une teneur en eau adéquates correspondant à un environnement donné.

Les besoins nets en eau pour une irrigation des récoltes sont calculés en utilisant la méthode du bilan d'eau appliquée à un champ.

$$I = ET_{CROP} - (P_e + G_e + W_b) \quad \text{.....(2-1)}$$

où

I = besoin net en irrigation

ET_{CROP} = évapotranspiration de la récolte

P_e = précipitation efficace

G_e = contribution de l'eau souterraine

W_b = humidité (teneur en eau) initiale du sol

Pour le Bassin versant du fleuve Sénégal, la contribution de l'eau souterraine est supposée négligeable et on présume que le sol est initialement à son point de flétrissement (aucune teneur en eau initiale n'est disponible pour les plantes).

Estimation de ET_{CROP}

L'évapotranspiration de la récolte ET_{CROP} est calculée comme suit:

$$ET_{CROP} = ET_o * K_c \quad \text{.....(2-2)}$$

où

ET_o = évapotranspiration potentielle de référence d'une récolte

K_c = coefficient d'évapotranspiration de récolte

ET_o est défini comme étant le taux d'évapotranspiration d'un vaste pré ayant une épaisseur uniforme variant entre 8 et 15 cm, en pleine croissance, ombrageant complètement le sol, et n'étant pas à court d'eau (Doorenbos et Pruitt, 1977).

Cette définition, quoique fondamentalement correcte, nécessite certaines précisions. Tout d'abord, le type de pâturage n'est pas spécifié. Les herbages des saisons fraîches, telles le pâturin et l'herbage Alta fescue peuvent utiliser jusqu'à 20 pour cent d'eau de plus que les herbages typiques des saisons chaudes (Borelli et al.,1981). Fritschen (1966) propose que les petites différences dans l'utilisation de l'eau par diverses plantes peuvent être attribuées, du moins en partie, par leurs propriétés physiques, telles la réflectivité (albedo) et la rugosité. Les feuilles larges sont davantage capable d'extraire de l'énergie de l'air environnant et possèdent par le fait même de plus forts taux de transpiration (Chang, 1968). En second lieu, les dimensions du champ ou les conditions des régions avoisinantes ne sont pas spécifiées. En d'autres termes, aucune disposition n'est prise pour tenir compte des effets

d'advection (Chang, 1968).

Les méthodes d'évaluation ou d'estimation de l'évapotranspiration se regroupent dans cinq catégories (Chang, 1968):

1. mesures directes, tels les lysimètres,
2. formules empiriques utilisant un ou plusieurs facteurs climatiques,
3. l'approche aérodynamique,
4. la méthode du bilan d'énergie, et
5. l'utilisation d'évaporomètres

La sélection de la méthode est basée sur le type de données climatiques disponibles, le coût et la précision requise dans la determination des besoins en eau. Tanrer (1960) maintient que sur une opération journalière, les agronomes peuvent utiliser avantageusement toute méthode dont la précision est d'environ 10 pour cent, sauf pour certains usages très spécifiques.

La mesure directe de l'évapotranspiration avec des lysimètres demeure la méthode la plus fiable, mais cette procédure est coûteuse. Les approches aérodynamique et de bilan d'énergie requièrent des données climatologiques habituellement disponibles qu'aux stations climatiques de premier ordre, et sont généralement plutôt compliquées. L'équation de Hargreaves, une équation empirique, est l'une des plus simples à utiliser et donne de bons résultats. Elle s'écrit de la façon suivante:

$$ET_o = 0.0075 \times RS \times TF \quad \text{.....(2-3)}$$

où

ET_o = évapotranspiration potentielle pour l'herbage Alta fescue (mm)

RS = radiation solaire à la surface (mm)

TF = température moyenne en Fahrenheit (^oF)

Lorsque des comparaisons ont été effectuées entre les données au lysimètre en provenance de Damien, Haiti, et les méthodes suivantes d'estimation de ET_o: Hargreaves, modification de la méthode de Blaney-Criddle par la FAO, radiation de la FAO, la méthode de Penman version FAO, et la version de la méthode de Blaney-Morin par la Soil Conservation Service (SCS), l'équation de Hargreaves (équation 2-3) s'est révélée la méthode ayant la plus faible variance (Hargreaves et Samani, 1983). En comparant des méthodes d'estimation de ET_o d'après des données recueillies à partir de huit stations californiennes, l'ordre de préférence des méthodes évaluées, basée d'après la petitesse de l'ordonnée à l'origine, du coefficient de détermination R^2 et de l'écart-type des rapports des valeurs mesurées aux valeurs estimées, était: évaporation selon un bac de classe "A", Hargreaves, Jensen-Haise et finalement la méthode de Blaney-Criddle(Hargreaves et Samani, 1982).

Une faiblesse de l'équation 2-3 ci-haut est la fiabilité des données de radiation solaire. La radiation solaire, RS, peut en effet être mesurée à l'aide de pyrhéliomètres, mais ces appareils sont dispendieux et quelquefois mal calibrés. Hargreaves et Samani (1982) ont utilisés les équations suivantes pour estimer RS:

$$RS = KT \times RA \times TD^{1/2} \quad \text{.....(2-4)}$$

$$RS = KS \times RA \times S^{1/2} \quad \text{.....(2-5)}$$

où

KT = coefficient de calibration

KS = coefficient de calibration

RA = rayonnement extraterrestre, ayant les même unités que RS

TD = écart entre la température moyenne maximale et la température moyenne minimale

S = pourcentage d'ensoleillement possible

Les constantes KT et KS ont été évaluées à 0.16 et 0.17 respectivement pour le Bassin versant du fleuve Sénégal. RS et RA possèdent les mêmes unités et TD est en degrés Celcius. Le calcul des constantes est basé d'après les données météorologiques recueillies auprès de quatre stations situées à l'intérieur du Bassin versant du fleuve Sénégal: Richard-Toll, Guede, Kaedi et Same (Rijks, 1976). Les valeurs de RA peuvent être obtenues à partir d'un tableau (Appendice C) ou calculées avec l'aide d'un programme basé sur la latitude et la période de l'année (Appendice D). Les valeurs du pourcentage d'ensoleillement possible, S, sont basées d'après les mesures d'ensoleillement, SH, en heures, et la longueur de la journée, DL. Les valeurs de DL peuvent être déterminées à partir d'un tableau (Appendice C), ou avec l'aide d'un programme également basé d'après la latitude et la période de l'année (Appendice D).

$$S = \frac{SH \times 100}{DL} \quad \text{.....(2-6)}$$

Des résultats légèrement supérieurs sont obtenus lorsque la radiation solaire incidente, RS, est obtenue à partir du pourcentage d'en-

soleillement possible, que lorsqu'estimée à partir des différences de températures, TD.

$$RS = 0.16 \times RA \times (TD)^{1/2} \quad \text{.....(2-4a)}$$

$$RS = 0.07 \times RA \times (S)^{1/2} \quad \text{.....(2-5a)}$$

L'erreur relative commise par l'utilisation des équations 2-4a et 2-5a était de ±15 pour cent et ±10 pour cent, respectivement. L'erreur absolue retrouvée après utilisation des équations 2-4a et 2-5a était de ±45 langleys et ±35 langleys, respectivement.

Une amélioration succinte des résultats peut être obtenue en modifiant l'exposant de l'équation 2-5a à 0.6 et en ajustant par la suite le coefficient 0.07. Toutefois, la fonction racine carrée a été conservée pour sa simplicité. Aucune amélioration significative n'a pu être obtenue à partir de l'équation 2-4a.

En plus de démontrer leur fiabilité et leur application générale avec peu ou pas de calibration, les équations 2-3 et 2-4 sont simples et ne requièrent que des températures minimales et maximales. Lorsque l'évaporation potentielle d'une récolte de référence est déterminée, elle doit être multipliée par le coefficient de récolte, K_c, de la récolte désirée pour obtenir l'évapotranspiration potentielle de cette récolte (équation 2-2). Les procédures de sélection des valeurs appropriées de K_c sont données par la FAO (Doorenbos et Pruitt, 1977). Il devrait être noté que ET_o et K_c devraient être basés d'après la même récolte de référence. Le tableau 2-1 illustre un sommaire des valeurs

de K_c et de la plage approximative des valeurs saisonnières de l'ET prévues pour différentes récoltes. Si les estimés de l'ET sont inférieurs ou supérieurs aux valeurs montrées au tableau 2-1, les calculs devraient être méticuleusement revisés et des efforts devraient être fournis dans le but de vérifier que les conditions sont significativement différentes et peuvent expliquer les différences enregistrées dans les estimés.

Tableau 2-1. Région approximative pour les valeurs saisonnières de K_c et ET_{CROP}

Récolte	K_c	ET_{CROP} (mm)
Luzerne	0.85 - 1.05	600 - 1500
Coton	0.80 - 0.90	550 - 950
Maïs	0.75 - 0.90	400 - 750
Riz	0.95 - 1.20	500 - 950
Sorgho	0.75 - 0.85	300 - 650
Canne à sucre	0.85 - 1.05	1000 - 1500
Tomates	0.75 - 0.90	300 - 600
Blé	0.80 - 0.90	400 - 600

Référence: Crop Water Requirements (Doorenbos et Pruitt, 1977)

Estimation de la Précipitation Efficace (P_e)

La quantité de pluie qui pénètre dans le sol et devient disponible pour utilisation par la récolte doit être incluse dans la détermination

des besoins nets en irrigation puisque les besoins en eau de la récolte peuvent être entièrement ou partiellement remplis par la précipitation. La fraction de la précipitation totale qui est efficace, c'est-à-dire celle utilisée par les plantes, dépend largement de la quantité et de l'intensité de la précipitation, en plus des pratiques de gestion agricole. Dans le but d'établir un niveau fiable de précipitation, un certain type d'analyse probabiliste est requis. Barger et Thom (1949), Miller et Weaver (1968), Essenwagner (1960), et Crv (1965) ont tous démontré que la meilleure concordance concernant la probabilité de précipitation est réalisée par le biais d'une fonction de distribution de type gamma. Friedman et James, cités par Burchinal et Dickerson (1961), en concluent que des irrégularités rencontrées dans les courbes de probabilité de précipitation, obtenues à partir de l'équation de Kimbal (équation 2-7), basées sur 30 années de données, sont aplanies par la distribution gamma.

$$F = \frac{m}{n+1} \qquad (2\text{-}7)$$

où

F = fréquence

m = numéro d'ordre dans le rang

n = nombre total de points

La figure 2-1 illustre une courbe des données classées de précipitation et de la distribution gamma pour le mois d'août à la station climatologique de Matam.

La précipitation totale ne devient pas entièrement disponible pour les récoltes. En effet, des portions peuvent être perdues suite au ruis-

sellement de surface, à l'évaporation et à la percolation vers les zones profondes. Puisqu'une fraction seulement d'une averse de forte intensité peut pénétrer et être emmagasinée dans la zone des racines de la culture, son efficacité est plutôt faible. D'autre part, les fréquentes averses légères recouvrant complètement le sol peuvent avoir un degré d'efficacité s'approchant de 100 pour cent. Une méthode simple d'estimation de la précipitation effective est présentée au tableau 2-2.

Tableau 2-2. Précipitation mensuelle totale versus effective.

Précipitation Totale Mensuelle (mm)	Précipitation mensuelle considérée effective		
	Fraction de Chaque Augmentation de 25 mm		Total Cumulé (mm)
	%	(mm)	
25	95	23.75	23.75
50	90	22.50	46.25
75	82	20.50	66.75
100	65	16.25	83.00
125	45	11.25	94.25
150	25	6.25	100.50
Plus de 150	5	1.25	----

Référence: U.S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service, Technical Bulletin 1275.

Hargreaves (1981) a trouvé que les intensités de précipitations ou valeurs de durée-hauteur de précipitation, D, varient approximativement avec la racine quatrième du temps, t, et avec la racine sixième de la période de récurrence, T, pour t variant de 0.5 à 96 heures et T de 5 à 100 ans.

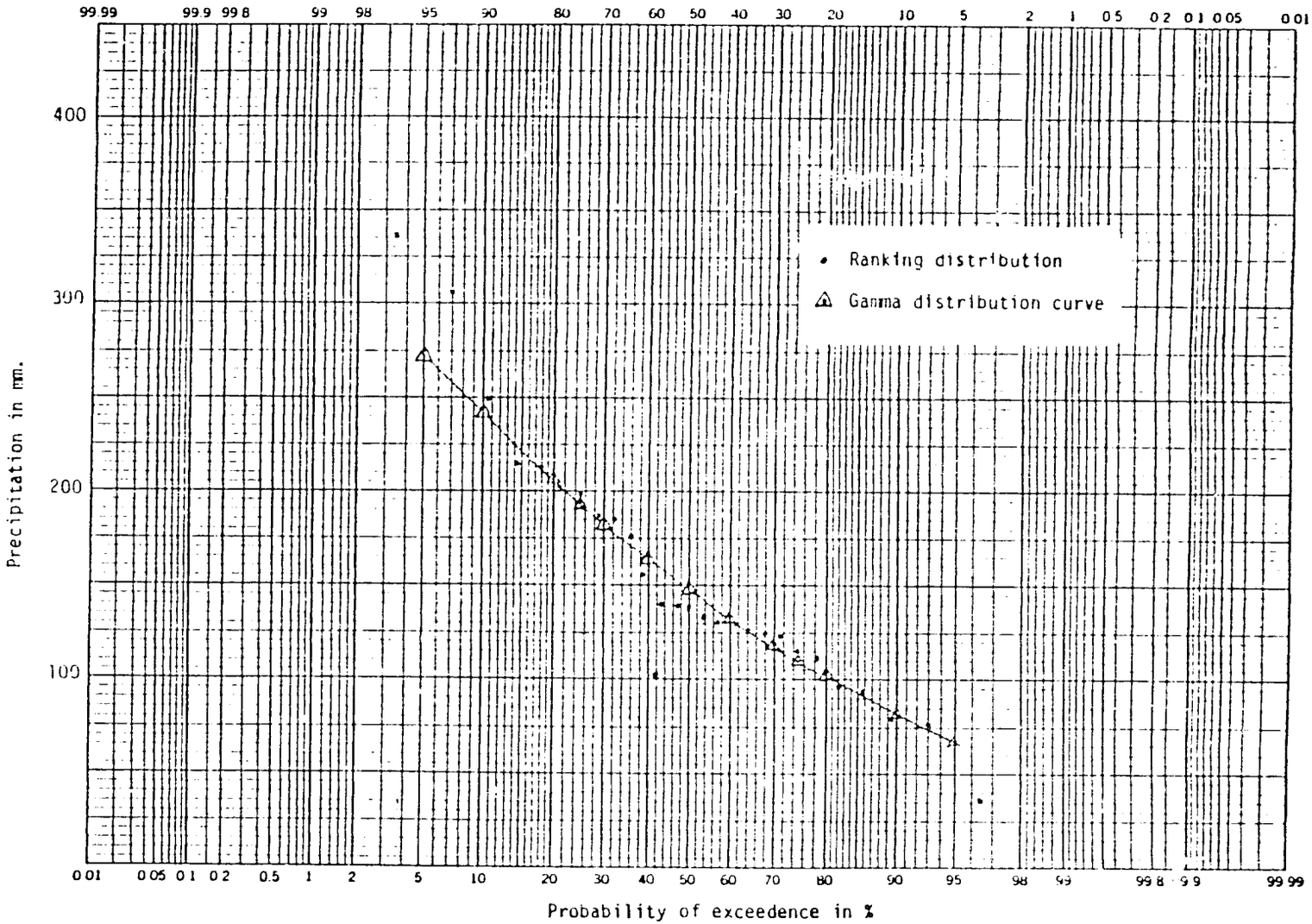

Figure 2-1. Courbes de distribution classée et de type gamma pour le mois d'Août à la station climatologique de Matam.

$$D = K \times t^{1/4} \times T^{1/6} \quad \text{.....(2-8)}$$

où

K = coefficient de calibration caractéristique de la station pluviométrique étant évaluée pour un mois donné, habituellement le mois correspondant à la précipitation maximale.

t = durée de la précipitation (heures)

T = période de récurrence (années)

Hershfield (1961) a trouvé qu'une averse maximale de 24 heures équivaut approximativement à 1.13 fois la précipitation journalière observée. Une distribution de probabilité d'une série annuelle ou de séries partielles d'événements extrêmes de précipitation journalière peut être utilisée pour générer des valeurs de durée-hauteur raisonnables correspondant au temps ou à la durée ainsi qu'aux périodes de récurrences comprises à l'intérieur des limites données plus haut.

Basé sur des données provenant des États-Unis et de l'Amérique Centrale, la pluie de 24 heures, pour une période de récurrence de 10 ans, $P_{10,24}$, peut être estimée à partir de la probabilité de précipitation de de 5 pour cent, P_{05}, (la précipitation mensuelle qui est atteinte ou dépassée 5 pour cent du temps). L'équation de précipitation en mm peut s'écrire:

$$P_{10,24} = 30 + 0.30 \times P_{05} \quad \text{.....(2-9)}$$

Bien que cette équation soit dérivée à partir de données recueillies aux

États-Unis et en Amérique Centrale, son application est universelle.

Basé sur des données recueillies aux États-Unis, les valeurs de $P_{10,24}$ peuvent aussi être estimées à partir de la précipitation maximale mensuelle basée sur une période de 30 ans, PMX, em mm.

$$P_{10,24} = 22 + 0.30 \times PMX \quad \text{.....(2-10)}$$

Le coefficient de corrélation, R^2, était de 84 pour cent, avec 46 degrés de liberté.

Exemple

Estimation de la durée-hauteur. Si la période de cueillette de données s'étend sur 9 ans et que la précipitation maximale journalière observée durant cette période était de 200 mm, la précipitation maximale correspondant à une durée de 24 heures pour une période de récurrence de 10 ans serait de 226 mm (200 mm x 1.13). L'équation 2-8 deviendrait:

$$226 = K \times 24^{1/4} \times 10^{1/6}$$

$$K = 70$$

$$D = 70 \times t^{1/4} \times T^{1/6}$$

Si la valeur de P_{05} est déterminée à partir d'une analyse de la distribution gamma, la valeur de K peut être déterminée à partir des équations 2-8 et 2-9.

$$K = \frac{30 + 0.30 \times P_{05}}{3.25} \quad \text{.....(2-11)}$$

Une fois obtenue la valeur de K, les valeurs probables de hauteur-durée

des précipitations correspondant à des durées variant de o,5 à 96 heures et pour des périodes de récurrence s'étendant de 5 à 100 ans peuvent, pour un certain site, être estimées.

Demandes Totales en Irrigation

En plus de rencontrer les besoins nets en irrigation, l'eau peut être requise pour la filtration des sels accumulés à partir de la zone de racines des cultures, et pour compenser les pertes en eau durant le transport et l'application. La demande totale en irrigation est calculée comme suit:

$$V = \frac{10}{E_p} \sum_{i=1}^{NCROP} \left[\frac{A \times I}{1 - LR}\right]_i \quad \text{.....(2-12)}$$

où

V = besoins totaux en irrigation (m^2)

E_p = efficacité du projet d'irrigation (fraction)

A = surface sous une récolte donnée, i, (ha)

I = besoins en eau nets pour une récolte donnée (mm)

LR = exigences de filtration (fraction)

NCROP = nombre de cultures irriguées

Le facteur 10 apparaissant dans l'équation tient compte de la conversion d'unités de V en m^3 (Doorenbos et Pruitt, 1977).

Exigences de filtration

La quantité d'eau requise pour une filtration adéquate du sol dépend de la tolérance du sol vis-à-vis le sel et des conditions locales. Elles

incluent la quantité de sels solubles présents dans le sol, du type de sol (texture), de la qualité de l'eau d'irrigation, des taux d'ET, de la quantité et de la distribution de la précipitation, des méthodes et pratiques d'irrigation, de la profondeur de la nappe phréatique, et des pratiques de drainage. Les procédures d'estimation des exigences de filtration sont présentées dans les Rapports FAO-ID 29 et ASCE-CU (Ayers et Westcot 1976; et Jensen, 1974). Les problèmes et contrôle de la salinité ainsi que la tolérance en sel de récoltes agricoles sont discutés en détail au chapitre 5 de "Design and Operation of Farm Irrigation Systems" (Jensen, 1980).

Efficacités d'irrigation

Après avoir calculé les besoins nets en irrigation et les besoins en filtration, l'efficacité du projet d'irrigation doit être estimée pour déterminer les besoins bruts en irrigation. L'efficacité du projet est habituellement subdivisée en trois catégories:

Efficacité de transport (E_c): rapport entre la quantité d'eau reçue à l'arrivée d'un groupe de champs et la quantité larguée telle que prévue par le projet.

Efficacité des canaux (E_b): rapport entre la quantité d'eau reçue à l'entrée d'un champ et la quantité reçue à l'arrivée du groupe de champs.

Efficacité d'application au champ (E_a): rapport entre la quantité d'eau directement disponible à la récolte et celle reçue à l'arrivée du champ.

Efficacité du projet (E_p): rapport entre la quantité d'eau direc-

tement disponible à la récolte et celle prévue par le projet.

$$Ep = E_c \times E_b \times E_a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.13)$$

Les efficacités sont difficiles à obtenir avec précision et changent avec le temps. Les efficacités de l'eau peuvent être faibles en raison de situations incontrôlables telles des fluctuations dans le climat (sécheresse et crues), l'insuffisance des ressources hydriques lorsque demandées, et le manque de flexibilité dans la gestion d'une entreprise agricole.

Le problème majeur dans la détermination des efficacités d'irrigation est l'imprécision des données. Tout d'abord, il y a un problème de précision des mesures hydriques. Un niveau raisonnable de précision d'une mesure de débit est de plus ou moins 5 à 10 pour cent, dépendant du type d'appareil de mesure utilisé (U.S. Dept. of the Interior et al. 1979).

En second lieu, il y a un problème de calcul des besoins en eau de la récolte, ET_{CROP}. Toutefois, le calcul des besoins en eau de la récolte est probablement plus précis que la mesure de la quantité d'eau sur le champ. Les causes d'une faible efficacité d'irrigation se regroupent dans trois catégories: les facteurs physiques, les facteurs de gestion, et les facteurs sociaux et institutionnels. Les facteurs physiques causant des pertes par transport peuvent être attribués à: des canaux perméables; des installations désuètes, inadéquates ou mal entretenues; et d'une croissance excessive des récoltes. Les caractéristiques du sol et la méthode d'irrigation influencent grandement le coefficient d'application E_a.

Les facteurs de gestion incluent la déficience d'un personnel entraî-

né, le manque de données d'humidité du sol et un mauvais synchronisme d'irrigation, le manque de mesures adéquates d'écoulements, d'incorrectes quantités appliquées, et un manque d'installations adéquates pour contrôler l'eau. De simples améliorations telles,l'utilisation de techniques de type "surge flow" pour irriguer les surfaces, pourraient améliorer l'uniformité et l'efficacité de l'application (Bishop et al. 1981).

Les facteurs institutionnels et sociaux incluent: les attitudes sociales en rapport avec l'utilisation des terres, les moyens financiers, les prix de l'eau, les conflits environnementaux avec des lois existantes concernant l'eau, et les pratiques agricoles traditionnelles. Le tableau 2-3 donne certaines efficacités tirées de projets bien conçus, en opération depuis quelques années, et principalement basées d'après une enquête de ICID/ILRI et de références fournies par l'USDA et l'US (SCS) (Bos et Nugteren, 1974). Des informations additionnelles utiles sur le sujet de l'utilisation de l'eau par les récoltes sont trouvées à l'intérieur de diverses références inscrites dans l'Appendice E. Ces références ne sont pas citées dans le texte de ce rapport mais ont été examinées lors de la recherche bibliographique.

Méthode d'Irrigation

La sélection d'une méthode d'irrigation doit être faite à une date hâtive par l'évaluateur de la faisabilité technique, économique et sociale. L'avantage d'une méthode sur une autre est grandement déterminée par la justesse à laquelle les besoins en eau des récoltes sont rencontrés. Les méthodes d'irrigation de surface sont généralement les moins

Tableau 2-3. Efficacités de transport (E_c), des canaux (E_b), de distribution (E_d), et d'application (E_a).

				ICID/ILRI
Conveyance Efficiency (E_c)				
Continuous supply with no substantial change in flow				0.9
Rotational supply in projects of 3 000 - 7 000 ha and rotation areas of 70 - 300 ha, with effective management				0.8
Rotational supply in large schemes (> 10 000 ha) and small schemes (< 1 000 ha) with respective problematic communication and less effective management:				
	based on predetermined schedule			0.7
	based on advance request			0.65
Field Canal Efficiency (E_b)				
Blocks larger than 20 ha:	unlined			0.8
	lined or piped			0.9
Blocks up to 20 ha:	unlined			0.7
	lined or piped			0.8
Distribution Efficiency (E_d = E_c, E_b)				
Average for rotational supply with management and communication adequate				0.65
	sufficient			0.55
	insufficient			0.40
	poor			0.30
Field Application Efficiency (E_a)		USDA	US(SCS)	
Surface methods				
	light soils	0.55		
	medium soils	0.70		
	heavy soils	0.60		
graded border			0.60 - 0.75	0.53
basin and level border			0.60 - 0.80	0.58
contour ditch			0.50 - 0.55	
furrow			0.55 - 0.70	0.57
corrugation			0.50 - 0.70	
Subsurface			up to 0.80	
Sprinkler,	hot dry climate		0.60	
	moderate climate		0.70	0.67
	humid and cool		0.80	
Rice				0.32

Référence: Crop Water Requirements (Doorenbos et Pruitt, 1977)

coûteuses d'installation, et lorsque les conditions sont favorables, il n'y a pas de raison de considérer d'autres méthodes d'irrigation.

Différentes méthodes d'irrigation impliquent différents taux d'application d'eau. Ces différences devraient être prises en considération lorsque les diverses méthodes sont comparées en terme d'efficacité de l'eau à remplir les demandes des récoltes. L'apparente supériorité d'une méthode vis-à-vis une autre peut très bien être le résultat d'une trop

forte ou trop faible application d'eau. Il peut n'y avoir aucune erreur dans la méthode actuelle d'irrigation, seulement dans la gestion (Doorenbos et Pruitt, 1977).

Les items suivants doivent être considérés lors de la sélection d'une méthode d'irrigation:

- les coûts du système (incluant l'opération, l'entretien et les coûts de main-d'oeuvre)
- le climat
- les types de sol
- la quantité et la qualité de l'eau
- la topographie
- la sélection de la culture
- la possibilité de commercialisation de la récolte
- les aspects légaux

Une bonne discussion concernant les sujets mentionnés ci-haut est développée aux pages 129 à 132 du livre "Irrigation Design and Practice" par Withers et Vipond (1980).

Le résultat des calculs des besoins en irrigation, pour chaque récolte du Bassin versant du fleuve Sénégal, est montré au Tableau 5-2. Pour déterminer les besoins en irrigation du Bassin versant entier du fleuve Sénégal, une efficacité du projet de 60 pour cent a été supposée pour chaque récolte retrouvée au Tableau 4-4. La valeur supposée de 60 pour cent d'efficacité est considérée comme étant réaliste pour l'irrigation de surface à l'intérieur du périmètre d'irrigation de Matam (Bechtel, 1976), et représentative de tout le Bassin versant du fleuve Sénégal (Groupement Manantali, 1979). L'irrigation de surface est la méthode d'irrigation la plus largement utilisée sur le Bassin versant du fleuve Sénégal.

CHAPITRE III

RENDEMENTS AGRICOLES

Administration et technologie

L'utilisation du modèle de Profits Agricoles, AGBEN, présenté au chapitre 4 pour des buts de gestion, nécessite de connaître (1) les caractéristiques d'un système bien géré, (2) les niveaux de rendements réalisables pour chaque récolte, et (3) les demandes en eau pour ces rendements. Le Tableau 3-1 fournit des valeurs journalières de maturité des récoltes, rendement potentiel, exigences en fertilisants, et besoins en eau pour plusieurs cultures qui conviennent au Bassin versant du fleuve Sénégal. Une analyse compréhensive sur la convenance de différentes récoltes en Afrique est présentée par la FAO (1978). Adams (1953) fournit les exigences environnementales pour obtenir les meilleurs résultats pour le coton, le sorgho, le riz, les tomates et le blé:

Coton

Sol - Texture de type terreau silteux ou terreau à sable fin; quatre pieds ou plus d'épaisseur; absence d'alcalis ou d'autres sels nocifs; avec un pH de 5.5 à 8.0 (pH optimal entre 7.0 et 8.0); friable; fertile; facilement labourable; bonne rétention d'eau.

Climat - Chaud et doux durant la saison de l'ensemencement et de la croissance; pas de températures extrêmes le jour et la nuit; étés chauds; pas de pluies hors-saison durant la période de mûrissement et de cueillette; période de 7 à 9 mois sans gel, avec des températures minimales

Tableau 3-1. Besoins des récoltes.

Récolte	Période totale de croissance (jours)	Rendement potentiel (ton/ha)	Besoins en fertilisants (kg/ha)			Besoins en eau (mm/période de croissance)
			N	P	K	
Luzerne	100-365	15	0-40	55-65	75-100	800-1600
Coton	150-180	3-4	100-180	20-60	50-80	700-1300
Arachide	90-140	3-4	10-20	15-40	25-40	500-700
Maïs	100-140-	6-8	100-200	50-80	60-100	500-800
Riz	90-150	6-8	100-150	20-40	80-120	350-700
Sorgho	100-140-	3.5-5	100-180	20-45	35-80	450-650
Fève de soya	100-130	2.5-3.5	10-20	15-30	25-60	450-700
Canne à sucre	270-365	100-150	100-200	20-90	125-160	1500-2500
Tomate	90-140	45-65	100-150	65-110	160-240	400-600
Blé	100-130	4-6	100-150	35-45	25-50	450-650

Référence: Yield Response to Water (Doorenbos and Kassam, 1979).

ne devant pas descendre sous les 60° F.

Topographie - Un terrain plat permettant une bonne manipulation de l'eau destinée à l'irrigation est essentiel puisque la récolte ne croît que si le sol est irrigué.

Sorgho

Sol - Terreau ou terreau sablonneux; trois pieds ou plus d'épaisseur; bien approvisionné en matières organiques et nourritures pour les plantes; relativement tolérant vis-à-vis les conditions marécageuses.

Climat - Température chaude, ensoleillé, absence de gel, nuits fraîches, humidité élevée; donne les meilleurs résultats sous des conditions de fortes températures, faible humidité et nuits chaudes. Une période de récolte sans précipitation est essentielle. Mal adapté aux régions côtière fraîches ou au climat des montagnes. Supporte des températures maximales supérieures à 100° F.

Topographie - Les régions adaptées à la culture du sorgho pour ce qui est du sol et du climat ont tendance à recevoir une précipitation inadéquate. L'irrigation est généralement requise. En conséquence, un terrain suffisamment de niveau pour permettre une utilisation efficace des moyens d'irrigation est essentielle.

Riz

Sol - Terreau de deux à quatre pieds d'épaisseur, reposant sur des couches imperméables réduisant les pertes par percolation; même si le riz supportera la présence de certains alcalis, l'absence de sels nocifs est souhaitable, avec un pH de 5.5 à 6.0. Absence de mauvaises herbes.

Climat - Température chaude et beaucoup d'ensoleillement pendant la

période de croissance qui dure de 6 à 7 mois; absence de brume ou de forte humidité; aucune précipitation durant la période de moisson. Les températures minimales et maximales sont d'environ 60°et 100° F, respectivement.

Topographie - Puisque le riz croît dans des étangs d'eau stagnante, une topographie très plate est essentielle, spécialement à l'intérieur des carreaux des rizières, puisque le niveau ne devrait pas varier de plus de 2 à 3 pouces à l'intérieur d'un carreau.

Tomates

Sol - Terreau léger ou terreau à sable fin, sans sels nocifs, avec un pH de 5 à 7, fertile mais pas trop riche en matières organiques et en nourritures pour plantes (puisqu'une extrême richesse du sol peut forcer la croissance des vignes au lieu de favoriser une croissance fruitière); profondeur de quatre pieds ou plus; possédant une bonne capacité de rétention de l'eau.

Climat - Chaud mais pas excessivement torride, saison de croissance ensoleillée, d'une durée de 4 à 6 mois; pas de gel ni de courtes périodes froides, pas de changements brusques de températures entre le jour et la nuit, forte humidité. Les températures minimales et maximales ne devraient pas tomber sous les 60° F, ni monter au-dessus des 90°F.

Topographie - Les cultures irriguées nécessitent un terrain suffisamment de niveau pour permettre une irrigation efficace et économique.

Blé

Les conditions environnementales acceptables du blé sont relativement larges. Toutefois, les sols préférés sont des terreaux silteux d'une épais-

seur d'au moins deux pieds, se drainant facilement pendant la saison des pluies, riches en matières organiques et libres de sels nocifs; avec un pH de 6 à 8. Les conditions climatiques optimales consistent en un climat tempéré, ensoleillé, plutôt frais, mais sans températures froides, ceci pendant la saison de croissance d'une durée de 4 à 7 mois, avec des températures minimales d'environ 40°F et maximales d'environ 70°F. Pendant la période de mûrissement, une température plus chaude est requise, environ 85°F à 90°F. De meilleurs résultats seront obtenus en absence de pluies hors-saison et de vents violents.

Il importe de déterminer non seulement les besoins des récoltes pour des rendements maximaux, mais aussi de connaître les effets probables d'améliorations gestionnaires et technologiques sur les rendements. Il est à prévoir que pendant les jeunes annéesdu projet, les rendements seront relativement faibles, mais qu'ils iront en augmentant au fur et à mesure que les fermiers deviendront accoutumés à l'agriculture irriguée. La figure 3-1 illustre les tendances historiques concernant le rendement du riz au Japon et du blé en Angleterre. Les rendements actuels de certaines régions sont aussi indiqués, mais ils ne devraient pas être vus comme étant un reflet de leur agriculture sophistiquée. Par exemple, les rendements du blé au Canada reflètent les conditions plus hostiles dans lesquelles la récolte croît. Le Tableau 3-2 illustre les augmentations des rendements de diverses cultures sur une période de 26 ans. Par conséquent, l'utilisation d'une constante de rendement unique dans le modèle d'estimation des profits agricoles peut grandement sous-estimer les profits sur une période de 50 ans.

Fertilité et Rendement des Récoltes

Une connaissance de la fertilité et de l'eau est aussi nécessaire pour optimiser les rendements. Si la disponibilité en eau pour la plante est trop faible, l'application d'engrais peut réduire les rendements, tandis qu'en présence d'une quantité adéquate d'eau, l'utilisation d'engrais peut résulter en de fortes augmentations de la production (Cusack, 1983).

Heady et Hexem (1978) ont fourni des valeurs de rendement pour plusieurs états des États-Unis, ainsi que Shalhevet (1976) pour l'Israël. Ces données sont montrées à la figure 3-2, sous formes de courbes isoquantes de rendement. L'ET saisonnière est placée sur l'axe des abscisses tandis que la fertilité est indiquée sur l'axe des cotes. L'équation dérivée de

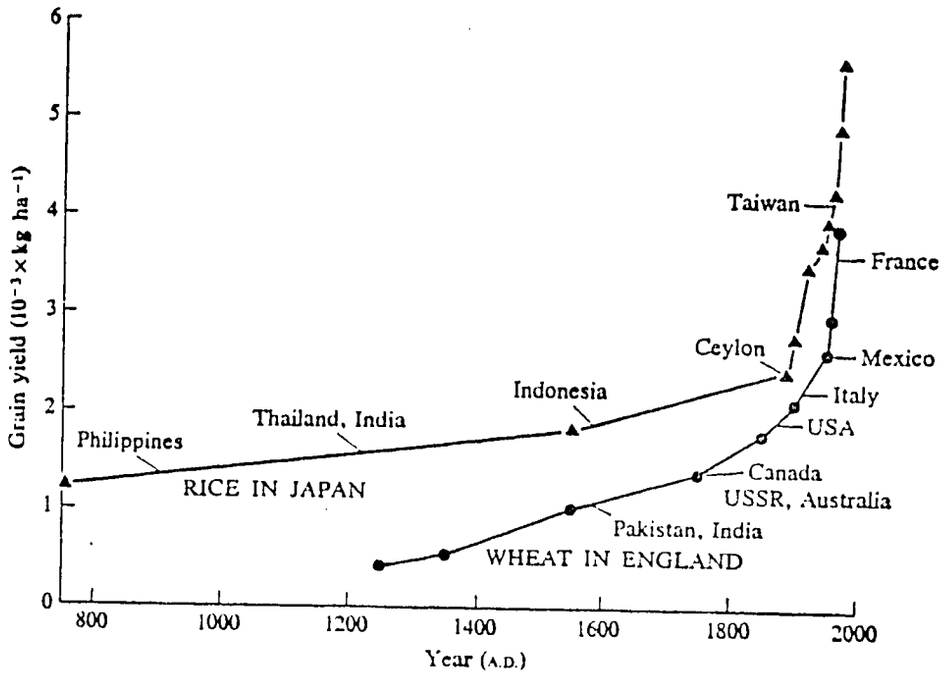

Figure 3-1. Tendances historiques du rendement du riz au Japon et du blé en Angleterre, comparées au rendement, dans plusieurs régions, du blé et du riz en 1968. Référence: Crop Physiology (Evans, 1978).

Tableau 3-2. Augmentations temporelles des rendements.

Culture	1953 (T/ha)[1]	1979 (T/ha)[2]	% d'Augmentation
Coton	2.3	3.4 - 5.0	48 - 117
Sorgho	2.8	3.5 - 5.0	25 - 79
Riz	4.5	5 - 7	11 - 56
Tomates	16.9	55 - 75	225 - 344
Blé	2.3	4 - 6	74 - 161

[1] Farm Management Crop Manual (Adams, 1953).

[2] Yield Response to Water (Doorenbos et Kassam, 1979)

ces données expérimentales et qui optimise les rendements est (Cusack, 1983):

$$N = 0.32\ ET \quad \text{.....(3-1)}$$

où

N = application optimale d'azote (kg/ha)

ET_{crop} = évapotranspiration saisonnière (mm)

Des équations similaires ont été calculées pour d'autres récoltes, basées sur des données fournies par Heady et Hexem (1978):

Pour le Coton: $N = 0.10\ ET_{crop}$

Blé: $N = 0.12\ ET_{crop}$

Betteraves à sucre: $N = 0.15\ ET_{crop}$

Sur une base économique, l'application additionnelle d'engrais devrait être faite jusqu'à ce que son produit marginal physique soit réduit au rapport du bénéfice marginal (augmentation des rendements), au coût marginal (coût additionnel d'engrais). Toutefois, il faut mentionner que l'application d'engrais nécessite une gestion adéquate dans le but de prévenir des

accumulations toxiques dans le sol. La figure 3-3 montre une relation typique entre l'application d'azote et les augmentations du rendement. Ces courbes peuvent facilement être utilisées pour déterminer les quantités optimales d'application d'azote.

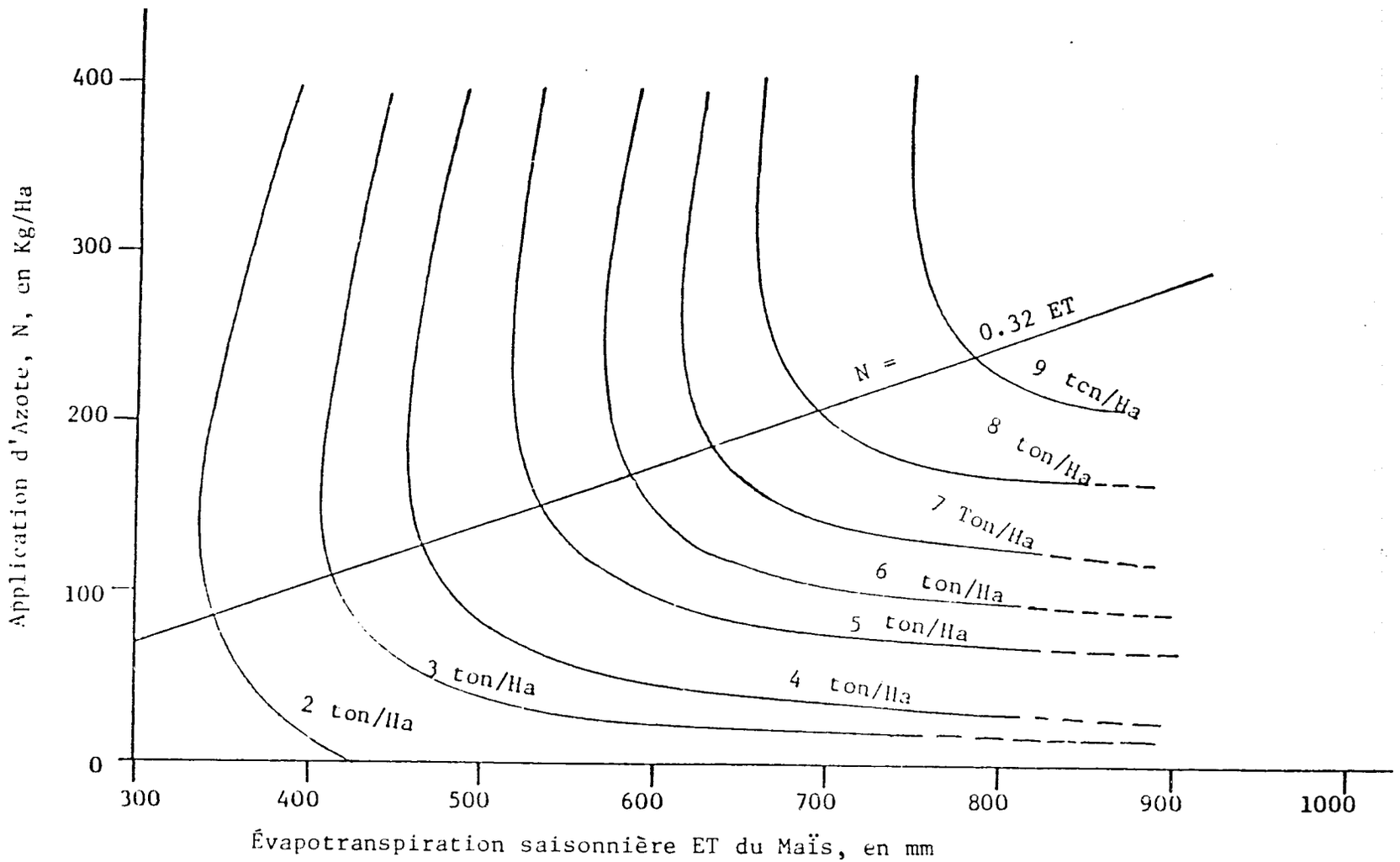

Figure 3-2. Isoquantes de production du maïs. Référence: Agroclimatic Information for Development (Cusack 1983).

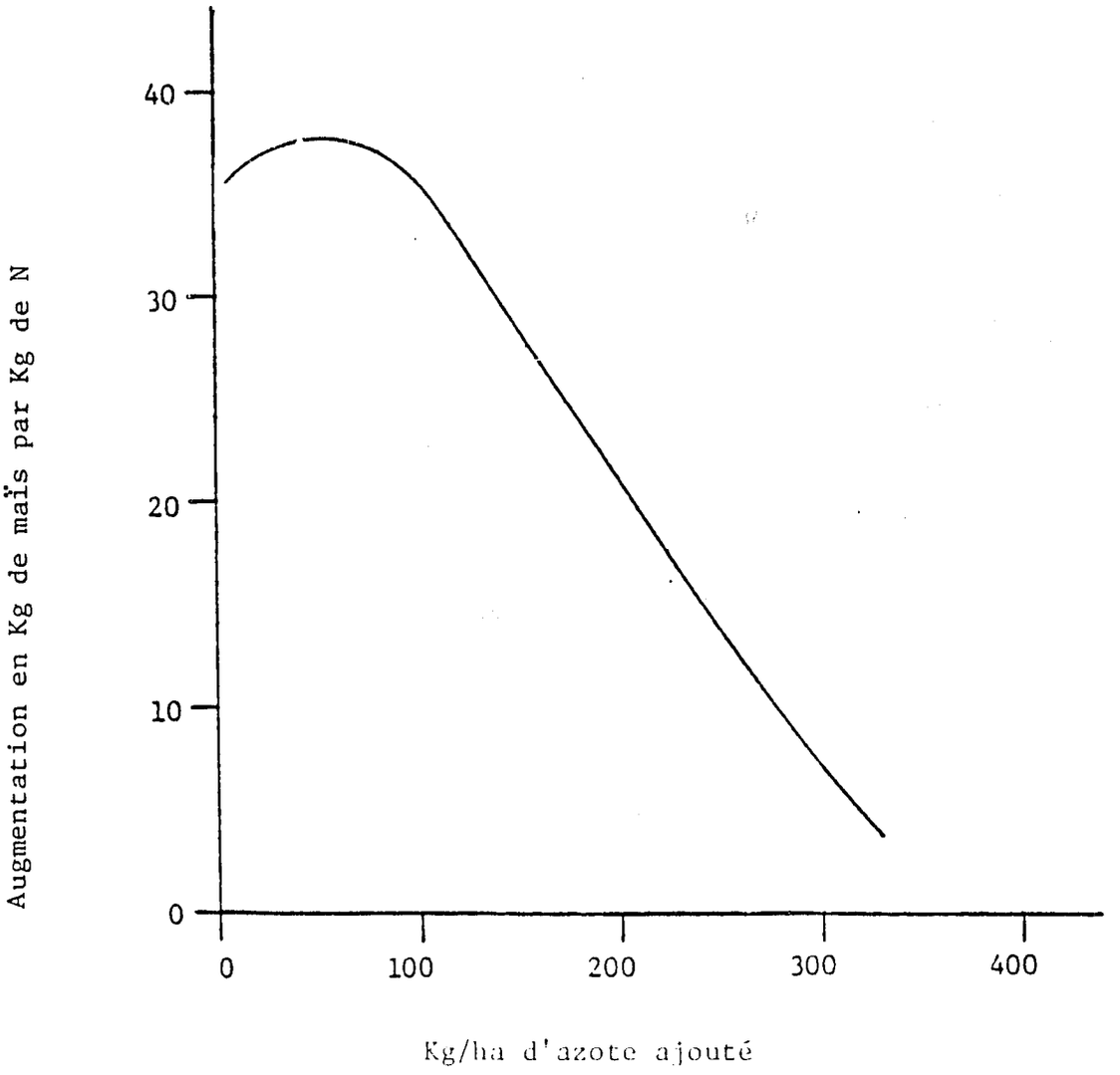

Figure 3-3. Augmentation du rendement du maïs par Kg d'azote ajouté à divers taux d'application. La quantité d'eau était adéquate pour tous les niveaux d'application d'azote. Basé sur des données d'Israël. Référence: Agroclimatic Information for Development (Cusack 1983).

CHAPITRE IV

LE MODÈLE DES PROFITS AGRICOLES

Dans le but de déterminer les profits agricoles et les demandes en eau pour le projet de développement du Bassin versant du fleuve Sénégal, un modèle de profits agricoles, AGBEN, a été structuré en langage FORTRAN. Un organigramme du modèle est présenté à la figure 4-1. Une description de chaque composante de l'organigramme est présentée plus loin dans ce chapitre. Une description des données d'entrée et de la façon dont elles ont été calculées, les algorithmes utilisés dans le modèle ainsi que des exemples de format de sortie sont également incluses.

Dans le modèle, toutes les valeurs monétaires du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal sont exprimées en F CFA, année 1979. Le Dollar américain est supposé équivalent à 245 F CFA. L'inflation n'est pas considérée car il est supposé que tous les prix et les coûts augmentent au même taux.

Données d'Entrée pour le Modèle de Profits Agricoles (AGBEN)

L'exécution de AGBEN nécessite deux fichiers séparés de données, les données du Secteur Économique Agricole, AGTAB.PRE, et les données des Superficies Agricoles, AREA.DAT. En plus de ces deux fichiers de données, certaines données sont entrées de façon interactive pendant l'exécution du programme.

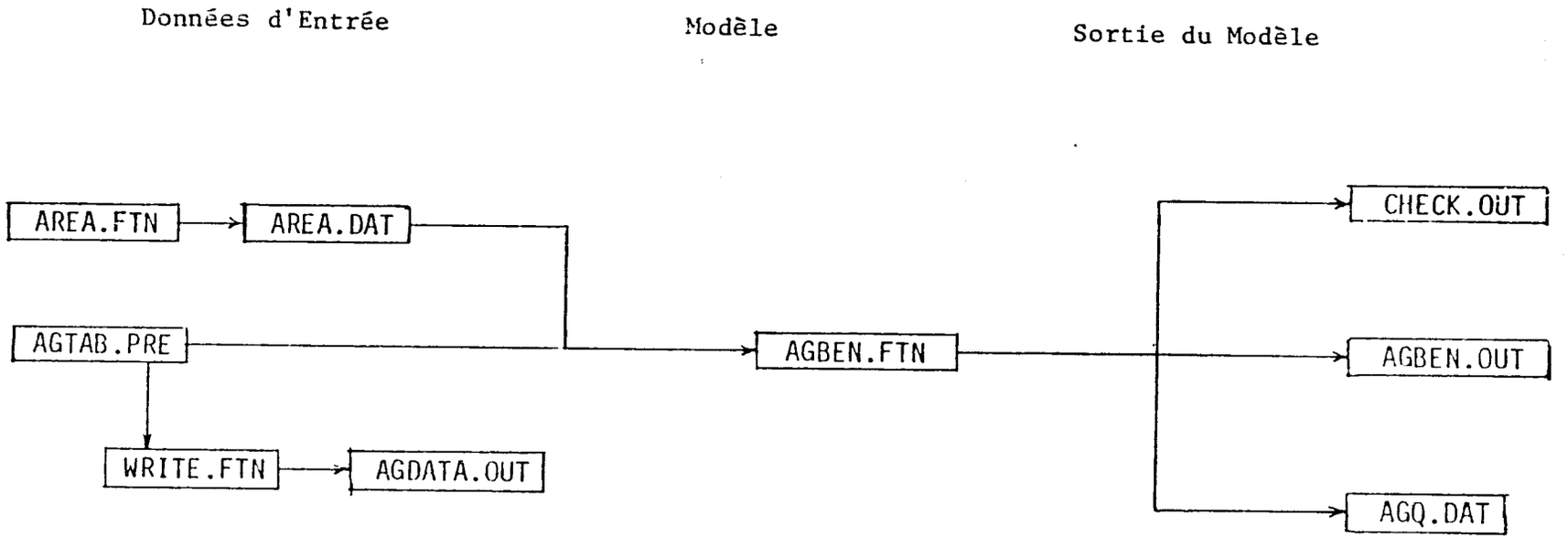

Figure 4-1. Organigramme du modèle déterminant les profits agricoles et les demandes en eau pour le projet de développement du Bassin versant du fleuve Sénégal.

Les données du secteur économique agricole (AGTAB.PRE)

Les profits agricoles sont égaux au revenu additionnel net provenant de l'agriculture irriguée par rapport à la récession et à l'exploitation agricole traditionnelle. Le calcul de ces profits dépend de la précision dans la représentation des coûts et des revenus du secteur agricole. Ces données ont été obtenues à partir de budgets agricoles actuels, pour des périmètres d'irrigation représentatifs et pour une agriculture traditionnelle. Les informations relatives aux budgets agricoles actuels ont été tirées du Rapport du Groupement Manantali (1979), Annexe 4. Le budget pour chacune des récoltes est calculé sur une base par hectare et les profits agricoles sont calculés à partir de la fraction d'un hectare théorique (moyen) formé par chaque récolte. Toutefois, les estimés numériques des revenus et coûts sont quelque peu désuets.

Coûts de production. Pour mettre à date les coûts de production de chaque récolte, tous les coûts de production ont été augmentés en proportion de l'augmentation des coûts de production du riz entre l'année 1979 -données présentées dans le Rapport de Groupement Manantali (1979)- et l'année 1980. Les valeurs de l'année 1980 sont fournies par SAED pour les périmètres de Lampsar, Dagna et Nianga. Les coûts de production du riz pour 1980, tels que présentés dans le Rapport 5 (Bowles et al. 1980) sont:

Grands périmètres	
Saison des pluies	109,480 F CFA/ha
Saison sèche	120,428 F CFA/ha
Petits périmètres	
Saison des pluies	69,800 F CFA/ha
Saison sèche	89,800 F CFA/ha

Ces coûts ont par la suite été réduits de 10 pour cent pour refléter les coûts de 1979.

Les coûts de production incluent la semence, l'engrais, les insecticides, l'entretien et les coûts opérationnels de l'équipement de ferme ou des animaux de trait. Les coûts de production à l'échelle du Bassin versant sont supposés être constants pour les petits et les grands périmètres.

Coûts fixes. Les coûts fixes relatifs au développememt des nouvelles terres irriguées sont basés d'après des estimés provenant du Rapport du Groupement Manantali (1979), Annexe 4: Agriculture, p. 123. Ces estimés ont par la suite été revisés en les comparant aux estimés fournis par SAED, SONADER et par le Directorat du génie agricole Malien.Ces coûts mis à jour sont présentés dans le Rapport 5 (Bowles et al. 1981) comme suit:

Mali	2,000,000 F CFA/ha
Mauritanie	
grands périmètres	3,000,000 F CFA/ha
petits périmètres	1,000,000 F CFA/ha
Sénégal	
grands périmètres	2,750,000 F CFA/ha
petits périmètres	1,000,000 F CFA/ha

Pour le bassin dans son ensemble, la moyenne pondérée est de l'ordre de 2,800,000 F CFA/ha. Les coûts fixes associés au développement des nouvelles terres irriguées sont donc estimés à 2,800,000 F CFA/ha, en plus d'un coût fixe additionnel de 760,000 F CFA/ha, tous les cinq ans, concernant le matériel de pompage. Ces estimés n'incluent pas les taxes, donc les retombées primaires nettes à l'agriculture incluent le revenu perçu par le gouvernement sous forme de taxes prélevées sur le secteur agricole.

Hectare théorique. L'hectare théorique représente, pour les saisons humides et sèches, l'attribution de la surface agricole pour chaque récolte en un pourcentage de la surface totale réservée à l'agriculture.

Tableau 4-1. Pourcentage de la surface totale agricole de Bassin du fleuve Sénégal destiné aux diverses cultures, en saison humide et sèche.

Culture	Saison humide (Juin-Octobre)	Saison sèche (Novembre-Mai)
Riz	30.6 %	16.3 %
Blé	- -	23.0
Maïs	16,5	16.7
Sorgho	28.6	16.7
"Niebe"	- -	5.8
Coton	3.0	- -
Tomates	- -	3.5
Canne à sucre	3.4	3.4
Fourrage	14.5	14.5

Référence: Rapport du Groupement Manantali (1979), Annexe 4.

Il est supposé que:

-100 pour cent de la surface est cultivée durant la saison des pluies.

-75 pour cent de la surface ensemencée en riz, blé,maïs, sorgho,et "niebe" est cultivée pendant la saison sèche. Les valeurs du Tableau 4-2 pour ces cultures reflètent cette réduction.

-La canne à sucre est cultivée à 80 pour cent du temps (4 années sur 5). Par conséquent, dans le Tableau 4-1, la valeur de 3.4 de la canne à sucre est réduite à 2.7 dans le Tableau 4-2.

Tableau 4-2. Composition de l'hectare théorique irrigué.

Culture	Saison humide (Juin-Octobre)	Saison sèche (Novembre-Mai)
Riz	30.6 %	12.2 %
Blé	- -	17.3
Maïs	16.5	12.5
Sorgho	28.6	12.5
"Niebe"	- -	4.3
Coton	3.0	- -
Tomate	- -	3.5
Canne à sucre	2.7	2.7
Fourrage	14.5	14.5
Total	95.9 %	79.5 %

Rendements de l'élevage du bétail

Les rendements des produits d'animaux de ferme présentés au Tableau 4-4 sont artificiellement haussés en divisant les rendements montrés au Tableau 4-3 par le pourcentage des hectares théoriques en fourrage. Ceci tient compte de l'utilisation des sous-produits de la production des récoltes en fourrage pour le bétail. Les rendements montrés au Tableau 4-3 représentent ceux de bovins, moutons et chèvres. Tous coexistent et utilisent le fourrage disponible à partir des sous-produits des récoltes et des pâturages irrigués. Ceci implique que les rendements présentés au Tableau 4-3 sont ceux de la totalité de la superficie agricole qui est irriguée. Donc, en augmentant artificiellement les rendements pour les produits d'animaux de ferme sur les pâturages irrigués, la production additionnelle du cheptel utilisant le fourrage à partir des sous-produits des récoltes est tenue en ligne de compte. Par exemple, les revenus tirés du lait de chèvre, produit 25, serait durant l'année 50:

(83 F CFA/l) x (73 l/ha) x (269,805 ha) = 1.63 milliard F CFA

Ceci équivaut à utiliser l'équation 4-2 avec les rendements augmentés artificiellement et le plan de récolte du fourrage.

(83 F CFA/l) x (3040 l/ha) x (269,805 ha) x (.024)

= 1.63 milliard F CFA

Tableau 4-3 Produits du bétail par hectare théorique

	Saison Humide			Saison Sèche			
Rendements	Bovins	Moutons	Chèvres	Bovins	Moutons	Chèvres	Total
Lait (l)	97.8	99.1	73.0	26.2	26.5	19.6	342.2
Viande (kg)	41.4	20.1	10.5	11.1	5.4	2.8	91.3

Référence: Rapport de Groupement Manantali

Le Tableau 4-4 montre les revenus et coûts associés à chaque culture pour une agriculture irriguée. Le prix mondial est en F CFA (1979) par tonne métrique et les rendements sont en tonnes métriques par hectare, sauf pour les produits du bétail (viande et lait de bovin, mouton et chèvre) qui sont respectivement en F CFA/litre et litres/ha , F CFA/kilogramme et kilogrammes/ha. Les coûts de production par hectare de récolte sont spécifiés pour les petits et les grands périmètres. La totalité des coûts de production pour le bétail est allouée à la production de la viande. Aucun coût n'est alloué à la production du lait. Le plan de répartition des récoltes indique la fraction de l'hectare théorique

Tableau 4-4. Table des données du secteur économique agricole.

PRODUCT	WORLD PRICE	YIELDS (T/HA) IRRIG.	FLOODED	RECESSION	RAINFED	PRODUCTION COSTS LARGE PER.	%	SMALL PER.	%	CROPPING PATTERN (%) AREA	FLOODED	RECESSSION	RAINFED	WATER REQ.
RICE WET	76270.	4.000	0.0000	0.0000	0.0000	99527.	0.7	63440.	0.3	0.306	0.000	0.000	0.000	1.79
RICE DRY	76270.	3.500	0.0000	0.0000	0.0000	109480.	0.7	81631.	0.3	0.122	0.000	0.000	0.000	2.03
TOMATO W	21180.	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
TOMATO D	21180.	54.000	0.0000	0.0000	0.0000	259065.	0.7	203185.	0.3	0.035	0.000	0.000	0.000	0.98
WHEAT W	109465.	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
WHEAT D	109465.	3.500	0.0000	0.0000	0.0000	222955.	0.7	105229.	0.3	0.173	0.000	0.000	0.000	0.88
NIEBE W	63540.	0.000	0.0000	0.1750	0.0875	0.	0.0	0.	0.0	0.000	0.000	0.025	0.025	0.00
NIEBE D	63540.	0.875	0.1750	0.0000	0.0000	78157.	0.7	45604.	0.3	0.043	0.025	0.000	0.000	1.18
S.CANE W	6038.	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	184825.	0.7	72248.	0.3	0.027	0.000	0.000	0.000	1.20
S.CANE D	6038.	100.000	0.0000	0.0000	0.0000	201415.	0.7	93859.	0.3	0.027	0.000	0.000	0.000	1.96
SORGHM W	71925.	3.500	0.0000	0.3750	0.1875	71724.	0.7	37554.	0.3	0.286	0.000	0.255	0.255	0.64
SORGHM D	71925.	3.500	0.3750	0.0000	0.0000	78169.	0.7	45604.	0.3	0.125	0.255	0.000	0.000	0.93
MAIZE W	73230.	4.000	0.0000	0.3750	0.1875	78503.	0.7	43676.	0.3	0.165	0.000	0.053	0.053	0.74
MAIZE D	73230.	4.000	0.3750	0.0000	0.0000	85544.	0.7	54193.	0.3	0.125	0.053	0.000	0.000	0.88
COTTON W	69156.	3.000	0.0000	0.0000	0.0000	71724.	1.0	0.	0.0	0.030	0.000	0.000	0.000	0.97
COTTON D	69156.	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
C.MILK W	83.	4075.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.024	0.000	0.000	0.000	0.00
C.MILK D	83.	1100.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.024	0.000	0.000	0.000	0.00
C.MEAT W	500.	1725.000	0.0000	0.0000	0.0000	121287.	0.7	72612.	0.3	0.024	0.000	0.000	0.000	1.20
C.MEAT D	500.	460.000	0.0000	0.0000	0.0000	132166.	0.7	92847.	0.3	0.024	0.000	0.000	0.000	1.96
S.MILK W	83.	4130.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.024	0.000	0.000	0.000	0.00
S.MILK D	83.	1100.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.024	0.000	0.000	0.000	0.00
S.MEAT W	700.	840.000	0.0000	0.0000	0.0000	121287.	0.7	72612.	0.3	0.024	0.000	0.000	0.000	1.20
S.MEAT D	700.	225.000	0.0000	0.0000	0.0000	132166.	0.7	92847.	0.3	0.024	0.000	0.000	0.000	1.96
G.MILK W	83.	3040.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.024	0.000	0.000	0.000	0.00
G.MILK D	83.	820.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.	0.0	0.	0.0	0.024	0.000	0.000	0.000	0.00
G.MEAT W	700.	440.000	0.0000	0.0000	0.0000	121287.	0.7	72612.	0.3	0.024	0.000	0.000	0.000	1.20
G.MEAT D	700.	120.000	0.0000	0.0000	0.0000	132166.	0.7	92847.	0.3	0.024	0.000	0.000	0.000	1.96

Tableau 4-4. Suite

Remarques:

1. Dans la colonne des produits, W et D représentent les saisons humide et sèche, respectivement. Les bovins, moutons et chèvres sont représentés par les lettres C. ,S. et G. , respectivement.
2. Les prix mondiaux sont basés sur des valeurs fournies par le Rapport du Groupement Manantali (1979), Annexe 4, page 20 et mis à jour par le Conseil des Ministres de l'OMVS à Nouakchott en mars 1980.
3. Les rendements des récoltes proviennent du Rapport du Groupement Manantali (1979), Annexe 4 page 120. La discussion sur les rendements du lait et de la viande a été présentée plus tôt dans ce rapport.
4. Les rendements pour tout le Bassin du fleuve Sénégal sont traités comme s'ils sont égaux, quoique cela n'est probablement pas vrai.
5. Les rendements pour les surfaces agricoles inondées artificiellement, de récession et alimentées par la pluie sont basés d'après un communiqué personnel, Dr.Ba, Agriculture, OMVS, octobre 1979.
6. La canne à sucre est une culture annuelle récoltée durant la saison sèche.
7. Les coûts de production pour le bétail sont tous alloués à la viande, et aucun au lait.
8. Une distribution identique du fourrage entre les six produits du bétail a été admise.
9. Le plan de répartition des récoltes pour les surfaces agricoles inondées artificiellement, de récession et par alimentation pluviale est basé d'après un communiqué personnel, Dr. Ba, Agriculture, OMVS, octobre 1979.
10. Les besoins en eau sont ajustés pour tenir compte des pertes du système d'irrigation, en supposant une efficacité globale d'irrigation de 60 pour cent (le facteur combiné efficacité de transport- efficacité d'application). On suppose que ces besoins sont les mêmes pour les petits et les grands périmètres de l'ensemble du Bassin du fleuve Sénégal.

réservée pour chaque récolte et pour chaque saison, associée à une production par irrigation, crue artificielle, récession et alimentation pluviale. La dernière colonne spécifie les besoins en eau pendant la période de croissance de chacune des récoltes. Le rapport des surfaces des grands aux petits périmètres a été fixé à 2 pour 1, ce qui équivaut respectivement à 67 et 33 pour cent de la surface d'un hectare théorique.

Les Données des Superficies Agricoles (AREA.DAT)

Les Données des Superficies Agricoles (Tableau 4-5) sont basées sur l'hypothèse d'un taux de développement pour l'ensemble du Bassin versant de 4000 ha/année pour 1984, et de 5000 ha/année les années subséquentes. Le Tableau 4-5 contient l'année, le taux de développement agricole (RATE), la surface irriguée (AI), la superficie remplacée en culture par récession (ARD), la superficie agricole de culture sèche remplacée (ADD), la superficie inondée artificiellement (AF) et, pour chaque pays, la superficie irriguée exprimée en pourcentage de la superficie totale irriguée du Bassin versant, AI. Toutes les valeurs sont des totaux de fin d'année.

Puisque les coûts et revenus agricoles sont supposés identiques pour tous les pays, il n'a pas été nécessaire de séparer les aires agricoles par pays ou bien d'établir une distinction entre les sols du delta et ceux de la vallée pour effectuer les calculs de profits. Toutefois, le développement agricole par pays a été rendu nécessaire afin d'attribuer les coûts de l'eau pour l'irrigation.

La proportion initiale du développement des superficies agricoles sont de 0.1666, 0.3436, 0.4898 pour le Mali, la Mauritanie et le Sénégal, respectivement (Bowles et al. 1980, Tableau 9, p. 24). Ces proportions sont

maintenues jusqu'à ce que le Mali développe son potentiel de 23,437 hectares. Une fois que le Mali a développé son potentiel, les taux de développement de la Mauritanie au Sénégal sont maintenus dans un rapport de 1:1.425.

À l'intérieur du Bassin du fleuve Sénégal, 270 ha, 5305 ha et 23,230 ha étaient irrigués au Mali, en Mauritanie et au Sénégal, respectivement, en 1980. La surface totale initialement irriguée (1980) est donc de 28,805 hectares. Ces superficies initiales sont basées d'après Les Aménagements Hydroagricoles dans le Bassin du fleuve Sénégal, Rapport ER/PC/79-12 (OMVS 1979) dans le cas du Sénégal et de la Mauritanie, et d'après le Rapport du Groupement Manantali (1979) Annexe 4, pour le Mali (avec des taux de développement des années 1981-1984 admis pour 1980). La superficie totale prévue pour l'irrigation, à partir des Barrages Diama et Manantali combinés, est de 375,000 hectares. 315,000 ha seront irrigués à partir du Barrage Manantali, tandis que les 60,000 ha restants seront irrigués à partir du Barrage Diama.

Les aires potentielles pour l'exploitation agricole par récession et par culture sèche devant être remplacées sont de 108,633 ha et 75,000 ha, respectivement. Il est supposé que chaque hectare de nouvelle superficie irriguée remplacera tout d'abord un hectare d'exploitation agricole par récession jusqu'à ce que la culture par récession soit entièrement remplacée. Ensuite, chaque hectare de nouvelle surface irriguée remplacera un hectare de culture sèche jusqu'à ce que les 75,000 ha soient remplacés. Par la suite, l'expansion de l'irrigation ouvrira de nouvelles terres pour la culture.

Il est supposé que la crue artificielle décrite par le Sénégal Consult

Tableau 4-5. Table des données des superficies agricoles.

YEAR	RATE	AI	ARD	ADD	AF	MALI	MAUR	SENE
1980	0.	28805.	0.	0.	0.	0.0094	0.1842	0.8065
1981	4000.	32805.	4000.	0.	0.	0.0285	0.2036	0.7678
1982	4000.	36805.	8000.	0.	0.	0.0435	0.2188	0.7376
1983	4000.	40805.	12000.	0.	0.	0.0556	0.2311	0.7133
1984	4000.	44805.	16000.	0.	0.	0.0655	0.2411	0.6934
1985	5000.	49805.	21000.	0.	0.	0.0757	0.2514	0.6729
1986	5000.	54805.	26000.	0.	0.	0.0840	0.2598	0.6562
1987	5000.	59805.	31000.	0.	0.	0.0909	0.2668	0.6423
1988	5000.	64805.	36000.	0.	0.	0.0967	0.2727	0.6306
1989	5000.	69805.	41000.	0.	20195.	0.1017	0.2778	0.6205
1990	5000.	74805.	46000.	0.	15195.	0.1061	0.2822	0.6117
1991	5000.	79805.	51000.	0.	10195.	0.1099	0.2861	0.6041
1992	5000.	84805.	56000.	0.	5195.	0.1132	0.2894	0.5974
1993	5000.	89805.	61000.	0.	195.	0.1162	0.2925	0.5914
1994	5000.	94805.	66000.	0.	0.	0.1188	0.2952	0.5860
1995	5000.	99805.	71000.	0.	0.	0.1212	0.2976	0.5812
1996	5000.	104805.	76000.	0.	0.	0.1234	0.2998	0.5768
1997	5000.	109805.	81000.	0.	0.	0.1254	0.3018	0.5729
1998	5000.	114805.	86000.	0.	0.	0.1272	0.3036	0.5693
1999	5000.	119805.	91000.	0.	0.	0.1288	0.3053	0.5659
2000	5000.	124805.	96000.	0.	0.	0.1303	0.3068	0.5629
2001	5000.	129805.	101000.	0.	0.	0.1317	0.3082	0.5601
2002	5000.	134805.	106000.	0.	0.	0.1330	0.3095	0.5575
2003	5000.	139805.	108633.	2367.	0.	0.1342	0.3108	0.5550
2004	5000.	144805.	108633.	7367.	0.	0.1353	0.3119	0.5528
2005	5000.	149805.	108633.	12367.	0.	0.1364	0.3129	0.5507
2006	5000.	154805.	108633.	17367.	0.	0.1373	0.3139	0.5487
2007	5000.	159805.	108633.	22367.	0.	0.1383	0.3149	0.5469
2008	5000.	164805.	108633.	27367.	0.	0.1391	0.3157	0.5451
2009	5000.	169805.	108633.	32367.	0.	0.1380	0.3173	0.5446
2010	5000.	174805.	108633.	37367.	0.	0.1341	0.3201	0.5459
2011	5000.	179805.	108633.	42367.	0.	0.1303	0.3226	0.5470
2012	5000.	184805.	108633.	47367.	0.	0.1268	0.3251	0.5481
2013	5000.	189805.	108633.	52367.	0.	0.1235	0.3274	0.5491
2014	5000.	194805.	108633.	57367.	0.	0.1203	0.3296	0.5501
2015	5000.	199805.	108633.	62367.	0.	0.1173	0.3316	0.5511
2016	5000.	204805.	108633.	67367.	0.	0.1144	0.3336	0.5520
2017	5000.	209805.	108633.	72367.	0.	0.1117	0.3355	0.5528
2018	5000.	214805.	108633.	75000.	0.	0.1091	0.3373	0.5536
2019	5000.	219805.	108633.	75000.	0.	0.1066	0.3390	0.5544
2020	5000.	224805.	108633.	75000.	0.	0.1043	0.3406	0.5551
2021	5000.	229805.	108633.	75000.	0.	0.1020	0.3422	0.5558
2022	5000.	234805.	108633.	75000.	0.	0.0998	0.3437	0.5565
2023	5000.	239805.	108633.	75000.	0.	0.0977	0.3451	0.5571
2024	5000.	244805.	108633.	75000.	0.	0.0957	0.3465	0.5578
2025	5000.	249805.	108633.	75000.	0.	0.0938	0.3478	0.5584
2026	5000.	254805.	108633.	75000.	0.	0.0920	0.3491	0.5589
2027	5000.	259805.	108633.	75000.	0.	0.0902	0.3503	0.5595
2028	5000.	264805.	108633.	75000.	0.	0.0885	0.3515	0.5600
2029	5000.	269805.	108633.	75000.	0.	0.0869	0.3526	0.5605
2030	5000.	274805.	108633.	75000.	0.	0.0853	0.3537	0.5610

(1970) débute en 1989, lorsque le Barrage de Manantali est achevé, et se poursuit jusqu'à ce que la surface irriguée atteigne 90,000 hectares, ce qui représente l'estimé de la superficie disponible pour la crue artificielle (Rapport du Groupement Manantali (1979), Annexe 4, p. 82). Cette crue permettra à l'agriculture par récession de se poursuivre jusqu'à ce qu'elle soit remplacée par une agriculture irriguée.

Programme des superficies (AREA.FTN)

Le programme FORTRAN AREA.FTN peut être utilisé pour générer le tableau des superficies agricoles, AREA.DAT, tableau basé d'après les hypothèses présentées plus haut. Même si le programme génère le tableau AREA.DAT, il devrait être mentionné que ce tableau peut être généré manuellement. De plus, des changements peuvent être réalisés pour s'ajuster aux conditions en cours.

Le programme lui-même est fondamentalement une procédure de comptabilité. Il totalise les superficies développées et les surfaces artificiellement inondées et il détermine en plus les aires de culture sèche et d'agriculture par récession. Il détermine également le pourcentage de superficie irriguée dans chaque pays en fonction de l'aire totale irriguée.

Données entrées interactivement

Le modèle AGBEN peut être opéré en utilisant une séries de données de base qui sont déjà entrées dans le programme. Ces données sont consistantes avec les Rapports 4 et 5 de l'Etude d'Allocation des Coûts du fleuve Sénégal (Bowles et al. 1980, 1981). Si l'utilisateur désire utiliser d'autres données, il peut le faire de façon interactive. À ce moment, les données devant être entrées de façon interactive ainsi que leurs valeurs par

défaut, correspondant au Modèle des Profits Agricoles, AGBEN, et au programme des surfaces agricoles, AREA.FTN, sont les suivantes:

Pour AGBEN.FTN.

1. Le coût du développement par hectare nouveau (F CFA/ha). (Valeur par défaut = 3,560,000 F CFA/ha) (2,800,000 + 760,000).

2. Le coût de remplacement de la pompe (F CFA/ha). (Valeur par défaut = 760,000 F CFA/ha).

3. La durée effective de la pompe, en années (le temps écoulé avant le remplacement de la pompe).(Défaut = 5 ans).

4. La durée du projet, en années.(Défaut = 50 ans).

5. Le taux d'escompte, en décimales.(Défaut = 0.05).

Pour AREA.FTN.

1. Le "nouveau" taux de développement (ha/année). (Défaut = 5000 ha/année) (Le taux initial de développement est de 4000 ha/année).

2. La période à partir de laquelle le "nouveau" taux de développement débute (années). (Défaut = 4 ans).

3. La période pour la crue artificielle (années). (Défaut = 9 ans).

4. La proportion initiale de la surface de développement du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal, sous forme décimale. (Défaut = 0.1666, 0.3436 et 0.4898, respectivement).

5. Le nombre maximal d'hectares pouvant être développés au Mali (ha). (Défaut = 23,437 ha).

6. La proportion de la surface de développement allouée à la Mauritanie et au Sénégal, une fois le développement potentiel du Mali atteint, sous forme décimale. (Défaut = o.4125 et 0.5875, respectivement).

7. La surface initiale irriguée au Mali, en Mauritanie et au Sénégal (ha). (Défaut = 270, 5305 et 23,230, respectivement).

8. La superficie totale irriguée (ha). (La somme des surfaces ci-haut). (Défaut = 28,805 ha).

L'entrée des données de base. À mesure que la surface irriguée augmentera, il est probable que des informations supplémentaires permettront d'améliorer les données de base existantes. Dans le cas où l'utilisateur désire modifier les données incluses dans les fichiers de données de base, les changements devront être effectués aux fichiers eux-mêmes. Le fichier de données du Secteur Économique Agricole, AGTAB.PRE, est écrit en format libre. Chaque ligne est constituée des informations suivantes, par ordre: le numéro de ligne correspondant à une culture pour chacune des saisons, tel que montré au Tableau 4-4, le prix mondial de 1979, les rendements à partir de l'agriculture irriguée, les rendements des surfaces avec agriculture par inondation artificielle, les rendements à partir de la culture par récession, les rendements à partir de l'agriculture par alimentation pluviale, les coûts de production pour les grands périmètres, le pourcentage d'un hectare théorique en grands périmètres pour cette récolte, les coûts de production pour les petits périmètres, le pourcentage d'un hectare théorique en petits périmètres pour cette récolte (le complément du pourcentage en grands périmètres), le pourcentage d'un hectare théorique pour chacune des aires irriguées suivantes: aires artificiellement inondées, aires avec agriculture par récession, aires de culture par alimentation pluviale et les besoins en eau de la récolte.

Le fichier de données du Secteur Économique Agricole est difficile à lire en format libre. Pour cette raison, le programme WRITE a été écrit pour retranscrire le fichier de données, AGTAB.PRE, dans un format plus lisible, AGDATA.OUT (Tableau 4-4). Toutefois, l'utilisateur doit se rap-

peler que le fichier de données AGDATA.OUT n'est pas directement utilisé par le Modèle des Profits Agricoles, AGBEN. Tout changement aux données de base doit, par conséquent, être fait dans le fichier AGTAB.PRE et non pas au fichier AGDATA.OUT.

Le format pour le fichier de Données des Superficies Agricoles, AREA.DAT, (Tableau 4-5) est I10, F12.0, F11.0, F11.0, F11.0, et F10.0 correspondant à l'année, le taux de développement agricole, les aires irriguées, l'aire de l'agriculture par récession remplacée, l'aire de l'agriculture par alimentation pluviale remplacée et l'aire artificiellement inondée, respectivement. À noter que l'année est un nombre entier tandis que les autres données sont des nombres réels.

Algorithmes du Modèle des Profits Agricoles (AGBEN)

Dans le but d'une justification du projet et de répartir les coûts joints du Barrage Manantali, les profits agricoles sont constitués des retombées premières nettes à la terre irriguée. Les profits annuels pour chaque récolte sont estimés pour les 315,000 ha assignés au Barrage Manantali comme suit:

$$AGBEN = RI + RF - RRL - RDL - FC - VC \quad (4\text{-}1)$$

où

AGBEN = profits agricoles

RI = revenus tirés des superficies irriguées

RF = revenus tirés des superficies artificiellement irriguées

RRL = revenus perdus en provenance des superficies avec agriculture par récession

RDL = revenus perdus en provenance des superficies avec agriculture par alimentation pluviale

FC = coûts fixes (développement de la terre et remplacement de la pompe)

VC = coûts variables (coûts de production)

Toutes les valeurs sont exprimées en F CFA, 1979.

Revenus de l'agriculture

Pour chaque produit, les revenus annuels tirés des superficies irriguées sont calculés comme suit:

$$RI = WP * Y * (AI * CP) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}2)$$

où

RI = revenu tiré de la superficie irriguée (F CFA)

WP = prix mondial (F CFA/tonne métrique)

Y = rendement de l'agriculture irriguée (tonne métrique/ha)

AI = superficie irriguée (ha)

CP = plan de culture de la superficie irriguée (hectare théorique) (fraction)

La superficie irriguée correspond au nombre d'hectares disponibles au début de l'année de récolte. Les revenus annuels provenant de la superficie artificiellement inondée (RF) sont calculés selon une méthode similaire mais en utilisant des valeurs correspondant à la superficie artificiellement inondée (AF).

Valeur de la production remplacée

La valeur de la production remplacée correspond au revenu perdu en

raison du remplacement des superficies pratiquant une agriculture par récession et par alimentation pluviale (RRL et RDL, respectivement). Elle est calculée de la même façon que le revenu correspondant à l'équation 4-2, exception faite que AI est substituée par l'aire agricole remplacée. L'aire remplacée représente l'aire précédemment cultivée par récession (ARD) ou par alimemtation pluviale (ADD) au début de l'année de récolte. Il est à noter que les superficies irriguées qui sont développées ne peuvent pas être utilisées pour une agriculture par récession ou par alimentation pluviale.

Aucune différence n'est attribuée entre les récoltes vendues pour de l'argent comptant et celles consommées par les cultivateurs. Donc, pour ces derniers, la valeur imputée à la production traditionnelle consommée à la ferme utilise le prix mondial comme un coût d'occasion.

Coûts hors-projet.

Coûts fixes. Les coûts fixes annuels sont constitués des coûts de développement de nouvelles surfaces agricoles et des coûts de remplacement des pompes. Ils sont calculés comme suit:

$$TFC = (C_1 * R) + (C_3 * AI) \quad \text{.....(4-3)}$$

où

TFC = coût fixe annuel et total (F CFA)

C_1 = coût de développement par nouvel hectare (F CFA/ha)

R = taux de développement agricole (ha/année)

C_3 = coût réparti du remplacement de la pompe (F CFA/ha/année)

AI = superficie de terre irriguée au début de l'année (ha)

Les coûts de remplacement de la pompe sont répartis sur la durée de vie de la pompe.

$$C_3 = C_2 * SFF \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}4)$$

où

C_2 = coûts de la pompe (F CFA/ha)

SFF = facteur d'amortissement

$$SFF = \frac{r}{(1 + r)^n - 1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}5)$$

où

r = le taux d'escompte, sous forme décimale

n = nombre d'années écoulées avant le remplacement de la pompe

Pour déterminer le coût fixe de chaque récolte (FC), les coûts fixes, TFC, sont multipliés par le facteur de répartition des récoltes (la proportion de la récolte par rapport à l'hectare théorique). Le facteur de répartition des récoltes est automatiquement ajusté à l'intérieur même du programme AGBEN pour s'assurer que 100 pour cent des coûts fixes totaux soient proportionnellement distribués entre tous les produits montrés au Tableau 4-4.

Coûts variables. Les coûts annuels variables pour chaque récolte (VC), sont formés de la somme des coûts de production attribués aux grands et aux petits périmètres. Ils sont calculés comme suit:

$$VC = [(PC_L * P_L) + (PC_S * P_S)] * AI * CP \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}6)$$

où

VC =coûts variables (F CFA/ha)

PC_L =coûts de production pour les grands périmètres (F CFA/ha)

P_L =pourcentage de la superficie qui est en grands périmètres (fraction)

PC_s =coûts de production pour les petits périmètres (F CFA/ha)

P_s =pourcentage de la superficie qui est en petits périmètres (fraction)

AI =superficie des terres irriguées au début de l'année (ha)

CP =plan de répartition des récoltes (hectare théorique) (fraction)

La valeur actuelle des profits agricoles est calculée comme suit:

$$SUMB = \sum_{t=1}^{NYEAR} DISF_t * TAGBEN_t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}7)$$

où

SUMB =profit total escompté du projet agricole (F CFA)

NYEAR =durée de vie du projet, en années

$DISF_t$ =facteur d'escompte correspondant à la $t^{ième}$ année

$TAGBEN_t$ =profits annuels totaux agricoles (F CFA/année)

$$DISF_t = \frac{1}{(1 + r)^{t-1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}8)$$

où

r =taux d'escompte, sous forme décimale

t =temps, en années

Besoins en eau

Les besoins totaux en eau pour l'irrigation,pour l'ensemble du Bassin, TWR, sont formés de la somme des demandes en eau propre à chaque produit, WR, et sont calculés comme suit:

$$TWR = \sum_{i=1}^{NCROP} WR * CP * (AI * 10000) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}9)$$

où

TWR = besoins totaux en eau pour l'irrigation (m^3)

WR = demande en eau d'une culture (m/saison)

CP = plan de répartition des récoltes (hectare théorique) pour chaque saison

NCROP = nombre de substances ou de récoltes produites

Pour déterminer les besoins en eau pour l'irrigation à l'intérieur de chaque pays, les besoins totaux, TWR, sont multipliés par le rapport des superficies développées dans chaque pays à la superficie totale développée sur l'ensemble du Bassin. Les résultats du calcul des besoins en eau pour chaque récolte sont présentés au Tableau 5-2.

Sortie du Modèle des Profits Agricoles AGBEN

Les résultats de l'exécution du modèle AGBEN sont regroupés dans trois fichiers de sortie: CHECK.OUT, AGBEN.OUT et AGQ.DAT.

Le fichier CHECK.OUT (Tableau 4-6) classifie les profits individuels et les demandes en eau pour chaque culture demandée par l'utilisateur. La sortie consiste en neuf colonnes, énumérées dans l'ordre:

le numéro du produit, (I);

le revenu généré par une agriculture irriguée, (RI);

le revenu généré par les surfaces artificiellement inondées, (RF);

le revenu perdu tiré d'une agriculture par récession,(RRL);

le revenu perdu tiré d'une agriculture par alimentation pluviale,(RDL);

les coûts fixes, (FC);

les coûts variables, (de production), (VC);

les demandes en eau, (WR); et

les profits tirés du produit, (AGBEN).

Les totaux de chaque colonne, pour l'année K, sont indiqués sur la dernière ligne de la sortie.

Le fichier AGBEN.OUT (Tableau 4-7) spécifie les demandes totales en eau et les profits agricoles pour chaque année. La première colonne représente l'année, la seconde spécifie les besoins totaux en eau pour l'année, et la troisième les profits annuels totaux agricoles. Les demandes totales en eau du projet et les profits agricoles sont escomptés à partir de 1980. Les demandes en eau escomptées du projet sont utilisées dans le but de calculer les frais d'utilisation sur une base consistante. Les frais pour l'utilisateur sont calculés de telle sorte que le remboursement des coûts escomptés du projet s'effectuera pendant toute la durée de vie du projet.

Le fichier de sortie, AGQ.DAT (Tableau 4-8) fournit les demandes annuelles en eau pour chacun des trois pays, Mali, Mauritanie et Sénégal, en plus de donner le total pour chaque année. Une discussion des résultats du programme AGBEN, est développée au chapitre 5.

Tableau 4-6. Profits individuels et demandes en eau.

I	RI	RF	RRL	RDL	FC	VC	WR	AGBEN
1	2.52E+10	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	9.59E+09	7.23E+09	1.48E+09	8.36E+09
2	8.79E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	3.82E+09	3.30E+09	6.68E+08	1.66E+09
3	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01
4	1.08E+10	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	1.10E+09	2.27E+09	9.25E+07	7.43E+09
5	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01
6	1.79E+10	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	5.42E+09	8.59E+09	4.11E+08	3.87E+09
7	0.00E-01	0.00E-01	3.02E+07	1.04E+07	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	-4.06E+07
8	6.45E+08	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	1.35E+09	7.82E+08	1.37E+08	-1.48E+09
9	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	8.46E+08	1.08E+09	8.74E+07	-1.92E+09
10	4.40E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	8.46E+08	1.21E+09	1.43E+08	2.34E+09
11	1.94E+10	0.00E-01	7.47E+08	2.58E+08	8.96E+09	4.66E+09	4.94E+08	4.79E+09
12	8.49E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	3.92E+09	2.27E+09	3.14E+08	2.30E+09
13	1.30E+10	0.00E-01	1.59E+08	5.49E+07	5.17E+09	2.98E+09	3.29E+08	4.67E+09
14	9.88E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	3.92E+09	2.54E+09	2.97E+08	3.43E+09
15	1.68E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	9.40E+08	5.81E+08	7.85E+07	1.59E+08
16	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01
17	2.19E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	0.00E-01	0.00E-01	1.44E+09
18	5.91E+08	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	0.00E-01	0.00E-01	-1.61E+08
19	5.58E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	6.81E+08	7.77E+07	4.15E+09
20	1.49E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	7.72E+08	1.27E+08	-3.47E+07
21	2.22E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	0.00E-01	0.00E-01	1.47E+09
22	5.91E+08	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	0.00E-01	0.00E-01	-1.61E+08
23	3.81E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	6.81E+08	7.77E+07	2.37E+09
24	1.02E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	7.72E+08	1.27E+08	-5.04E+08
25	1.63E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	0.00E-01	0.00E-01	8.82E+08
26	4.41E+08	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	0.00E-01	0.00E-01	-3.11E+08
27	1.99E+09	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	6.81E+08	7.77E+07	5.61E+08
28	5.44E+08	0.00E-01	0.00E-01	0.00E-01	7.52E+08	7.72E+08	1.27E+08	-9.80E+08
K	TRI	TRF	TRRL	TRDL	TFC	TVC	TWR	TAGBEN
50	1.42E+11	0.00E-01	9.36E+08	3.23E+08	5.49E+10	4.19E+10	5.14E+09	4.43E+10

Tableau 4-7. Demandes totales en eau et profits agricoles.

YEAR	TWR	TAGBEN
1980	5.49E+08	-7.51E+09
1981	6.25E+08	-6.61E+09
1982	7.02E+08	-5.70E+09
1983	7.78E+08	-4.80E+09
1984	8.54E+08	-7.46E+09
1985	9.49E+08	-6.33E+09
1986	1.04E+09	-5.20E+09
1987	1.14E+09	-4.07E+09
1988	1.24E+09	-2.94E+09
1989	1.33E+09	-1.63E+09
1990	1.43E+09	-5.45E+08
1991	1.52E+09	5.43E+08
1992	1.62E+09	1.63E+09
1993	1.71E+09	2.72E+09
1994	1.81E+09	3.85E+09
1995	1.90E+09	4.98E+09
1996	2.00E+09	6.11E+09
1997	2.09E+09	7.24E+09
1998	2.19E+09	8.37E+09
1999	2.28E+09	9.50E+09
2000	2.38E+09	1.06E+10
2001	2.47E+09	1.18E+10
2002	2.57E+09	1.29E+10
2003	2.66E+09	1.41E+10
2004	2.76E+09	1.52E+10
2005	2.86E+09	1.64E+10
2006	2.95E+09	1.75E+10
2007	3.05E+09	1.87E+10
2008	3.14E+09	1.98E+10
2009	3.24E+09	2.10E+10
2010	3.33E+09	2.21E+10
2011	3.43E+09	2.33E+10
2012	3.52E+09	2.44E+10
2013	3.62E+09	2.56E+10
2014	3.71E+09	2.67E+10
2015	3.81E+09	2.79E+10
2016	3.90E+09	2.90E+10
2017	4.00E+09	3.02E+10
2018	4.09E+09	3.14E+10
2019	4.19E+09	3.25E+10
2020	4.28E+09	3.37E+10
2021	4.38E+09	3.49E+10
2022	4.48E+09	3.61E+10
2023	4.57E+09	3.72E+10
2024	4.67E+09	3.84E+10
2025	4.76E+09	3.96E+10
2026	4.86E+09	4.08E+10
2027	4.95E+09	4.19E+10
2028	5.05E+09	4.31E+10
2029	5.14E+09	4.43E+10

DISCOUNTED TOTAL PROJECT AGRICULTURAL BENEFITS = 1.1743392E+11
DISCOUNTED TOTAL PROJECT WATER REQUIREMENTS = 3.7054169E+10
THE DISCOUNT RATE = 0.05

Tableau 4-8. Demandes en eau annuelles pour l'irrigation, par pays.

MALI	MAURITANIA	SENEGAL	TOTAL	YEAR
1.5647E+07	1.1178E+08	4.2154E+08	5.4903E+08	1980
2.7199E+07	1.3681E+08	4.6120E+08	6.2527E+08	1981
3.9004E+07	1.6212E+08	5.0039E+08	7.0151E+08	1982
5.0942E+07	1.8751E+08	5.3929E+08	7.7775E+08	1983
6.4647E+07	2.1469E+08	5.7465E+08	8.5399E+08	1984
7.9740E+07	2.4663E+08	6.2292E+08	9.4929E+08	1985
9.4953E+07	2.7870E+08	6.7094E+08	1.0446E+09	1986
1.1023E+08	3.1085E+08	7.1881E+08	1.1399E+09	1987
1.2562E+08	3.4314E+08	7.6644E+08	1.2352E+09	1988
1.4116E+08	3.7546E+08	8.1386E+08	1.3305E+09	1989
1.5669E+08	4.0792E+08	8.6132E+08	1.4258E+09	1990
1.7219E+08	4.4020E+08	9.0870E+08	1.5211E+09	1991
1.8782E+08	4.7279E+08	9.5593E+08	1.6164E+09	1992
2.0335E+08	5.0529E+08	1.0031E+09	1.7117E+09	1993
2.1901E+08	5.3776E+08	1.0502E+09	1.8070E+09	1994
2.3474E+08	5.7031E+08	1.0972E+09	1.9023E+09	1995
2.5050E+08	6.0287E+08	1.1444E+09	1.9976E+09	1996
2.6622E+08	6.3540E+08	1.1915E+09	2.0929E+09	1997
2.8184E+08	6.6806E+08	1.2383E+09	2.1882E+09	1998
2.9754E+08	7.0058E+08	1.2854E+09	2.2835E+09	1999
3.1329E+08	7.3314E+08	1.3324E+09	2.3788E+09	2000
3.2905E+08	7.6573E+08	1.3793E+09	2.4741E+09	2001
3.4481E+08	7.9857E+08	1.4260E+09	2.5694E+09	2002
3.6053E+08	8.3112E+08	1.4730E+09	2.6647E+09	2003
3.7646E+08	8.6360E+08	1.5199E+09	2.7600E+09	2004
3.9203E+08	8.9628E+08	1.5667E+09	2.8553E+09	2005
4.0807E+08	9.2914E+08	1.6137E+09	2.9506E+09	2006
4.2368E+08	9.6159E+08	1.6603E+09	3.0459E+09	2007
4.3349E+08	9.9670E+08	1.7107E+09	3.1412E+09	2008
4.3401E+08	1.0360E+09	1.7668E+09	3.2365E+09	2009
4.3413E+08	1.0748E+09	1.8225E+09	3.3318E+09	2010
4.3456E+08	1.1142E+09	1.8784E+09	3.4271E+09	2011
4.3502E+08	1.1532E+09	1.9342E+09	3.5224E+09	2012
4.3521E+08	1.1924E+09	1.9901E+09	3.6177E+09	2013
4.3554E+08	1.2312E+09	2.0462E+09	3.7130E+09	2014
4.3567E+08	1.2705E+09	2.1022E+09	3.8083E+09	2015
4.3603E+08	1.3097E+09	2.1579E+09	3.9036E+09	2016
4.3628E+08	1.3488E+09	2.2138E+09	3.9989E+09	2017
4.3644E+08	1.3879E+09	2.2698E+09	4.0942E+09	2018
4.3697E+08	1.4269E+09	2.3256E+09	4.1895E+09	2019
4.3705E+08	1.4663E+09	2.3815E+09	4.2848E+09	2020
4.3713E+08	1.5054E+09	2.4375E+09	4.3801E+09	2021
4.3725E+08	1.5445E+09	2.4932E+09	4.4754E+09	2022
4.3742E+08	1.5838E+09	2.5495E+09	4.5707E+09	2023
4.3767E+08	1.6228E+09	2.6055E+09	4.6660E+09	2024
4.3804E+08	1.6622E+09	2.6611E+09	4.7613E+09	2025
4.3807E+08	1.7013E+09	2.7173E+09	4.8566E+09	2026
4.3824E+08	1.7406E+09	2.7731E+09	4.9519E+09	2027
4.3860E+08	1.7796E+09	2.8290E+09	5.0472E+09	2028
4.3866E+08	1.8189E+09	2.8849E+09	5.1425E+09	2029
1.5568E+10	4.5656E+10	7.9348E+10	1.4057E+11	TOTALS

CHAPITRE V

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Profits Agricoles

Les profits totaux escomptés, déterminés par le modèle des profits agricoles, AGBEN, sont, en utilisant les données d'entrée présentées au chapitre 4 et pour une durée de vie du projet de 50 ans, de 117.44 milliards F CFA (245 F CFA = $1.00 U.S.). Ce résultat est tiré du Tableau 4-7. Ce Tableau indique également qu'une période de 11 années est requise pour assurer la rentabilité du projet. L'année 1991 représente la première année où les revenus tirés de la production agricole et de l'élevage du bétail suffisent pour rembourser les coûts initiaux de développement du projet, en plus des coûts de production et d'entretien annuel.

Le Tableau 4-6 fournit une analyse des revenus, coûts, besoins en eau et profits nets de chaque produit pour les saisons humide et sèche durant la $50^{ième}$ année. Les nombres apparaissant dans la première colonne du Tableau 4-6 correspondent directement aux produits énumérés sous la colonne "PRODUCT" du Tableau 4-4.

Le Tableau 5-1 montre le nombre d'années requises pour que chacun des produits devienne économiquement rentable, le plan de répartition des récoltes (le pourcentage d'un hectare théorique occupé par une culture particulière) pour chaque saison, et le nombre d'années requises pour que les récoltes annuelles fournissent un profit net annuel qui soit positif. Le

nombre d'années requises pour que chaque produit devienne économiquement rentable a été déterminé d'après un examen du fichier de sortie CHECK.OUT pour chaque année. Le coût fixe total pour chaque hectare développé est repris proportionnellement par les cultures produites sur un hectare théorique. Donc, dans le cas où une portion de l'hectare théorique n'est pas utilisée, par exemple en saison sèche, les cultures produites supporteront la charge fiscale. Tel que montré dans le Tableau 5-1, 95.8 pour cent et 79.4 pour cent de l'hectare théorique est cultivé durant les saisons des pluies et sèches, respectivement. Ce qui signifie que 55 pour cent des coûts fixes totaux sont supportés par les cultures ayant poussées

Tableau 5-1. Nombre d'années pour atteindre des profits positifs, pour chaque produit.

Culture	Saison Humide	Plan de répartition des récoltes (%)	Saison Sèche	Plan de répartition des récoltes (%)	(-) Annuel Net
Riz	11	30.6	20	12.2	
Tomate	n.disp.	0.0	1	3.5	
Blé	n.disp.	0.0	13	17.3	
"Niebe"	n.disp.	0.0	- -	4.3	
Canne à sucre	"	2.7	n.disp.	2.7	27
Sorgho	18	28.6	16	12.5	
Maïs	11	16.5	11	12.5	
Coton	32	3.0	n.disp.	0.0	
Bétail					
Bovins	n.disp	4.8	n.disp.	4.8	3
Moutons	n.disp.	4.8	n.disp.	4.8	9
Chèvres	n.disp.	4.8	n.disp.	4.8	43
TOTAL		95.8		79.4	

durant la saison humide.

Si le plan de répartition des récoltes pendant la saison sèche était augmenté à 95.8 pour cent, qui est celui de la saison humide, le temps mis par chaque produit pour atteindre des profits nets positifs serait réduit d'approximativement 20 pour cent. En d'autres termes, le riz aurait, pendant la saison sèche, des profits nets positifs à partir de la seizième année.

Quoique le "niebe" ou "cowpea" ne présente pas de profits positifs à l'intérieur de la durée de vie du projet (50 ans), des profits secondaires justifient sa production. Le "niebe" possède une haute valeur nutritive, 23 à 25 pour cent de protéines; il produit un fourrage de haute qualité 30 tonnes/ha; et il augmente les niveaux d'azote dans le sol, fournissant alors des profits indirects au bétail et aux autres récoltes.

La raison pour laquelle le sorgho prend plus de temps avant d'atteindre des profits positifs nets pendant la saison des pluies provient du fait que, durant cette saison, des revenus sont perdus à cause du remplacement de la culture de sorgho sur des surfaces normalement cultivées par récession ou par alimentation pluviale.

Tel que montré, l'élevage du bétail produit approximativement 15.5 pour cent des profits agricoles totaux. Toutefois, la production ultérieure de chèvres sera vraisemblablement remplacée par une production bovine ou ovine, qui sont plus rentables.

Petits contre grands périmètres

En modifiant le rapport des surfaces en grands et petits périmètres de 2:1 à 1:1, et en laissant les autres données du fichier AGTAB.PRE inchangées, le profit total escompté agricole devient égal à 141.87 milliards

F CFA, ce qui représente une hausse de 20.8 pour cent.

Les rendements pour les petits et les grands périmètres seront également presque toujours différents. Diallo (1980) mentionne que pour les grands périmètres, les rendements du riz au Sénégal sont plus faibles que ceux correspondant aux petits périmètres. Il justifie ceci en disant que l'agriculture pratiquée sur des grands périmètres est fréquemment une activité secondaire pour les ouvriers. Ces ouvriers sont des domestiques, des marchands, des bergers ou des artisans. Ils s'absentent fréquemment de leur lot pour des jours ou des semaines. En conséquence, la majorité du travail, comme l'ensemencement, est négligé. Par contre, beaucoup de travail est requis dans les petits périmètres, puisque tout se fait manuellement. Il est par conséquent impossible qu'un étranger puisse posséder un lot.

Diallo (1980) rapporte aussi que les coûts d'investissement pour les grands périmètres sont de plusieurs fois supérieurs aux coûts pour les petits périmètres. Les hauts coûts d'investissement par hectare sont attribués au fait que les compagnies embauchées pour la construction des périmètres d'irrigation maintiennent leurs tarifs très élevés. Il n'existe que peu de compétition entre de telles compagnies, et aucune recherche systématique pour obtenir des solutions amenant des réductions de prix unitaire n'est entreprise.

Si de hauts revenus et avantages sont à prévoir des grands périmètres, un fort leadership et une bonne gestion sont requis pour exploiter les étrangers qui ne sont pas entièrement impliqués dans l'agriculture, pour produire des espèces à haut rendement en utilisant la technologie disponible, pour appliquer les quantités optimales d'eau et d'engrais et pour réduire les coûts de construction, d'opération et d'administration.

Besoins en Eau pour l'Irrigation

Les demandes annuelles en eau pour l'irrigation et les demandes totales escomptées en eau pour le projet (50 ans) sont présentées au Tableau 4-7. Les demandes saisonnières pour chaque produit sont montrées au Tableau 5-2. La méthodologie employée pour déterminer les besoins en eau pour l'irrigation est présentée dans le chapitre 2. Les besoins saisonniers en eau montrés au Tableau 4-4 supposent une efficacité d'irrigation de 60 pour cent. La raison d'utiliser cette efficacité de 60 pour cent est décrite dans le chapitre 2.

Évapotranspiration potentielle.

Les valeurs mensuelles d'évapotranspiration, ET_o, de l'herbage "Alta fescue" utilisée comme culture de référence sont présentées au Tableau 5-3. La détermination de ET_o est basée d'après des données de radiation solaire enregistrées aux stations climatologiques de Richard-Toll, Guede, Kaedi et Same. Puisque les valeurs de radiation solaire, RS, ne varient pas significativement à l'intérieur même du Bassin du fleuve Sénégal, les valeurs mensuelles de RS pour chacune des stations ont été moyennées, donnant ainsi des estimés mensuels de radiation pour tout le Bassin. Ces valeurs sont présentées au Tableau 5-3.

Les quantités de précipitation mensuelles correspondant à différents niveaux de probabilité de dépassement, la précipitation moyenne mensuelle, les températures mensuelles moyennes en ^oC, et l'évapotranspiration moyenne mensuelle en mm, ET_o (présentée comme étant ETP) de l'herbage "Alta fescue", sont présentées dans l'Appendice B pour les stations climatologi-

Tableau 5-2. Demande en eau des récoltes.

	Rice		Tomato		Wheat		Niebe		Sugar Cane		Sorghum		Maize		Cotton		Forage	
	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
Monthly ET_o																		
Jan		129		129		129		129		129		129		129				
Feb		151		151		151		151		151		151		151				129
Mar		179		179		179		179		179		179		179				151
Apr		196		196				196		196		196						179
May		203								203								196
June									192				192		192		192	203
July	186								186		186		186		186		186	
Aug	171								171		171		171		171		171	
Sept	173								173		173		173		173		173	
Oct	167								167		167				167		167	
Nov	132									132								132
Dec						129		129		129				129				129
Seasonal ET_o	829	858		655		588		784	889	1119	697	655	722	588	890		889	1119
Seasonal K_c	1.20	1.20		0.90		0.90		0.90	1.05	1.05	0.85	0.85	0.90	0.90	0.90		1.05	1.05
ET_{crop}	995	1030		590		529		706	933	1175	592	557	650	529	800		933	1175
P_e**	207	0		0		0		0	215	0	207	0	208	0	215		215	0
I	1788*	2030*		590		529		706	718	1175	385	557	442	529	585		718	1175
Efficiency																		
60%	N/A	N/A		983		882		1176	1197	1958	642	928	736	882	975		1197	1958
75%	N/A	N/A		786		706		941	958	1567	513	743	590	702	780		958	1567

*Includes 1000 mm of water for soaking, filling, and percolation losses.
**Based on rainfall with a 50 percent probability of occurrence or exceedence.

Tableau 5-3. RS, ET_o, précipitations réelle et effective sur l'ensemble du Bassin du fleuve Sénégal.

Mois	RS (cal/cm^2)	ET_o (mm)	Précipitation Réelle (mm)	Précipitation Effective (mm)
Jan	425	129	0	0
Fev	505	151	0	0
Mars	550	179	0	0
Avril	585	196	0	0
Mai	580	203	0	0
Juin	560	192	8	8
Juil	550	186	54	50
Août	510	171	96	80
Sept	520	173	80	70
Oct	485	167	7	7
Nov	420	132	0	0
Dec	410	129	0	0
Annuel	6100	2008	245	215

ques de Saint-Louis, Rosso, Podor, Matam et Kayes.

Précipitation effective, Pe.

Les valeurs de la précipitation réelle et de la précipitation effective anticipées à la surface du fleuve Sénégal sont également présentés au Tableau 5-3. La précipitation réelle est définie comme étant la quantité de pluie correspondant à une probabilité de 50 pour cent d'occurence ou de dépassement, basé d'après une loi de distribution gamma. Le niveau de probabilité de 50 pour cent est utilisé pour planifier et déterminer les coûts de l'utilisateur parce que ce niveau représente une moyenne à long terme. La précipitation réelle pour l'ensemble du Bassin versant du fleuve Sénégal est basé d'après la répartition spatiale de la précipitation en aval de Matam. Cette région est la partie sèche du Bassin et elle inclut 70 pour cent de la superficie prévue pour l'aménagement agricole. La répartition de la précipi-

tation pour cette région a été déterminée en utilisant la moyenne des précipitations réelles pour les stations climatologiques de Saint-Louis, Rosso, Podor, Matam et Kayes. Dans le cas où un futur utilisateur préférerait utiliser un différent niveau de probabilité d'occurence ou de dépassement pour déterminer la précipitation réelle, l'Annexe B contient des quantités de précipitation reliées à un éventail complet de probabilités pour les cinq stations climatologiques précitées.

La précipitation effective a été calculée en utilisant le Tableau 2-2. D'autres raffinements peuvent être faits pour estimer la précipitation effective par la considération de facteurs tels: le type de sol, l'intensité des précipitations (courbes des hauteur-durée), couverture au sol, et des facteurs de gestion tels l'utilisation de sillons sur les faibles pentes, l'incorporation de résidus de plantes dans le sol et les pratiques de labourage.

Des raffinements additionnels pour calculer la précipitation effective ne sont pas justifiés dans l'analyse en raison de la nature approximative de la précipitation actuelle et des besoins en eau. Des raffinements supplémentaires devraient toutefois être considérés lorsqu'une planification détaillée sera mise à exécution pour des grands périmètres.

Hauteur-durée de la précipitation.

Les estimés de l'hauteur-durée de la précipitation correspondant à une période de retour de 10 ans et à des durées de précipitation de 24, 1, et 1/2 heure, et à une période de retour de 5 ans, pour une durée de précipitation de 1/2 heure ($P_{10,24}$, $P_{10,1}$, $P_{10,0.5}$, $P_{5,0.5}$, respectivement) sont présentés au Tableau 5-4. Ces estimés sont calculés d'après l'équation 2-7.

Les valeurs du coefficient de calibration, K, de l'équation 2-8 sont également montrées au Tableau 5-4 pour chaque station et chaque mois présentés. Ces valeurs de, K, ont été déterminés en utilisant l'équation 2-11 et les valeurs de , P_{05}, présentées dans l'Appendice B. Pour les stations possédant des données sur une période de 30 ans, le facteur, K, a été également déterminé en utilisant la précipitation moyenne maximale de 30 ans, PMX, et les équations 2-8 et 2-10.

La connaissance des hauteur-durée est utile pour déterminer la précipitation effective et des pratiques adéquates de gestion. La quantité de précipitation, qui est actuellement effective, dépend en grande partie du taux d'infiltration de la pluie dans le sol. Les taux d'infiltration dépendent à leur tour de nombreux facteurs tels, le type de sol, la teneur en eau initiale du sol, les pratiques de gestion et l'intensité de la pluie (hauteur-durée). La valeur de $P_{10,24}$, est utile pour déterminer la nécessité d'un drainage, tandis que les valeurs de $P_{10,1}$, $P_{10,0.5}$, et $P_{5,0.5}$, le sont pour déterminer les pratiques souhaitables de conservation du sol.

Les estimés de $P_{5,0.5}$ montrés au Tableau 5-4 sont considérablement au-dessus du taux maximal d'infiltration du sol. Ceci signifie qu'un ruissellement appréciable se produira. Si les pentes sont importantes, il est à prévoir que l'érosion du sol sera également importante.

Agriculture par alimentation pluviale.

Des 375,000 hectares de terres agricoles devant être développées à l'intérieur du Bassin versant du fleuve Sénégal, 70 pour cent se retrouvent en aval de Matam. Le potentiel pour une agriculture par alimentation

pluviale est plutôt limité, puisqu'il n'existe qu'un mois ou moins de précipitation certaine qui soit adéquate pour la production de récoltes. La précipitation certaine se définit comme étant la quantité de pluie correspondant à un seuil de probabilité de 75 pour cent d'occurence ou de dépassement. Une distribution du type gamma a été utilisée dans ce rapport pour l'analyse de fréquence.

En amont de Matam, le potentiel pour une agriculture par alimentation pluviale est plus élevé puisque cette partie du Bassin reçoit pendant trois mois ou plus une précipitation certaine qui soit adéquate pour produire des récoltes. Une analyse détaillée de la durée de la saison pluvieuse certaine pour une agriculture par alimentation pluviale est donnée par Hargreaves (1981).

Tableau 5-4. Précipitation maximale mensuelle mesurée (P_{max}) donnée en hauteur-durée.

Station	Années de la période	P_{max} (mm)	Mois et année	P_{05} (mm)	K (éq.2-8)	$P_{10,24}$ (mm)	$P_{10,1}$ (mm)	$P_{10,0.5}$ (mm)	$P_{5,0.5}$ (mm)
Saint-Louis	30	280	Août'58	235	31.8	103	47	39	35
Rosso	24	199	Août'58	270	29.5	96	43	36	32
Podor	29	315	Sept'56	233	33.3	108	49	41	37
		291	Août'58	204	30.9	100	45	38	34
Matam	30	336	Août'58	273	36.0	117	53	44	40
Kayes	39	402	Août'59	442	50.0	163	73	62	55

CHAPITRE VI

SOMMAIRE ET RECOMMANDATIONS

Le but de cette étude était de développer une méthodologie pour estimer les besoins en eau pour l'irrigation et les profits agricoles associés au développement du fleuve Sénégal. Avec la présentation de cette méthode, un exemple de son fonctionnement a été montré en utilisant un ensemble de données de base, ce qui a permis de calculer les profits agricoles et les demandes en eau pour l'ensemble du Bassin versant du fleuve Sénégal. Cet exemple peut servir pour analyser la répartition des coûts joints du projet entre les secteurs de service et pour déterminer les frais d'utilisation de l'eau. Il faut également noter qu'une des autres applications intéressantes du modèle est son utilisation dans la gestion et l'opération de périmètre d'irrigation. En gardant ceci en mémoire, les recommandations présentées se regroupent à l'intérieur de deux catégories: (1) recommandations concernant l'amélioration de l'estimation des profits agricoles et des demandes en eau pour le Bassin du fleuve Sénégal, et (2) recommandations sur ce qu'il faut faire pour optimiser les profits agricoles et l'utilisation de l'eau.

Recommandations

Dans l'esprit d'améliorer l'estimation des profits agricoles et des demandes en eau pour l'irrigation, les recommandations suivantes sont suggérées:

1. Fournir une meilleure évaluation de la radiation solaire,RS, sur l'ensemble du Bassin versant. Si RS n'est pas mesurée directement, elle peut être estimée à partir du pourcentage d'ensoleillement ou des différences de températures, en utilisant la procédure exposée au Chapitre 2.

2. Subdiviser le Bassin versant du fleuve Sénégal en un minimum de trois régions pour déterminer les demandes en eau pour l'irrigation. Ces régions seraient constituées des aires suivantes: Podor, Matam et Kayes.

3. Utiliser le modèle pour évaluer les profits agricoles et les demandes en eau pour chaque pays, pour la région deltaïque et la vallée, et pour les grands périmètres d'irrigation.

Dans l'idée d'optimiser les profits agricoles et l'utilisation de l'eau, les recommandations suivantes sont faites:

1. Mener une étude pour déterminer le niveau optimal de probabilité d'occurence de précipitation devant être utilisé pour déterminer les besoins en eau pour l'irrigation. En d'autres termes, quel est le risque admissible? Cette étude devrait inclure des analyses de la fonction de production des récoltes pour évaluer la réduction des rendements amenée par des pénuries d'eau. Le niveau de probabilité de 75 pour cent est généralement un bon niveau pour utilisation dans des buts de conception.

2. Établir un programme détaillé de gestion de l'eau basé sur les items suivants:

   a. Déterminer les besoins en eau pour l'irrigation pour chaque périmètre en utilisant la méthodologie présentée dans ce rapport ou tout autre méthode comparable.

   b. Sélectionner une technique d'irrigation pour chaque culture basé d'après des recommandations d'un conseiller qualifié.

c. Déterminer un programme d'irrigation qui convient le plus possible aux multiples besoins.

d. Mesurer les quantités d'eau appliquées.

e. Déterminer l'efficacité et l'uniformité de l'utilisation de l'eau.

f. Déterminer la quantité optimale d'engrais à être appliquée.

g. Développer un programme pour évaluer les coûts de production et le rendement pour les petits et grands périmètres.

3. Mener une analyse de sensibilité sur les paramètres présentés au Tableau 4-4 pour aider à déterminer les buts et les méthodes permettant d'augmenter les profits nets positifs.

4. Développer un schéma d'optimisation pour déterminer quels produits devraient être faits et dans quelle proportion, avec l'intention de maximiser les profits et de satisfaire les buts social et politique.

5. Établir une comparaison économique entre les petits et les grands périmètres pour déterminer lesquels seraient plus efficaces en termes de coût.

6. Établir une certaine forme de contrat de compétition pour la construction de grands périmètres, dans le but d'essayer de maintenir des coûts de développement qui soient bas.

7. Inclure des contrats de formation et d'entretien avec l'achat d'équipements pour le projet.

RÉFÉRENCES CHOISIES

Adams, R. L. 1953. Farm management crop manual. University of California Press, Berkeley, California.

Allen, L. H. 1979. Potential for carbon dioxide enrichment. In modification of the aerial environments of crops, B. J. Barfield and J. F. Gerber (eds.), Monograph No. 2, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich., p. 500-519.

Ayers, R.S., and D. W. Westcot. 1976. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage. Paper 29, FAO, Rome.

Barger, G. L. and H. C. S. Thom. 1949. Evaluation of drought hazard. Agronomy Journal 41:519-526.

Bechtel Overseas Corporation. 1976. Development of irrigated agriculture at Matam, Senegal: Feasibility study for United States Agency for International Development.

Bishop, A. Alvin, Wynn R. Walker, Neil L. Allen, and Gregory J. Poole. 1981. Furrow advance rates under surge flow systems. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceeding of the Am. Soc. Civ. Eng. p. 257-264.

Bollman, F. and G. Hellyer. 1974. The economic consequences of projected temperature changes in climatically sensitive wheat growing areas of the Canadian prairie. Development and Resources Corporation, Sacramento, California.

Borelli, John, Larry O. Pochop, William R. Kneebone, Ian L. Pepper, Robert E. Danielson, William E. Hart, and Victor B. Youngner. 1981. Blaney-Criddle coefficients for western turf grasses. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Proc. Paper 16749, Vol. 107, No. IR4, pp. 333-341.

Bos, M. G. and J. Nugteren. 1974. On irrigation efficiencies. Publication 19. International Institute for Land Reclamation and Improvements.

Bowles, David S., J. Paul Riley, Jay C. Anderson, and John E. Keith. 1980. Some further cost allocation studies for the Senegal River Development Program: Report 4. Utah Water Research Laboratory. Utah State University, Logan, Utah.

Bowles, David S., J. Paul Riley, Jay C. Anderson, and John E. Keith. 1981. Some further cost allocation studies for the Senegal River Development Program: Report 5. Utah Water Research Laboratory. Utah State University, Logan, Utah.

Burchinal, J. C. and W. H. Dickerson. 1961. Rainfall probability and its applications. West Virginia University Agricultural Experiment Station Bulletin 454T.

Chang, Jen-Hu. 1968. Climate and agriculture. Aldine Publishing Company, Chicago.

Cry, George W. 1965. Estimation of precipitation probabilities. Fourth Army Conference on Trophical Meteorology Proceedings, May 6-7, 1965, Miami Beach, Florida.

Cusack, David F. ed. 1983. Agroclimate information for development: Reviving the Green Revolution. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado.

Diallo, Mamadou Dian. 1980. Comparative analysis of capital intensive and labor intensive rice irrigated perimeters in the Senegal River Valley. Master's thesis, Dept. of Agricultural Economics, Michigan State University.

Doorenbos J., and A. H. Kassam. 1979. FAO irrigation and drainage paper 33: Yield response to water. FAO, Rome.

Doorenbos J. and W. O. Pruitt. 1977. FAO irrigtion and drainage paper 24: Crop water requirements. FAO, Rome.

Essenwagner, Oskar. 1960. Frequency distribution of precipitation, physics of precipitation. Geophysical Monograph No. 5, American Geophysical Monograph No. 5, American Geophysical Union No. 746:14-25.

Evans, L. T. (ed.) 1978. Crop physiology. Cambridge University Press, New York.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1978. Report on the agro-ecological zones project, Vol. 1. Methodology and results for Africa. FAO, Rome.

Fritschen, L. J. 1966. Evapotranspiration rates of field crops determined by the Bowen ratio method. Agronomy Journal, 58:339-42.

Groupement Manantali Report. 1979. Etude D'execution du barrage et de l'usine hydroelectrique de Manantali Annex 4: Agriculture. Soned, Dakar.

Hargreaves, G. H. 1981. Simplified method for rainfall intensities. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ASCE, Vol 107, No. IR3, September, pp. 281-288.

Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani. 1982. Estimating potential evapotranspiration. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the ASCE, Vol. 108, No. IR3, September, pp. 223-230.

Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani. 1983. Evapotranspiration comparisons for Haiti, Paper submitted to the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers for publication in the Proceedings.

Heady, Earl O. and Roger W. Hexem. 1978. Water production functions for irrigated agriculture. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Hersfield, D. M. 1961. Rainfall frequency atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods of from 1 to 100 years. Technical Paper No. 40, U. S. Weather Bureau.

Jensen, M.E. (Ed.) 1974. Consumptive use of water and irrigation water requirements. Rep. Tech. Com. on Irrigation Water Requirements, American Society of Civil Engineers, Irrigation Drainage Division.

Jensen, M.E. (Ed.) 1980. Design and operation of farm irrigation systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan.

Kellogg, William W. and Robert Schware. 1981. Climate change and society. Westview Press, Boulder, Colorado.

Miller, Marvin E. and C. R. Weaver. 1968. Monthly and annual precipitation probabilities for climatic divisions of Ohio. Ohio Research and Development Center Research Bulletin 1005:1-11.

OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Senegal). 1979. Les amenagements hydroagricoles dans le Bassin du Senegal. Dakar, Senegal.

Rijks, D. A. 1976. Developpement de la recherche agronomique dans le Bassin du Fleuve Senegal, Agrometeorogie, UNDP, FAO, Rome.

Senegal-Consult. 1970. Feasibility survey for the regulation of the Senegal River. Volume 1B: Summary Rport. Zurich, Switzerland.

Shalhevet. 1976. Irrigation of field and orchard crops under semi-arid conditions. International Irrigation Information Center, IIC Publ. No. 1, Ottawa, Canada.

Tanner, C. B. 1960. A simple aero-heat budget method for determining daily evapotranspiration. Transactions, Seventh International Congress of Soil Science. Madison, Wisconsin.

U. S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service. 1962. Technical Bulletin 1275: Consumptive use and water requirements. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.

U. S. Department of Energy. 1979. Workshop on environmental and societal consequences of a possible CO_2 - induced climate change. Annapolis, Maryland, 2-6 April, U S. Department of Energy, Washington, D. C.

U. S. Department of the Interior, Department of Agriculture, and the Environmental Protection Agency. 1979. Irrigation water use and management.

Withers, Bruce and Stanley Vipond. 1980. Irrigation: Design and practice. 2nd Ed. Cornell University Press, Itheca, New York.

APPENDICES

Appendice A

L'Effet Serre

Plusieurs climatologistes croient maintenant que les climats futurs varieront significativement des climats d'aujourd'hui, La principale raison de ce changement est l'augmentation graduelle du bioxyde de carbone dans notre atmosphère, principalement causée par l'utilisation de combustible fossile et possiblement par un déboisement de nos forêts. Cette augmentation à long terme est montrée à la figure A-1. Cet effet,appelé "effet serre" est supposé emmener un réchauffement global de l'atmosphère. Si tel est le cas, des changements majeurs dans la réparcition spatiale des températures et précipitations peuvent être attendus d'ici les 50 prochaines années.

L'augmentation globale de la température de surface correspondant à un doublement de la concentration en bioxyde de carbone dans l'atmosphère sera d'environ 1.5 à 4.5^{o}C. Généralement, une augmentation de 1^{o}C de la température moyenne estivale en latitudes moyennes augmente la durée moyenne de la saison de croissance d'environ dix jours. Mais comme Bollman et Hellyer (1974) l'ont démontré, cela dépend de la durée de la saison. Un autre avantage relié à la production des récoltes est qu'une augmentation en concentration de bioxyde de carbone dans l'atmosphère amène une augmentation de la photosynthèse et de la croissance des plantes.

Ce changement climatique va également déplacer la répartition spatiale des précipitations. Actuellement, plusieurs pays développés dans les régions semi-arides subtropicales prévoient connaître une augmentation géné-

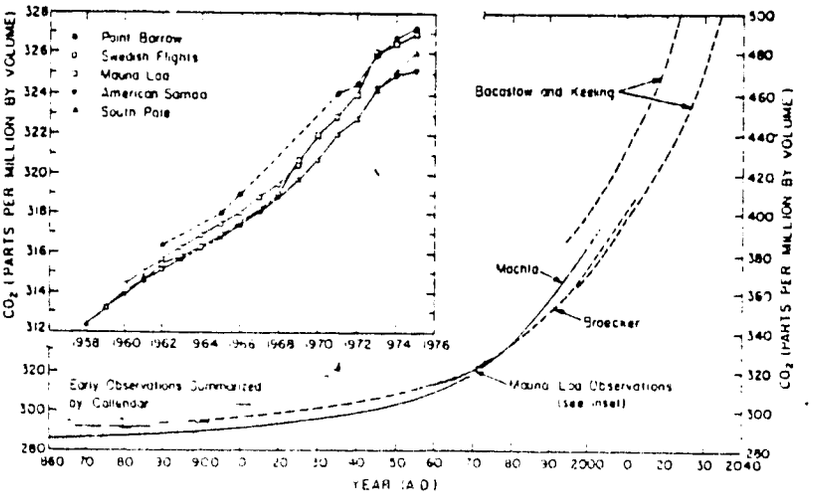

Figure A-1. L'augmentation à long terme du contenu de l'atmosphère en bioxyde de carbone, à partir de la Révolution Industrielle et se poursuivant durant le siècle prochain (Référence: Climate Change and Society (Kellog et Schware, 1981)).

rale de la précipitation et de l'humidité du sol, tel que montré à la figure A-2. Cette augmentation en bioxyde de carbone peut devenir très salutaire à la production des récoltes. Il est connu que l'augmentation du bioxyde de carbone peut engendrer, pour plusieurs espèces de plantes, (U.S. Department of Energy, 1979):

- une augmentation de la photosynthèse
- un changement de la superficie et de la structure des feuilles
- une modification de la forme de la couverture végétale
- une modification du plan de répartition photosynthétique
- une augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau
- une augmentation des tolérances vis-à-vis les gaz atmosphériques toxiques
- un changement des rapports racines/pousses
- un changement des dates de floraison et une augmentation du nombre de fleurs par plante

- une augmentation du nombre et de la dimension des fruits et du nombre de graines produits par plante

- une modification de la germination chez certaines espèces

Allen (1979) a démontré que des légumes de serre ont augmentés les rendements d'au moins 20 pour cent lorsque du bioxyde de carbone était ajouté dans l'air.

Donc, dans les 50 prochaines années, les plantes sont censées connaître une augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau, être plus tolérantes vis-à-vis les pénuries d'eau et augmenter en rendement à mesure que la concentration en bioxyde de carbone dans l'atmosphère augmentera. Sachant que les plantes deviendront plus efficaces vis-à-vis l'eau et que les précipitations sont censées augmenter dans l'avenir, la faisabilité d'une agriculture par alimentation pluviale devrait être attentivement examinée.

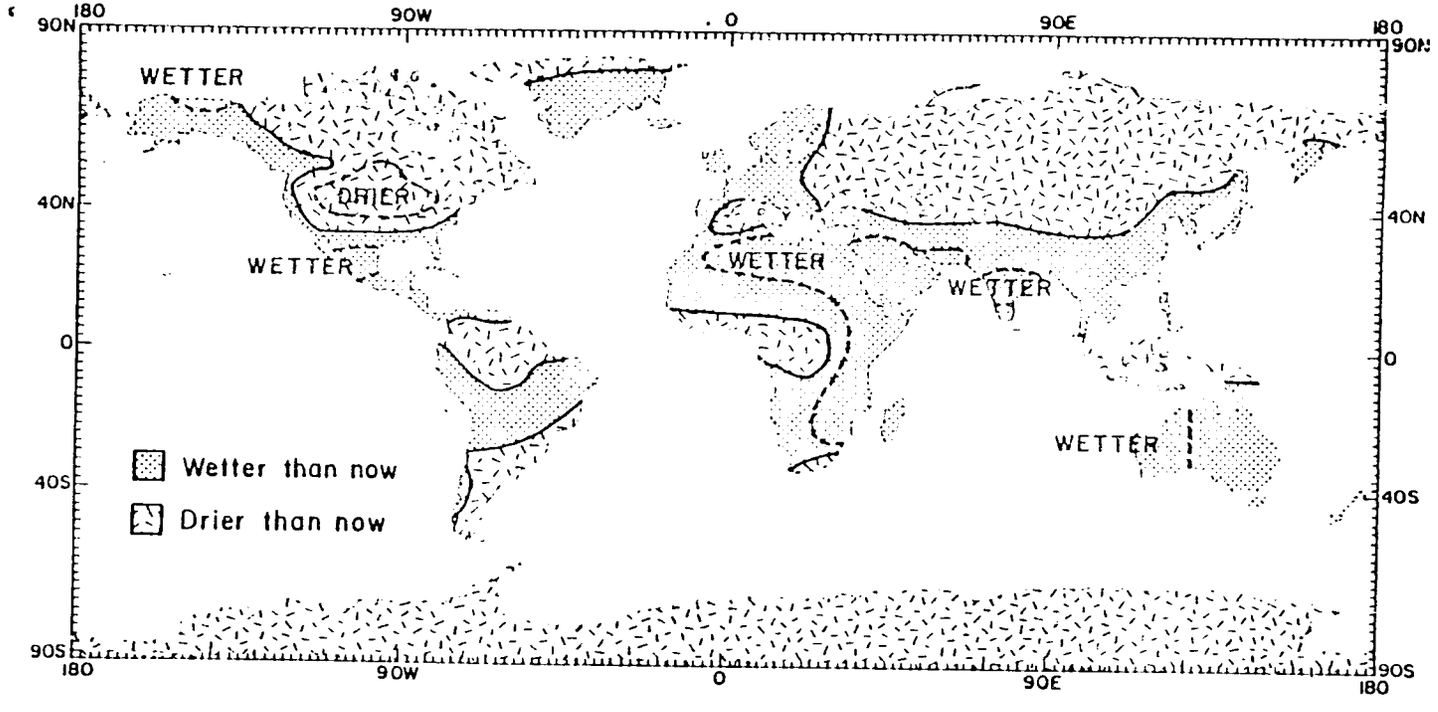

Figure A-2. Exemple de scénario des plans de répartition possibles de l'humidité du sol sur une terre réchauffée. Référence: Climate Change and Society (Kellog et Schware, 1981).

Appendice B

Précipitation Mensuelle en Fonction de la Probabilité d'Occurence ou de Dépassement

Précipitation mensuelle pour différents niveaux de probabilité d'occurence ou de dépassement basés d'après une distribution gamma, températures moyennes mensuelles et valeurs mensuelles de ET_o. Pour les stations suivantes:

Saint-Louis

Rosso

Podor

Matam

Kayes

STATION SAINT LOUIS LAT 16 6 LONG 16 30 ELEV 4.0 M 30 YEARS

PROB	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
95.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	23.	32.	0.	0.	0.	142.
90.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3.	33.	42.	0.	0.	0.	168.
80.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	7.	48.	55.	0.	0.	0.	204.
75.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	10.	55.	61.	1.	0.	0.	219.
70.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	13.	62.	67.	2.	0.	0.	233.
60.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	20.	76.	78.	4.	0.	0.	260.
50.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	29.	91.	89.	9.	0.	0.	287.
40.	0.	0.	0.	0.	0.	2.	40.	108.	101.	18.	0.	1.	316.
30.	1.	1.	0.	0.	0.	5.	54.	128.	116.	32.	1.	1.	349.
25.	1.	1.	0.	0.	0.	7.	64.	140.	124.	43.	1.	2.	368.
20.	2.	2.	0.	0.	1.	10.	75.	154.	134.	58.	1.	3.	390.
10.	5.	4.	1.	0.	2.	22.	112.	196.	163.	113.	3.	7.	452.
5.	8.	8.	1.	1.	3.	38.	150.	235.	190.	176.	5.	13.	508.
MEAN	2.	1.	0.	0.	1.	7.	46.	105.	97.	38.	1.	2.	301.
TEMP	24.7	23.0	23.2	23.1	23.4	25.6	27.0	27.8	28.0	27.6	25.7	23.0	25.2
ETP	130.	138.	162.	166.	172.	169.	178.	167.	166.	158.	127.	120.	1853.

STATION ROSSO LAT 16 30 LONG 15 48 ELEV 6.0 M 24 YEARS

PROB	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
95.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	8.	10.	14.	0.	0.	0.	111.
90.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	13.	17.	21.	0.	0.	0.	135.
80.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	20.	29.	33.	0.	0.	0.	167.
75.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	23.	35.	38.	1.	0.	0.	181.
70.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	26.	40.	44.	1.	0.	0.	194.
60.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	33.	53.	55.	3.	0.	0.	219.
50.	0.	0.	0.	0.	0.	2.	41.	67.	68.	6.	0.	0.	244.
40.	0.	0.	0.	0.	0.	4.	50.	83.	82.	12.	0.	1.	271.
30.	1.	1.	0.	0.	1.	8.	60.	104.	99.	21.	1.	2.	302.
25.	1.	2.	0.	0.	1.	11.	66.	116.	110.	28.	1.	3.	321.
20.	2.	2.	0.	0.	1.	14.	74.	131.	122.	38.	2.	4.	342.
10.	4.	5.	0.	0.	3.	28.	97.	176.	160.	73.	4.	10.	401.
5.	7.	9.	0.	0.	5.	44.	118.	220.	195.	113.	8.	18.	456.
MEAN	1.	2.	0.	0.	1.	10.	49.	85.	81.	25.	2.	3.	259.
TEMP	22.9	27.6	26.5	27.7	29.1	30.0	28.9	29.1	29.3	29.3	26.7	23.0	27.5
ETP	124.	155.	176.	186.	196.	187.	185.	173.	171.	165.	130.	120.	1967.

STATION PODOR LAT 16 36 LONG 14 54 ELEV 7.0 M 29 YEARS

PROB	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
95.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.	20.	9.	0.	0.	0.	118.
90.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	8.	28.	15.	0.	0.	0.	144.
80.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	16.	41.	27.	0.	0.	0.	180.
75.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	19.	47.	33.	0.	0.	0.	195.
70.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	23.	53.	39.	1.	0.	0.	209.
60.	0.	0.	0.	0.	0.	3.	31.	65.	52.	2.	0.	0.	237.
50.	0.	0.	0.	0.	0.	6.	40.	78.	67.	5.	0.	0.	265.
40.	0.	1.	0.	0.	0.	10.	51.	93.	84.	10.	0.	0.	295.
30.	1.	1.	0.	0.	0.	16.	65.	110.	106.	20.	1.	1.	330.
25.	1.	2.	0.	0.	1.	21.	74.	121.	119.	28.	1.	2.	351.
20.	1.	3.	0.	0.	1.	27.	84.	133.	135.	38.	2.	3.	375.
10.	3.	8.	1.	0.	2.	47.	116.	170.	185.	78.	4.	7.	442.
5.	5.	14.	1.	1.	4.	71.	147.	204.	233.	125.	7.	12.	503.
MEAN	1.	3.	0.	0.	1.	17.	53.	91.	87.	26.	1.	2.	282.
TEMP	23.1	28.2	27.6	32.3	31.9	32.4	30.8	29.9	30 1	30.3	27.9	31.9	29.7
ETP	125.	157.	180.	205.	208.	197.	193.	176.	174.	169.	134.	147.	2064.

STATION MATAM LAT 15 36 LONG 13 18 ELEV 17.0 M 30 YEARS

PROB	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
95.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	40.	68.	29.	0.	0.	0.	243.
90.	0.	0.	0.	0.	0.	3.	50.	82.	39.	0.	0.	0.	279.
80.	0.	0.	0.	0.	0.	6.	66.	102.	55.	0.	0.	0.	326.
75.	0.	0.	0.	0.	0.	8.	72.	110.	62.	1.	0.	0.	345.
70.	0.	0.	0.	0.	0.	10.	78.	118.	68.	1.	0.	0.	363.
60.	0.	0.	0.	0.	0.	15.	91.	133.	82.	3.	0.	0.	397.
50.	0.	0.	0.	0.	0.	21.	104.	148.	96.	7.	0.	0.	430.
40.	0.	0.	0.	0.	1.	28.	117.	164.	112.	13.	1.	0.	465.
30.	0.	1.	0.	1.	2.	38.	133.	182.	131.	22.	2.	0.	505.
25.	0.	2.	0.	1.	3.	44.	143.	193.	142.	29.	3.	1.	529.
20.	0.	3.	0.	2.	4.	52.	154.	206.	155.	39.	5.	1.	555.
10.	1.	6.	0.	4.	8.	75.	186.	241.	193.	72.	12.	2.	629.
5.	2.	11.	0.	6.	12.	99.	215.	273.	229.	110.	21.	3.	694.
MEAN	0.	2.	0.	1.	3.	32.	112.	156.	108.	25.	4.	1.	444.
TEMP	26.5	25.9	29.0	34.2	33.8	35.9	30.2	28.8	34.0	32.5	27.8	26.8	30.5
ETP	13[illegible].	149.	185.	213.	217.	21[illegible].	191.	172.	189.	177.	134.	132.	2104.

STATION KAYES LAT 14 24 LONG 11 24 ELEV 47.0 M 39 YEARS

PROB	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
95.	0.	0.	0.	0.	0.	35.	102.	78.	72.	1.	0.	0.	502.
90.	0.	0.	0.	0.	0.	44.	116.	99.	86.	2.	0.	0.	546.
80.	0.	0.	0.	0.	0.	56.	134.	131.	107.	6.	0.	0.	603.
75.	0.	0.	0.	0.	1.	61.	141.	144.	115.	9.	0.	0.	626.
70.	0.	0.	0.	0.	1.	66.	148.	157.	123.	12.	0.	0.	647.
60.	0.	0.	0.	0.	2.	76.	162.	183.	139.	18.	0.	0.	686.
50.	0.	0.	0.	0.	4.	86.	175.	209.	154.	27.	0.	0.	723.
40.	0.	0.	0.	1.	8.	97.	188.	238.	171.	38.	1.	0.	762.
30.	0.	0.	0.	2.	13.	109.	204.	271.	190.	53.	2.	1.	806.
25.	0.	0.	0.	4.	17.	117.	213.	291.	201.	63.	3.	1.	830.
20.	0.	1.	0.	6.	22.	125.	223.	314.	214.	75.	5.	1.	858.
10.	1.	1.	0.	15.	40.	149.	251.	381.	251.	115.	12.	3.	935.
5.	1.	2.	0.	28.	61.	172.	276.	442.	284.	155.	21.	5.	1002.
MEAN	0.	0.	0.	5.	14.	92.	180.	228.	163.	46.	4.	1.	734.
TEMP	25.1	27.9	30.8	33.7	35.2	32.1	28.6	27.4	27.9	29.3	28.4	25.4	29.3
ETP	131.	156.	193.	211.	223.	196.	184.	166.	166.	165.	135.	127.	2053.

Appendice C

Tableaux

Tableau C-1. Rayonnement solaire extraterrestre.

Latitude	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	sept.	Oct.	Nov.	Déc.
					Hémisphère Nord							
50°	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48	4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7
46	4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6
34	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32	8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8
30	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3
28	9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8
26	9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3
24	10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7
22	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
4	14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Référence: Crop Water Requirements. (Doorenbos et Pruitt 1977).

Tableau C-2. Durée moyenne maximale d'ensoleillement en heures.

Hémisphère Nord	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Hémisphère Sud	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
50°	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48°	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46°	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44°	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42°	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1
40°	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35°	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30°	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25°	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20°	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15°	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10°	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5°	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Référence: Crop Water Requirements (Doorenbos et Pruitt 1977).

Appendice D

Programmes

1. AGBEN - Programme d'obtention des profits agricoles et des demandes en eau pour le Bassin versant du fleuve Sénégal.

2. AREA - Programme de détermination des superficies agricoles.

3. WRITE - Programme de réécriture du fichier AGTAB.PRE sous une forme plus lisible.

4. RA - Programme de calcul de la radiation extraterrestre en Langleys et de la durée du jour.

5. GAMMA - Programme de calcul de la probabilité d'occurence ou de dépassement de la précipitation, basée d'après une distribution gamma.

6. HAR - Procédure appelée par GAMMA, utilisée pour calculer ET_o d'après la méthode de Hargreaves.

AGBEN

```
C     THIS MAIN PROGRAM IS TO CALCULATE AG. BENEFITS AND WATER REQUIREMENTS
C     THIS PROGRAM WRITEN BY GEORGE LEO HARGREAVES 1982
C     THIS PROGRAM REQUIRES SPECIAL INSTRUCTIONS TO LINK
      DIMENSION TAB(28,15),RI(28),RF(28),RRL(28),RDL(28),VC(28),WR(28)
      DIMENSION AGBEN(28),FC(28)
      DIMENSION LTITLE(2),NTITLE(80),HEAD(80)
      OPEN(UNIT=2,NAME='AREA.DAT',TYPE='OLD')
      OPEN(UNIT=3,NAME='AGTAB.PRE',TYPE='OLD')
      OPEN(UNIT=4,NAME='AGBEN.OUT',TYPE='NEW',CARRIAGECONTROL='LIST')
      OPEN(UNIT=1,NAME='CHECK.OUT',TYPE='NEW')
      OPEN(UNIT=7,NAME='AGQ.DAT',TYPE='NEW',CARRIAGECONTROL='LIST')


CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C     PARAMETER DEFINTIONS
C
C     ******ALL MONITARY VALUES ARE IN F.CFA*******
C     ADD    = AREA OF DRY FARM DISPLACED
C     AF     = AREA ARTIFICIALLY FLOODED
C     AFM1   = AREA ARTIFICIALLY FLOODED IN THE PREVIOUS YEAR
C     AGBEN  = AGRICULTURAL BENEFITS
C     AI     = IRRIGATED AREA
C     AIM1   = IRRIGATED AREA IN THE PREVIOUS YEAR
C     ARD    = AREA OF RECESSION AGRICULTURE DISPLACED
C     C1     = DEVELOPMENT COSTS PER NEW HECTAR IN F.CFA
C     C2     = COSTS FOR PUMPS IN F.CFA
C     C3     = ANNUAL REPLACEMENT COSTS PER HECTAR IN F.CFA
C     CP     = CROPPING PATTERN FRACTION
C     DISF   = DISCOUNT FACTOR
C     FC     = FIXED COSTS
C     I      = ARRAY COUNTER FOR EACH PRODUCT OR CROP
C     IOUT   = VARIABLE CONTROLING INDIVIDUAL PRODUCT OUTPUT
C     KCHECK = NUMBER OF YEARS BETWEEN YEARLY OUTPUTS
C     LT     = NUMBER OF LINES IN HEADING
C     N      = PUMP LIFE OR TIME TO PUMP REPLACEMENT
C     NCOL   = NUMBER OF COLUMNS IN OUTPUT READ BY THE REVENUE PROGRAM
C     NPROD  = NUMBER OF PRODUCTS PER YEAR
C     NYEAR  = PROJECT LIFE IN YEARS
C     PCMAL  = PROPORTION OF TOTAL AREA IN MALI
C     PCMAU  = PROPORTION  OF TOTAL AREA IN MAURITANIA
C     PCSEN  = PROPORTION  OF TOTAL AREA IN SENEGAL
C     R1     = AGRICULTURAL DEVELOPMENT RATE
C     RATE   = DISCOUNT RATE IN DECIMAL FORM
C     RDL    = LOST REVENUES FROM DRY FARM AREAS
C     RF     = REVENUES FROM ARTIFICIALLY FLOODED AREAS
C     RI     = REVENUES FROM IRRIGATED AREAS
C     RRL    = LOST REVENUES FROM RECESSION AGRICULTURAL AREAS
C     SFF    = SINKING FUND FACTOR
C     SUMB   = DISCOUNTED TOTAL PROJECT AGRICULTURAL BENEFITS IN F.CFA
C     SUMQ   = DISCOUNTED TOTAL PROJECT WATER REQUIREMENTS IN CUBIC METERS
C     VC     = VARIABLE COSTS
C     WR     = WATER REQUIREMENTS IN CUBIC METERS
C     WRMAL  = WATER REQUIREMENT FOR MALI

C     WRMAU  = WATER REQUIREMENT FOR MAURITANIA
C     WRSEN  = WATER REQUIREMENT FOR SENEGAL
C
C     IF THE PARAMETER BEGINS WITH A "T" IT REFERS TO A YEARLY TOTAL
C       (example: TRI=YEARLY TOTAL REVENUES FROM IRRIGATED AREAS)
C       YTFC=YEARLY TOTAL FIXED COST
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
```

```
C       INITIALIZE VALUES
        CP=0.
        SUMB=0.
        SUMQ=0.

          TWRMAL=0.0
          TWRMAU=0.0
          TWRSEN=0.0
C*************************************************************************
C         PARAMETERS ENTERED INTERACTIVELY

        WRITE(5,*)'DO YOU WANT INDIVIDUAL PRODUCT BENEFITS? (Y/N)'
        READ(5,1003)IOUT
        IF(IOUT.EQ.'N')GO TO 10
          WRITE(5,*)'ENTER NUMBER OF YEARS BETWEEN YEARLY OUTPUTS'
          READ(5,*)KCHECK
   10 CONTINUE

        WRITE(5,*)'IS THE DEVELOPMENT COST PER NEW HECTAR =3560000 F.CFA?
       *  (Y/N)'
        READ(5,1003)NTEST
        C1=2800000.+760000.
        IF(NTEST.EQ.'Y')GO TO 11
          WRITE(5,*)'ENTER THE DEVELOPMENT COST PER NEW HECTAR IN F.CFA
       *  (C1)'
          READ(5,*)C1
   11 CONTINUE

        WRITE(5,*)'IS THE REPLACEMENT COSTS FOR PUMPS =760000 F.CFA?
       *  (Y/N)'
        READ(5,1003)NTEST
        C2=760000.
        IF(NTEST.EQ.'Y')GO TO 12
          WRITE(5,*)'ENTER THE REPLACEMENT COSTS IN F.CFA (C2)'
          READ(5,*)C2
   12 CONTINUE

        WRITE(5,*)'IS THE TIME TO PUMP REPLACEMENT =5 YEARS? (Y/N)'
        READ(5,1003)NTEST
        N=5
        IF(NTEST.EQ.'Y')GO TO 13
          WRITE(5,*)'ENTER THE TIME TO PUMP REPLACEMENT IN YEARS (N)'
          READ(5,*)N
   13 CONTINUE

        WRITE(5,*)'IS THE PROJECT LIFE =50 YEARS? (Y/N)'

        READ(5,1003)NTEST
        NYEAR=50
        IF(NTEST.EQ.'Y')GO TO 14
          WRITE(5,*)'ENTER THE PROJECT LIFE IN YEARS (NYEAR)'
          READ(5,*)NYEAR
   14 CONTINUE

        WRITE(5,*)'IS THE DISCOUNT RATE IN DECIMAL FORM=0.05? (Y/N)'
        READ(5,1003)NTEST
        RATE=.05
        IF(NTEST.EQ.'Y')GO TO 15
          WRITE(5,*)'ENTER THE DISCOUNT RATE IN DECIMAL FORM (RATE)'
          READ(5,*)RATE
   15 CONTINUE

 1003 FORMAT(A1)
C*************************************************************************
```

```
C-----------------------------------------------------------------------
C       PRINT OUT THE HEADINGS FOR THE AGQ.DAT DATA TABLE
      READ(2,*)LTITLE(2)
        READ(3,*)LTITLE(1),NPROD
        LT=LTITLE(2)+LTITLE(1)+6
        LT4=LTITLE(2)+LTITLE(1)+5
        NCOL=3
        WRITE(7,2001)LT,NYEAR,NCOL
        WRITE(7,2015)
        WRITE(7,*)'AGQ.DAT OUTPUT FROM AGBEN USED IN REVENUE'
        WRITE(4,*)LT4,NYEAR
        WRITE(4,2015)
        WRITE(4,*)'OUTPUT FROM AGBEN '
 2001   FORMAT(3I4,'  NUMBER OF LINES IN TITLE,YEARS,COLUMNS READ BY
     * REVENUE.FTN')
C     ACCOUNT FOR THE AREA DATA TABLE TITLE

        DO 60 I60=1,LTITLE(2)
      READ(2,1001)HEAD
        WRITE(7,1001)HEAD
        WRITE(4,1000)HEAD
60      CONTINUE
 1000   FORMAT(1X,80A1)
 1001 FORMAT(80A1)

C     ACCOUNT FOR THE AG. ECONOMIC SECTOR DATA TABLE TITLE
        DO 61 I61=1,LTITLE(1)
      READ(3,1002)NTITLE
        WRITE(7,1002)NTITLE
        WRITE(4,1000)NTITLE
61      CONTINUE
C
C               PRINT OUT VALUES OF OPTIONS ENTERED INTERACTIVELY
        WRITE(4,*)'VALUE OF OPTIONS ENTERED INTERACTIVELY ARE'
        WRITE(7,*)'VALUE OF OPTIONS ENTERED INTERACTIVELY ARE'
        WRITE(4,2000)C1,C2,N,RATE
        WRITE(7,2000)C1,C2,N,RATE
2000    FORMAT(' DEVELOPMENT COST ',F9.0,' REPLACEMENT COST ',F9.0,
     *  'TIME TO PUMP REPLACEMENT',I5,' DISCOUNT RATE ',F5.3)
        WRITE(7,2002)
        WRITE(7,2030)
 2002   FORMAT(2X,'YEARLY WATER REQUIREMENTS')
 2030   FORMAT(8X,'MALI',7X,'MAURITANIA',5X,'SENEGAL',8X,'TOTAL',7X,
     *  'YEAR')
C-----------------------------------------------------------------------
 1002 FORMAT(80A1)
C       PRINT OUTPUT HEADINGS FOR AGBEN.OUT
        WRITE (4,1004)
 1004   FORMAT(1X,'YEAR',9X,'TWR',11X,'TAGBEN')


C       IF YEARLY PRODUCTS WANTED PRINT OUTPUT HEADINGS FOR CHECK.OUT
          IF(IOUT.EQ.1)GO TO 75
          IF((MOD(K,KCHECK).NE.0).AND.(K.NE.1))GO TO 75
            WRITE(1,1005)
 1005       FORMAT(2X,'I',5X,'RI',7X,'RF',6X,'RRL',6X,'RDL',6X,
     *        'FC',6X,'VC',8X,'WR',6X,'AGBEN')
   75     CONTINUE

C     CALCULATE FIXED COSTS FOR PUMP REPLACEMENTS
      SFF=RATE/(((1.+RATE)**N)-1.)
      C3=C2*SFF
```

```
      READ(3,*)((TAB(I,J),J=1,15),I=1,NPROD)
C     CALCULATE ALLOCATED FIXED COSTS
      DO 100 I=1,NPROD
        CP=CP+TAB(I,11)
100   CONTINUE

      READ(2,1006)R1,AI,ARD,ADD,AF,PCMAL,PCMAU,PCSEN

      DO 150 K=1,NYEAR
        KYEAR=1979+K
        AIM1=AI
        AFM1=AF

        READ(2,1006)R1,AI,ARD,ADD,AF,PCMAL,PCMAU,PCSEN
1006    FORMAT(10X,F12.0,3F11.0,F10.0,2X,3(F6.4,1X))
C       INITIALIZE TOTAL YEARLY VALUES
        TRI=0
        TRF=0
        TRRL=0
        TRDL=0
        TVC=0
        TWR=0
        TAGBEN=0
        YTFC=0

C       CALCULATE TOTAL FIXED COSTS FOR IRRIGATED AREA
        TFC=C1*R1+C3*AIM1

        DO 200 I=1,NPROD
C         CALCULATE THE FIXED COSTS PER PRODUCT
          FC(I)=TFC*TAB(I,11)/CP

C         CALCULATE VARIABLE COST
          VC(I)=(TAB(I,7)*TAB(I,8)+TAB(I,9)*TAB(I,10))*TAB(I,11)*AIM1

C         CALCULATE REVENUES

C         REVENUE FROM IRRIGATION
          RI(I)=TAB(I,2)*TAB(I,3)*TAB(I,11)*AIM1
C         REVENUE FROM ARTIFICIAL FLOODING
          RF(I)=TAB(I,2)*TAB(I,4)*TAB(I,12)*AFM1
C         LOST REVENUE FROM RECESSION
          RRL(I)=TAB(I,2)*TAB(I,5)*TAB(I,13)*ARD
C         LOST REVENUE FROM DRY FARMING
          RDL(I)=TAB(I,2)*TAB(I,6)*TAB(I,14)*ADD

C         CALCULATE WATER REQUIREMENTS (*10000 TO GET CUBIC METERS)
          WR(I)=TAB(I,15)*TAB(I,11)*AIM1*10000.

C         CALCULATE AGRICULTURAL BENEFITS
          AGBEN(I)=RI(I)+RF(I)-FC(I)-VC(I)-RRL(I)-RDL(I)

C         CALCULATE YEARLY TOTALS
          TRI=TRI+RI(I)
          TRF=TRF+RF(I)
          TRRL=TRRL+RRL(I)
          TRDL=TRDL+RDL(I)
          YTFC=YTFC+FC(I)
          TVC=TVC+VC(I)
          TWR=TWR+WR(I)
          TAGBEN=TAGBEN+AGBEN(I)
```

```
            IF(IOUT.EQ.1)GO TO 200
            IF((MOD(K,KCHECK).NE.0).AND.(K.NE.1))GO TO 200
              WRITE(1,1)I,RI(I),RF(I),RRL(I),RDL(I),FC(I),VC(I),
     *        WR(I),AGBEN(I)
    1         FORMAT(I3,1P7E9.2,1PE10.2)
  200     CONTINUE
          IF(IOUT.EQ.1)GO TO 300
          IF((MOD(K,KCHECK).NE.0).AND.(K.NE.1))GO TO 300
            WRITE(1,1007)
 1007       FORMAT(2X,'K',4X,'TRI',6X,'TRF',6X,'TRRL',5X,'TRDL',
     *      5X,'TFC',6X,'TVC',6X,'TWR',4X,'TAGBEN')
            WRITE(1,2)K,TRI,TRF,TRRL,TRDL,YTFC,TVC,TWR,TAGBEN
    2       FORMAT(I3,1P8E9.2,/)
  300     CONTINUE
          WRITE(4,3)KYEAR,TWR,TAGBEN
    3     FORMAT(1X,I4,1P2E15.2)
          DISF=1./((1.+RATE)**(K-1))
          SUMQ=SUMQ+DISF*TWR
          SUMB=SUMB+DISF*TAGBEN

          WRMAL=TWR*PCMAL
          WRMAU=TWR*PCMAU
          WRSEN=TWR*PCSEN
          WRITE(7,2003)WRMAL,WRMAU,WRSEN,TWR,KYEAR
          TWRMAL=TWRMAL+WRMAL
          TWRMAU=TWRMAU+WRMAU
          TWRSEN=TWRSEN+WRSEN
          TOTTWR=TOTTWR+TWR
 2003     FORMAT(1X,1P4E14.4,I8)
  150   CONTINUE
          WRITE(7,2103)TWRMAL,TWRMAU,TWRSEN,TOTTWR
 2103     FORMAT(/,' SUM '1PE10.4,1P3E14.4)
        WRITE(4,2005)SUMB
        WRITE(4,2004)SUMQ
        WRITE(4,2006)RATE
          WRITE(4,2015)
 2004 FORMAT(G15.8,' = DISCOUNTED TOTAL PROJECT',
     * ' WATER REQUIREMENTS')
 2005 FORMAT(/,G15.8,' = DISCOUNTED TOTAL PROJECT',
     *' AGRICULTURAL BENEFITS')
 2006 FORMAT(2X,'THE DISCOUNT RATE=',F4.2)
 2015   FORMAT(' ************************************************',
     * '**********************************')
        CLOSE(UNIT=1,DISP='KEEP')
        CLOSE(UNIT=2,DISP='KEEP')
        CLOSE(UNIT=3,DISP='KEEP')
        CLOSE(UNIT=4,DISP='KEEP')
        CLOSE(UNIT=7,DISP='KEEP')
        STOP
        END
```

AREA

```
C     PROGRAM TO CALCULATE AGRICULTURAL AREAS
C     THIS PROGRAM WRITEN BY GEORGE LEO HARGREAVES 1992
      INTEGER T
      OPEN(UNIT=1,NAME='AREA.DAT',TYPE='NEW',CARRIAGECONTROL='LIST')
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C
C       VARIABLE DEFINITIONS
C       *******ALL AREAS ARE IN HECTARS***********
C       AD=AREA OF DRY FARMING
C       ADD=AREA OF DRY FARM DISPLACED
C       AF=AREA ARTIFICIALLY FLOODED
C       AFMAX=MAXIMUM POTENTIAL AREA FOR  ARTIFICIAL FLOOD
C       AI=IRRIGATED AREA
C       AII=INITIAL IRRIGATED AREA
C       AIMAX=MAXIMUM IRRIGATED AREA
C       AR=AREA OF RECESSION AGRICULTURAL
C       ARD=AREA OF RECESSION AGRICULTURE DISPLACED
C       R1=INITIAL DEVELOPMENT RATE
C       R2=NEW DEVELOPMENT RATE
C       T=YEARLY COUNTER
C       TF=TIME TO WHEN  ARTIFICIAL FLOODING BEGINS (IN YEARS)
C       TNEW=TIME TO WHEN NEW DEVELOPMENT RATE STARTS (IN YEARS)
C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C     INITIALIZE PARAMETERS (EXCEPT FOR R1 WHICH IS INITIALIZED LATER)
      T=0
      AI=0.
      AII=28805.
      AIMAX=315000.
      AR=108633.
      AD=75000.
      AFMAX=90000.
C**************************************************************************
C     PARAMETERS INITIALIZED INTERACTIVELY

      WRITE(5,*)'IS THE NEW DEVELOPMENT RATE=5000. ha./yr? (Y/N)'
      READ(5,10)NTEST
      R2=5000.
      IF(NTEST.EQ.'Y')GO TO 20
        WRITE(5,*)'ENTER THE NEW DEVELOPMENT RATE IN ha./yr (R2)'
        READ(5,*)R2
        IF(R2.EQ.5000.)GO TO 20
   20 CONTINUE

      WRITE(5,*)'IS THE TIME TO NEW DEVELOPMENT RATE= 4 YEARS? (Y/N)'
      READ(5,10)NTEST
      TNEW=4
      IF(NTEST.EQ.'Y')GO TO 21
        WRITE(5,*)'ENTER THE NUMBER OF YEARS BEFORE NEW DEVELOPMENT'
        WRITE(5,*)'RATE IS EFFECTIVE (TNEW)'
        READ(5,*)TNEW
   21 CONTINUE

      WRITE(5,*)'IS THE TIME TO ARTIFICIAL FLOOD= 9 YEARS? (Y/N)'
      READ(5,10)NTEST
      TF=9
      IF(NTEST.EQ.'Y')GO TO 22
        WRITE(5,*)'ENTER NUMBER OF YEARS BEFORE FLOODING BEGINS (TF)'
        READ(5,*)TF
   22 CONTINUE

   10 FORMAT(A1)
C*********************************************************************
```

```
C
C
C  INITIALIZATION OF VALUES USED TO SEPARATE IRRIGATED AREAS BETWEEN COUNTRIES
C                VARIABLE CODE USED
C       VARIABLES BEGINING WITH R ARE PROPORTION  OF AREA DEVELOPED IN EACH
C       COUNTRY
C       R1 IS THE AREA DEVELOPED IN A GIVEN YEAR
C       THUS AREA DEVELOPED EACH YEAR IN MALI = RMALII * R1
C       R VARIABLES ENDING IN I ARE INITIAL PROPORTION
C       R VARIABLES ENDING IN F ARE FINAL PROPORTION (VALUES AFTER
C       THE MAXIMUM NUMBER OF HA HAS BEEN DEVELOPED IN MALI)
C       TOTMAL = THE MAXIMUM NUMBER OF HA THAT CAN BE DEVELOPED IN MALI
C       VARIABLES BEGINING WITH A ARE AREA VARIABLES
C       VARIABLES BEGINING WITH PC ARE THE PROPORTION VARIABLES(THE
C       PROPORTION OF THE TOTAL AREA IRRIGATED IN A GIVEN COUNTRY
C       VARIABLES ENDING WITH T ARE TEMPORARY STORAGE VARIABLES
        RMALII=.1666
        RMAURI=.3436
        RSENEI=.4898
        RMALIF=0.0
        RMAURF=.4125
        RSENEF=.5875
        TOTMAL=23437.
        AMALI=270.
        AMAUR=5305.
        ASENE=23230.
        RMALI=RMALII
        RMAUR=RMAURI
        RSENE=RSENEI
C                          CHECK WITH USER ON SEPARATION BETWEEN COUNTRIES
        WRITE(5,2020)RMALII,RMAURI,RSENEI,TOTMAL,RMAURF,RSENEF,
     *AMALI,AMAUR,ASENE,AII
2020    FORMAT(1X,'IN REPORT 4 AND REPORT 5 THE FOLLOWING ',
     *' PROPORTIONS WERE USED',/,' TO SEPARATE TOTAL AREA DEVELOPED',
     *1X,'EACH YEAR BETWEEN THE 3 COUNTRIES',/,1X,
     *'PROPORTION TO MALI ',F6.4,' PROPORTION TO MAUR ',F6.4
     *,/,1X,'PROPORTION TO SENEGAL ',F6.4,/,1X,
     *'AFTER ',F7.0,' HA HAS BEEN DEVELOPED IN MALI THE ',/,
     *' PROPORTION TO MAUR ',F6.4,' PROPORTION TO SENEGAL ',F6.4,/
     *,1X,'THE INITIAL AREAS IRRIGATED ARE',/,
     *1X,'MALI = ',F7.0,' MAURITANIA = ',F7.0,' SENEGAL ',F7.0,
     *' TOTAL ',F8.0,/
     *,1X,'ARE THESE VALUES TO BE USED FOR THIS MODEL RUN (Y/N)')
        READ(5,10)OK
        IF(OK.EQ.'Y')GO TO 23
        WRITE(5,*)'ENTER VALUES IN DECIMAL FORM 50% = 0.50'
        WRITE(5,*)'ENTER NEW PROPORTION'
        WRITE(5,*)'FIRST INITIAL PROPORTION TO MALI'
        READ(5,*)RMALII
        WRITE(5,*)'ENTER INITAL PROPORTION TO MAUR'
        READ(5,*)RMAURI
        WRITE(5,*)'ENTER INITAL PROPORTION TO SENEGAL'
        READ(5,*)RSENEI
        WRITE(5,*)'ENTER MAXIMUM NUMBER OF HA POSSIBLE FOR MALI'
        READ(5,*)TOTMAL
        WRITE(5,*)'ENTER FINAL PROPORTION TO MAUR'
        READ(5,*)RMAURF
        WRITE(5,*)'ENTER FINAL PROPORTION TO SENEGAL'
        READ(5,*)RSENEF
        WRITE(5,*)'ENTER INITIAL AREAS IRRIGATED'
        WRITE(5,*)'ENTER AREA FOR MALI'
        READ(5,*)AMALI
        WRITE(5,*)'ENTER AREA FOR MAURITANIA'
        READ(5,*)AMAUR
        WRITE(5,*)'ENTER AREA FOR SENEGAL'
        READ(5,*)ASENE
        WRITE(5,*)'ENTER TOTAL INITIAL AREA IRRIGATED'
        READ(5,*)AII
23      CONTINUE
```

```
C                PRINT OUT THE NUMBER OF LINES IN THE TITLE HEADING
        WRITE(1,*)'14'
C       PRINT OUTPUT HEADINGS
        WRITE(1,2015)
        WRITE(1,*)'OUTPUT FROM AREA.FTN USED AS INPUT FOR AGBEN'
        WRITE(1,*)'VALUES OF OPTIONS USED FOR THIS RUN ARE'
        WRITE(1,2004)R2,TNEW
        WRITE(1,2005)TF
        WRITE(1,2030)RMALII,RMAURI,RSENEI,TOTMAL,RMAURF,RSENEF
     *,AMALI,AMAUR,ASENE
        WRITE(1,2015)
       WRITE(1,2000)
       WRITE(1,2001)
        WRITE(1,2015)
 2000 FORMAT(20X,'AGRICULTURAL AREAS DATA TABLE')
 2001 FORMAT(6X,'YEAR',7X,'RATE',8X,'AI',8X,'ARD',8X,'ADD',8X,'AF'
     *,2X,'   MALI    MAUR    SENE')
 2004 FORMAT(' NEW DEVELOPMENT RATE ',F8.0,'TIME TO NEW DEVELOPMENT RATE',
     *F5.0)
 2005   FORMAT(' NUMBER OF YEARS BEFORE THE FLOOD',F5.0)
 2015   FORMAT('                ')
 2030   FORMAT(' THE FOLLOWING VALUES WERE USED TO DISTRIBUTE'
     *,' HA DEVELOPED BETWEEN COUNTRIES',/,1X,
     *' INITIAL  MALI = ',F5.4,' MAUR ',F5.4,' SENEGAL ',F5.4,
     */,' TOTAL POSSIBLE HA IN MALI = ',F7.0,
     */,' FINIAL  MAUR ',F5.4,' SENEGAL ',F5.4,
     */,' INITIAL AREAS MALI ',F7.0,' MAUR ',F7.0,' SENEGAL ',F7.0)
C*******************************************************************************
       DO 100 K=1980,2030
         IF(K.NE.1980)GO TO 200
           R1=0.
           AI=AII
           ARD=0.
           ADD=0.
           AF=0.
           GO TO 500
  200  CONTINUE

C        INITIALIZE THE DEVELOPMENT RATE
         R1=4000.
         IF(T.GT.TNEW)R1=R2

C        IRRIGATED AREA
         AI=AI+R1
         IF(AI.GE.AIMAX)AI=AIMAX

C        RECESSION AREA DISPLACED
         ARD=AI-AII
         IF(ARD.LT.AR)GOTO 300
           ARD=AR

C          DRY FARM AREA DISPLACED
           ADD=AI-ARD-AII
           IF(ADD.GT.AD)ADD=AD
  300    CONTINUE

C        ARTIFICIAL FLOOD AREA
         IF(T.LT.TF)GOTO 400
         IF(AI.GE.AFMAX)GOTO 400
         AF=AFMAX-AI
         GOTO 500
  400    AF=0
  500    CONTINUE
```

```
C                DISTRIBUTE THE AREA DEVELOPED IN A GIVEN YEAR
C                BETWEEN THE 3 COUNTRIES
C       FIRST CHECK TO SEE IF MALI IS AT MAXIMUM
C       IF AT MAXIMUM CHANGE PROPORTIONS
        R1T=R1
        AMALIT=AMALI+R1T*RMALI
        IF(AMALIT.LT.TOTMAL)GO TO 50
        XADD=TOTMAL-AMALI
        AMALI=TOTMAL
        RMALI=0.0
        RMAUR=RMAURF
        RSENE=RSENEF
        R1T=R1-XADD
50      CONTINUE
        AMALI=AMALI+R1T*RMALI
        AMAUR=AMAUR+R1T*RMAUR
        ASENE=ASENE+R1T*RSENE
C               CALCULATE THE PROPORTION OF TOTAL AREA IRRIGATED
C               IN EACH COUNTRY
        PCMAL=AMALI/AI
        PCMAU=AMAUR/AI
        PCSEN=ASENE/AI
        WRITE(1,2003)K,R1,AI,ARD,ADD,AF,PCMAL,PCMAU,PCSEN
2003    FORMAT(I10,F10.0,3F11.0,F10.0,2X,3(F6.4,1X))
        T=T+1
 100  CONTINUE
        WRITE(1,2010)
2010    FORMAT(' **********************************************************',
     * '**************************************')
      CLOSE(UNIT=1,DISP='KEEP')
      STOP
      END
```

WRITE

```
C       THIS PROGRAM WRITES OUT THE AG. ECONOMIC SECTOR DATA TABLE
C       THIS PROGRAM WRITEN BY GEORGE LEO HARGREAVES 1982
        DIMENSION NTITLE(80)
        REAL*8 NAME(28)
        DATA NAME/'RICE WET','RICE DRY','TOMATO W','TOMATO D',
       * 'WHEAT  W','WHEAT  D','NIEBE  W','NIEBE  D','S.CANE W',
       * 'S.CANE D','SORGHM W','SORGHM D','MAIZE  W','MAIZE  D',
       * 'COTTON W','COTTON D','C.MILK W','C.MILK D','C.MEAT W',
       * 'C.MEAT D','S.MILK W','S.MILK D','S.MEAT W','S.MEAT D',
       * 'G.MILK W','G.MILK D','G.MEAT W','G.MEAT D'/
        OPEN(UNIT=1,NAME='AGTAB.PRE',TYPE='OLD')
        OPEN(UNIT=2,NAME='AGDATA.OUT',TYPE='NEW')

C       ACCOUNT FOR THE TABLE TITLE AND WRITE IT OUT
        READ(1,*)LTITLE
          DO 67 I67=1,LTITLE
           READ(1,1001)NTITLE
        WRITE(2,2001)NTITLE
 67       CONTINUE
 1001   FORMAT(80A1)
 2001   FORMAT(80A1,/)

C       PRINT OUT COLUMN HEADINGS
        WRITE(2,2002)
 2002   FORMAT(30X,'YIELDS (t/ha)',15X,'PRODUCTION COSTS',
       * 13X,'CROPPING PATTERN (%)')

        WRITE(2,2003)
 2003   FORMAT('+',10X,'WORLD',3X,'_____',2X,
       *  '_____',2X,
       *  '_____')

        WRITE(2,2004)
 2004   FORMAT(2X,'PRODUCT',2X,'PRICE',3X,'IRRIG.',2X,
       * 'FLOODED',2X,'RECESSION',2X,'RAINFED',2X,'LARGE PER.',2X,
       * '%',2X,'SMALL PER.',2X,'%',2X,'AREA',2X,'FLOODED',2X,
       * 'RECESSSION',2X,'RAINFED',2X,'WATER REQ.')

        WRITE(2,2005)
 2005   FORMAT('+','_____
       *_____
       *_____',/)

        DO 100 I=1,14
          READ(1,*)K,B,C,D,E,F,G,H,O,P,Q,R,S,T,U
          WRITE(2,2006)NAME(K),B,C,D,E,F,G,H,O,P,Q,R,S,T,U
 2006     FORMAT(1X,A8,F8.0,F9.3,F8.4,2F10.4,F10.0,F6.1,F10.0,F5.1,F6.3,
       *   F7.3,F11.3,F11.3,F9.2)
          READ(1,*)K,B,C,D,E,F,G,H,O,P,Q,R,S,T,U
          WRITE(2,2007)NAME(K),B,C,D,E,F,G,H,O,P,Q,R,S,T,U
 2007     FORMAT(1X,A8,F8.0,F9.3,F8.4,2F10.4,F10.0,F6.1,F10.0,F5.1,F6.3,
       *  F7.3,F11.3,F11.3,F9.2,/)
  100 CONTINUE
        CLOSE(UNIT=1,DISP='KEEP')
        CLOSE(UNIT=2,DISP='KEEP')
        STOP
        END
```

RA

```
C       CALCULATE EXTERRESTIAL RADIATION IN LANGLEYS AND DAY LENGHT
        OPEN(UNIT=4,NAME='RA',STATUS='NEW')
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C       PARAMETER DEFINITIONS
C       D=JULIAN DATE (JANUARY 1 = 1)
C       DECL=DECLINATION (ANGLE OF THE SUN) IN DEGREES
C       DER=DECLINATION (ANGLE OF THE SUN) IN RADIANS
C       DL=DAY LENGTH IN HOURS (SUNRISE TO SUNSET)
C       ES=DISTANCE OF THE SUN TO THE EARTH DIVIDED BY THE MEAN DISTANCE
C       RLD=EXTRATERRESTIAL RADIATION IN LANGLEYS PER DAY
C       XLA=LATITUDE OF THE STATION IN DEGREES (MINUTES IN DECIMAL FORM)1
C       XLR=LATITUDE IN RADIANS
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
        WRITE(5,2001)
 2001   FORMAT(2X,'ENTER LATITUDE OF STATION IN DEGREES (XLA)')
        READ(5,*)XLA
        XLR=XLA/57.2958
C       INITIALIZE PARAMETER
        D=0
        DO 100 I=1,365
        D=D+1.
        Y=COS(.0172142*(D+192.))
        DER=.40876*Y
        DECL=57.2958*DER
        ES=1.00028+.03269*Y
        Z=-TAN(XLR)*TAN(DER)
        IF(Z) 44,43,42
   42    OM=ATAN(SQRT(1.0-Z*Z)/ABS(Z))
        DL=OM/.1309
        GO TO 45
   43    OM=1.5708
        DL=12.
        GO TO 45
   44    OM=ATAN(SQRT(1.0-Z*Z)/ABS(Z))
        DL=24.-(OM/.1309)
   45   CONTINUE
        RLD=120.*(DL*SIN(XLR)*SIN(DER)+7.639*COS(DER)*COS(XLR)*SIN(OM))/ES
        WRITE(4,2000)D,RLD,DL
2000    FORMAT(3F10.2)
  100   CONTINUE
        STOP
        END
```

GAMMA

```
C       THIS PROGRAM CALCULATES THE RAINFALL PROBABILITY OF OCCURRENCE
C       BY CALCULATING THE GAMMA DISTRIBUTION OF PRECIPITATION ON A
C       MONTHLY BASIS. THE GAMMA PARAMETERS ARE CALCULATED WITH THE
C       USE OF MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATORS.  THE GAMMA FUNCION IS
C       EVALUATED WITH THE USE OF A SUBROUTINE IN VAX CALLED GAMMA
C       WHICH IS A PART OF THE PACK IMSL.
C       THE SUBROUTINE HAR WHICH IS CALLED IN THIS PROGRAM IS TO
C       CALCULATE THE ETP USING THE HARGREAVES EQUATION.
C       Z ARRAY IS THE PARAMETERS FOR THE NORMAL DISTRIBUTION
C       PFREQ IS THE PROBABILITY LEVELS
C       AV IS THE MONTHLY AND YEARLY AVERAGE RAINFALL
C       PREC IS THE MONTHLY PRECIPITATION IN TENTHS OF MM
        DOUBLE PRECISION RPIE,GAMMA1
        CHARACTER FILE*12,NAME*30
        REAL  PREC(100,13),Z(6),PFREQ(13),AV(13),RPAR(13),
     *  AMBA(13),GAMMAP(13),RUN1(13),RUNPP(13,14),
     *  NAME1(14),NAME2(3),TEMP(100,13),AVT(13),ETP(13)
C*************************************************************************
C       ENTER STATION NAME AND DATA
        WRITE(5,'(2X, ''ENTER STATION NAME '',$)')
        READ(5,'(A)')NAME
        WRITE(5,'(2X, ''ENTER STATION LATITUDE (DEGREE,MINUTES) '',$)')
        READ(5,*)LD,LDM
        WRITE(5,'(2X, ''ENTER STATION LONGITUDE (DEGREE,MINUTES) '',$)')
        READ(5,*)LG,LGM
        WRITE(5,'(2X, ''ENTER STATION ELEVATION IN METERS '',$)')
        READ(5,*)ELEV
        WRITE(5,'(2X, ''ENTER NUMBER OF YEARS OF DATA '',$)')
        READ(5,*)NYEARS
        WRITE(5,'(2X, ''ENTER NAME OF TEMP & PRECIP FILE DATA '',$)')
        READ(5,'(A)')FILE
C *************************************************************************
        OPEN(UNIT=1,FILE=FILE,STATUS='OLD')
        OPEN(UNIT=2,FILE=NAME,STATUS='NEW')
C     ******* INITIALIZE THE DATA***********
        DATA NAME1/'PROB','JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN','JUL',
     *  'AUG','SEP','OCT','NOV','DEC','ANN'/
        DATA NAME2/'MEAN','TEMP','ETP'/
        DATA Z/1.64485,1.28155,.84162,.67449,.5344,.25300/
        DATA PFREQ/5.,10.,20.,25.,30.,40.,50.,60.,70.,75.,80.,90.,95./
        DATA NFREQ/13/
C       READ MONTHLY TEMPERATURE & PRECIPITATION DATA
        DO 1 I=1,NYEARS
        DO 21 J=1,12
          READ(1,1002) TEMP(I,J),PREC(I,J)
  21    CONTINUE
  1     CONTINUE
 1002   FORMAT(14X,2F10.1)
C  ************************************************************************
        FN=NYEARS
        NPH=NFREQ/2.
        NPRBP=NFREQ+1
C       CALCULATE THE AVERAGE MONTHLY PRECIPITATION
```

```
      DO 2 J=1,12
        SUM=0.0
        COUNT=0.0
C     IDENTIFY MISSING DATA AND CALCULATE MONTHLY AVERAGES
      DO 3 I=1,NYEARS
        IF(PREC(I,J).EQ.200000.) PREC(I,J)=-1.0
        IF(PREC(I,J).GE.0.0) SUM=SUM+PREC(I,J)
        IF(PREC(I,J).GE.0.0) COUNT=COUNT+1
    3 CONTINUE
      AV(J)=SUM/COUNT
    2 CONTINUE
      IF(J.LE.12)GOTO 11
C     CALCULATE THE AVERAGE ANNUAL PRECIPITATION
      DO 4 I=1,NYEARS
      DO 5 J=1,12
        IF(PREC(I,J).LT.0.0) PREC(I,J)=AV(J)
    5 CONTINUE
    4 CONTINUE
      DO 6 I=1,NYEARS
        SUM=0.0
        DO 7 J=1,12
          SUM=SUM+PREC(I,J)
    7   CONTINUE
        PREC(I,13)=SUM
        SUM2=SUM2+SUM
    6 CONTINUE
      AV(13)=SUM2/NYEARS
   11 CONTINUE
C     BEGINING OF LOOP TO CALCULATE THE MONTHLY DISTIBUTION
      DO 180 J=1,13
      IF(AV(J).LT..01) AV(J)=.001
      SX2=(PREC(1,J)-AV(J))*(PREC(1,J)-AV(J))
      ALSX=ALOG(PREC(1,J)+.001)
   15 DO 10 I=2,NYEARS
        IF(PREC(I,J).LT.0) GOTO 10
        SX2=SX2+(PREC(I,J)-AV(J))*(PREC(I,J)-AV(J))
        ALSX=ALSX+ALOG(PREC(I,J)+.001)
   10 CONTINUE
      ALXBAR=ALOG(AV(J)+.001)
      ALXBAR=ALXBAR-ALSX/FN
C     MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATOR FOR THE GAMMA ARE CALCULATED
      RPAR(J)=1./(4.*ALXBAR)*(1+SQRT(1.+4.*ALXBAR/3.))
      AMBA(J)=RPAR(J)/AV(J)
      RPAR1=RPAR(J)-1.
      IF(RPAR(J).LE.0) RPAR(J)=+.001
C     SAMPLE STANDARD DEVIATION STD1 CALCULATED
      STD1=SQRT(SX2/(FN-1.))
C     FOR VALUES OF RPAR GREATER THAN 85 THE DISTRIB IS ASSUMED NORMAL
      IF(RPAR(J).GE.85) GO TO 150
      GAMMAP(J)=GAMMA(RPAR(J))
      GAMMAP(J)=ALOG(ABS(GAMMAP(J)))
      GAMMA1=GAMMAP(J)
C     LOOP TO CALCULATE A PRECIP VALUE FOR A GIVEN PROBABILTY
```

```
      DO 140 N=1,13
      NEST=0
      TEST=.0001
      DEST=.0004
      XO=RPAR1
      IF(RPAR(J)-1.0)30,20,20
 20   IF(XO)40,40,50
 30   XO=.0001
      GO TO 50
 40   XO=.01
 50   Z1=2.0
      NEST=NEST+1
      T1=XO/(RPAR1+Z1)
      S=T1+1.0
C     LOOP TO CALCULATE S IN THE NEWTON APPROXIMATION
      DO 70 L=1,100
      Z1=Z1+1.0
      T1=(T1*XO)/(RPAR1+Z1)
 60   S=S+T1
      IF(T1-TEST)80,80,70
 70   CONTINUE
 80   DL=PFREQ(N)/100
      IF(DL)120,90,90
 90   RPIE=XO
C     FOR VALUES OF XO GREATER THAN 86 GO TO NORMAL DISTRIBUTION
      IF(XO.GT.86.0) GO TO 150
      RPIE=DEXP(GAMMA1-(RPAR1*DLOG(RPIE)))
      X1=XO-(XO/RPAR(J))*S+(DL*RPIE*EXP(XO))
      DX=X1-XO
 100  XO=X1
      IF(XO)120,130,110
 110  IF(ABS(DX).LE.DEST) GO TO 130
      IF(NEST.LE.100) GO TO 50
 120  X1=0.0
C     THE VALUES OF PRECIPITAION IS CALCULATED FOR PROB. LEVEL
 130  RUN1(N)=X1/AMBA(J)
 140  CONTINUE
      GO TO 170
C     LOOP TO CALCULATE A NORMAL DISTRIBUTION
 150  DO 160 K=1,NPH
      FACD=STD1*Z(K)
      RUN1(K)=AV(J)-FACD
      RUN1(NPRBP-K)=AV(J)+FACD
      IF(RUN1(K).LT.0) RUN1(K)=0.0
 160  IF(RUN1(NPRBP+1).LT.0) RUN1(NPRBP+1)=0.0
      RUN1(NPH+1)=AV(J)
 170  CONTINUE
      DO 180 N=1,13
 180  RUNPP(N,J)=RUN1(N)
      CALL HAR(ETP,TEMP,NYEARS,AVT)
C ********** FORMATS TO WRITE DOWN THE VALUES******
      WRITE(2,310)NAME,LD,LM,LG,LGM,ELEV,NYEARS
 310  FORMAT(1X,'STATION ',A12,' LAT',2I3,'   LONG',2I3,
```

```
     *  '   ELEV',F7.1,' M',I5,' YEARS')
        WRITE(2,510)
        WRITE(2,500)
        WRITE(2,320) (NAME1(J),J=1,14)
        WRITE(2,500)
320     FORMAT(3X,14A6)
        DO 330 N=1,13
          N1=14-N
          IF(MOD(N,5).EQ.0) WRITE(2,510)
          WRITE(2,340) PFREQ(N1),(RUNPP(N,J),J=1,13)
340       FORMAT(3X,14F6.0)
330     CONTINUE
        WRITE(2,510)
        WRITE(2,400) NAME2(1),(AV(J),J=1,13)

        WRITE(2,400) NAME2(2),(AVT(J),J=1,13)
        WRITE(2,400) NAME2(3),(ETP(J),J=1,13)
400     FORMAT(3X,A6,13F6.0)
        WRITE(2,500)
500     FORMAT(3X,84(1H*))
510     FORMAT(3X,84(1H ))
        STOP
        END
```

HAR

```
      SUBROUTINE HAR(ETP,TEMP,NYEARS,AVT)
C     THIS SUBROUTINE ESTIMATES ETP USING THE HARGREAVES FORMULA
C     DM=NUMBER OF DAYS IN A MONTH
C     ETP=POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION IN MM/MONTH
C     RMM=RS EXPRESSED IN EQUIVALENT MM/MONTH OF WATER EVAPORATION
C     RS=RADIATION AT THE EARTH'S SURFACE IN LANGLEYS/DAY
C     TF=TEMPERATURE IN DEGREES FAHRENHEIT
      DIMENSION ETP(13),TEMP(100,13),DM(12),RS(12),AVT(12)
      DATA RS/425.,505.,550.,585.,580.,560.,550.,510.,520.,
     *  485.,420.,410./
      DATA DM/31,29,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
C     CALCULATE THE AVERAGE MONTHLY TEMPERATURE
      DO 10 J=1,12
        SUMT=0.0
        COUNTT=0.0
C     IF TEMP=990 DATA IS MISSING
      DO 20 I=1,NYEARS
      IF(TEMP(I,J).NE.990) THEN
        SUMT=SUMT+TEMP(I,J)
        COUNTT=COUNTT+1
      END IF
   20 CONTINUE
      AVT(J)=SUMT/COUNTT
   10 CONTINUE
C     CALCULATE DAY LENGTH & ETP FOR EACH MONTH
      DO 13 J=1,12
C     CALCULATE EQUIVELENT MM OF EVAPORATION BASED OF LATENT HEAT
      RMM=DM(J)*10.*RS(J)/(595.9-.55*AVT(J))
      TF=1.8*AVT(J)+32
      ETP(J)=.0075*RMM*TF
   13 CONTINUE
      DO 14 J=1,12
        SUM=SUM+ETP(J)
        TSUM=TSUM+AVT(J)
   14 CONTINUE
      ETP(13)=SUM
      AVT(13)=TSUM/12.
      RETURN
      END
```

Appendice E

Bibliographie

Bolivian - Utah State/USAID Study Team. 1972. Irrigation analysis for selected crops. Santa Cruz, Bolivia. Utah State University, Logan, Utah.

Chow, Ven Te, editor-in-chief. 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.

Dastane, N. G. 1974. FAO Irrigation and Drainage Paper 25: Effective Rainfall. FAO Rome.

Dunne, Thomas and Luna B. Leopold. 1978. Water in Environmental Planning. W. H. Freeman and Company, San Francisco.

FAO (Organization des Nations Unies pour L'Alimentation et L'Agriculture). 1979. Rapport sur le projet relatif aux zones agro-ecologiques, Vol. 1. Methodologie et resultats pour L'Afrique. Fao, Rome.

Gupta, S. C. and W. E. Larson. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter persent, and bulk density. Water Resources Research, Vol. 15, No. 6, p. 1633-1635.

Haan, Charles T. 1979. Statistical methods in hydrology. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Hardee, James E. 1971. Analysis of Colombian precipitation to estimate irrigation requirements. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah.

Hargreaves, G. H. 1977. World water for agriculture (climate, precipitation probabilities and adequacies for rainfed agriculture). Utah State University, Logan, Utah.

Hargreaves, G. H. 1981a. Water requirements and man-induced climate change. Journal of the Irrigation and Drainage Div., Proceedings of the ASCE, Vol. 107, No. IR3, Sept. pp. 247-255.

Hargreaves, G. H. 1982a. Dependable precipitation and potential yields for Senegal: A practical guide for rainfed agriculture. International Irrigation Center. Utah State University, Logan, Utah.

Hargreaves, G. H. 1982b. Blaney-Criddle coefficients for Western Turf Grasses, Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of Vol. 108, No. IR4, December, pp. 277-279.

Hargreaves, George H. and G. Leo Hargreaves. 1982. Irrigation scheduling and water management: A paper for the USCID ninth technical conference. Utah State University, Logan, Utah.

International Rice Research Institute. 1978. Irrigation policy and management in Southeast Asiz. Los Banos, Philippines.

James D. W. and R. K. Stutler (eds). 1982. On-farm water management research and demonstration in a tropical wet/dry climate. Research Bulletin No. 1, International irrigation Center, Utah State University, Logan, Utah.

James, L. Douglas and Robert R. Lee. 1971. Economics of water resources planning. McGraw-Hill, New York.

Jean, Frank C. and John E. Weaver. 1924. Root behavior and crop yield under irrigation. Carnegie Institution of Washington, Washington, D. C.

Litzenberger, Samual C., ed. 1974. Guide for field crops in the tropics and subtropics. Office of Agriculture Technical Assistance Bureau Agency for International Development Washington, D. C.

Ministere de la Cooperatation Republique Francaise. 1974. Memento de l'Agronome: Techniques rurales in Afrique. Ministere de la Cooperation. Paris, France.

Riley, J. Paul, Jay C. Andersen, A. Bruce Bishop, David S. Bowles, and John E. Keith. 1978. Cost allocation alternatives for the Senegal River Development Program. Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, Utah.

Sir Alexander Gibb and Partners. 1978. Global evaluation of the regional development programme (Global Study). Consulting Engineers, London.

Sogreah, Ingenieurs Conseils. 1972. Etude hydro-agricole du Bassin du Fleuve Senegal. Schema de principe detaille, casier pilote de Nianga, Frenoble, France.

Stern, Peter H. 1979. Small scale irrigation. International Irrigation Information Center. Ottawa, Canada.

Stewart, J. I, R. M. Hagan, W. O. Pruitt, R. J. Hanks, J. P. Riley, R. E. Danielson, W. T. Franklin, and E B. Jackson. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, Utah.

Vanegas, Jaime. 1977. Irrigation requirements for Peru from minimum data. Master's thesis, Dept. of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah.

Vicente-Chandler, Jose, Ruben Caro-Costas, Robert W. Pearson, Fernando Abruna, Jacinto Figarella, and Servando Silva. 1964. The intensive management of tropical forages in Puerto Rico. University of Puerto Rico, Agricultural Experimental Station, Rio Piedras, puerto Rico.