

COMPETITION POUR DES RESSOURCES LIMITEES: LE CAS DE LA CINQUIEME REGION DU MALI *RAPPORT 3*

DESCRIPTION FORMELLE DU MODELE D'OPTIMISATION MALI5

F.R. Veeneklaas

Centre des Recherches Agrobiologiques (CABO)
Wageningen, Pays-Bas
&
Etude sur les Systèmes de Productions Rurales en 5ème
Région (ESPR), Mopti, Mali
Août 1990

Centre des Recherches Agrobiologiques (CABO)

Boîte postale 14,
6700 AA Wageningen
Pays-Bas
Télécopie: (+31)(0)8370-23110
Télex: 75209 cabo.nl
Bitnet: pri@cabo.agro.nl

Veeneklaas, F.R.

Compétition pour des ressources limitées: Le cas de la cinquième région du Mali. Rapport3: Description formelle du modèle d'optimisation MALI5. Centre des Recherches Agrobiologiques (CABO), Wageningen, Pays-Bas / Etude sur les Systèmes de Productions Rurales en 5ème Région (ESPR), Mopti, Mali, 64 pages

ISBN 90-73384-05-2

© CABO/ESPR 1990

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of CABO or ESPR

TABLE DES MATIERES

- [PREFACE](#)
- [1.INTRODUCTION](#)
- [2. DESCRIPTION DU MODELE](#)
 - [2.1. Utilisation des terres](#)
 - [2.1.1. Terres arables](#)

- [2.1.2. Pâturages](#)
 - [2.1.3. Réserves naturelles](#)
- [2.2. Rendements des cultures](#)
- [2.3. Intrants aux cultures \(à l'exception de la main-d'oeuvre\)](#)
 - [2.3.1. Intrants financiers](#)
 - [2.3.2. Traction](#)
 - [2.3.3. Eléments nutritifs](#)
- [2.4. Production de fourrage des pâturages](#)
- [2.5. Intrants à l'élevage](#)
 - [2.5.1. Intrants nécessaires](#)
 - [2.5.2. Limitations au fourrage](#)
- [2.6. Pêche](#)
- [2.7. Main-d'oeuvre](#)
 - [2.7.1. Intrants en main-d'oeuvre aux activités de culture](#)
 - [2.7.2. Limitation à la main-d'oeuvre](#)
- [2.8. Contraintes et définitions diverses](#)
 - [2.8.1. Nombre d'ânes et de chameaux](#)
 - [2.8.2. Autoconsommation](#)
 - [2.8.3. Précautions](#)
- [2.9. Objectifs, limitations des objectifs et variables restreintes](#)
 - [2.9.1. Objectifs de production physique au cours d'une année normale](#)
 - [2.9.2. Objectifs financiers](#)
 - [2.9.3. Risques au cours d'une année sèche](#)
 - [2.9.4. Emploi et émigration](#)
 - [2.9.5. Réserves naturelles](#)
 - [2.9.6. Limitations](#)
- [3. FICHER DE DONNEES](#)
- [REFERENCES](#)
- [ANNEXE A. LISTE DES INDICES](#)
- [ANNEXE B. LISTE DES VARIABLES](#)

PREFACE

Ce rapport est écrit dans le cadre du "projet Mopti", officiellement appelé "Elaboration d'un plan d'utilisation des terres pour la 5ème Région du Mali (Région Mopti) et Cercle de Niafunké", activité conjointe du Centre de Recherches Agrobiologiques (CABO, Wageningen, Pays-Bas) et d'une équipe multidisciplinaire basée au Mali (ESPR, Etude sur les Systèmes de Productions Rurales en 5ème Région). Ce projet est financé conjointement par la Direction Générale pour la Coopération Internationale (DGIS) du Ministère Néerlandais des Affaires Etrangères et par le Gouvernement du Mali (dans le cadre du financement de ODEM II en de ORM III par la Banque Mondiale).

L'objectif de ce projet est d'évaluer les possibilités de développement agricole régional, d'après une description quantitative des activités de production agricoles actuelles et potentielles (culture, élevage et pêche). Ce projet devrait aboutir à des propositions d'options de développement techniquement réalisables, pour une utilisation durable des terres agricoles de la 5ème Région du Mali et du Cercle de Naifunké. Dans le présent projet, on utilise un modèle de programmation linéaire associant des données sur les ressources régionales à des informations sur les activités possibles dans la Région.

Le titre général du rapport est "Compétition pour des ressources limitées: le cas de la Cinquième Région du Mali". Il est subdivisé en quatre sous-rapports plus ou moins dépendants quant aux sujets traités et par la démarche les sous-tendant. Ainsi le rapport 1, intitulé "Ressources naturelles et population" (Cissé & Gosseye, 1990) donne une vue générale des conditions environnementales et humaines de la région d'étude. Le rapport 2 avec comme titre "Productions végétales, animales et halieutiques" (van Duivenbooden & Gosseye, 1990) décrit en termes quantitatifs les différentes activités agricoles nécessaires pour le modèle d'optimisation.

Le rapport 3, intitulé "Description formelle du modèle d'optimisation MALI5" (Veeneklaas, 1990), donne la description du modèle de programmation linéaire utilisé dans cette étude.

Enfin, le rapport 4 est une synthèse des trois sous-rapports précédents et une présentation des résultats des optimisations ainsi que les conclusions. Il est intitulé "Stratégies de développement" (Veeneklaas *et al.*, 1990).

1. INTRODUCTION

Ce rapport donne une description détaillée du modèle d'optimisation MALI5 ([Chapitre 2](#)) ainsi qu'une brève description du fichier de données utilisé ([Chapitre 3](#)). Ce modèle est linéaire dans toutes ses relations et peut être résolu par programmation linéaire (PL). Pour la modélisation et la résolution, on utilise le logiciel SCICONIC. Ce programme exige trois fichiers d'entrée: un fichier de données (voir Chapitre 3), un fichier décrivant le modèle (Chapitre 2) et, facultativement, un module d'écriture. Ce dernier est un fichier FORTRAN qui doit être écrit par l'utilisateur, transformant la sortie de l'optimisation en format lisible. Il ne sera pas discuté dans ce rapport.

La description du modèle en format SCICONIC se trouve dans le fichier informatif MODELx.DOC, où x désigne la version du modèle. On peut trouver le fichier de données complet dans le fichier informatique DATAMx.DOC. Le nom du module d'écriture est REPORT.FOR.

Ce rapport ne traite ni de la façon de formuler le modèle, ni de celle de préparer les données pour SCICONIC. Nous renvoyons le lecteur au manuel SCICONIC (Scicon Limited, février 1986) ou au manuel de la microversion de SCICONIC (Scicon Limited, avril 1987). On ne trouvera ci-après que quelques remarques sur la correspondance entre la présentation du modèle et des données dans ce rapport et le logiciel SCICONIC. Bien que l'établissement et la forme de la présentation soient influencés par les exigences spécifiques du programme d'optimisation utilisé, ce rapport peut être lu sans connaissance particulière de SCICONIC.

Terminologie

Certains mots utilisés dans ce rapport ont une signification particulière. Nous les énumérons ci-dessous.

- **Région:** Cinquième région du Mali (Région de Mopti) plus le Cercle de Niafunké. Outre ces limites géographiques, le terme "Région" est limité aux seules activités agricoles. Les autres activités économiques, telles que l'industrie, l'administration et les autres services, sortent du cadre "Région". En conséquence, l'**émigration** par exemple peut être interprétée comme la sortie physique ou économique de la région. Il en va de même pour l'**exportation** et l'**importation** de biens.
- **Sous-région** = L'une des 11 zones agro-écologiques au sein de la Région.
- **Agriculture** = Culture, élevage et pêche continentale.
- **Activité** = Technique de production des cultures, de l'élevage ou de la pêche, pleinement décrite par les coefficients d'intrants et d'extrants.
- **Sous-produit des cultures** = Résidus des cultures utilisables pour la consommation animale.
- **Objectif** = Objectif pouvant être optimisé (soit minimisé, soit maximisé).
- **Variable restreinte** = Objectif soumis soit à une limite inférieure, soit à une limite supérieure.

Notation

Pour ce qui est de la notation, on respecte les conventions suivantes.

- Majuscules: noms des variables; noms des valeurs externes.
- Minuscules: coefficients (trois caractères) et indices (une lettre).
- [...] indique l'unité de mesure (dimension).

Les équations et inégalités présentées au Chapitre 2 sont suivies de:

- Une spécification des indices. Par ailleurs, lorsqu'une somme est tronquée, on le spécifie.
- Définitions des variables utilisées et de leur dimension. Lorsque la même variable apparaît plus d'une fois dans le même chapitre, on ne reprend pas sa description.
- Définitions des coefficients et de leur dimension.

SCICONIC

L'utilisateur du programme d'optimisation SCICONIC reconnaîtra un certain nombre d'éléments dans la façon dont ce modèle et ses données sont présentés ci-après. Comme il n'existe pas toujours une correspondance exacte entre les noms et le concept utilisé, nous donnons ci-après les ressemblances et les différences, pour éviter toute confusion.

Dans ce rapport	SCICONIC
Variables	'Variables' ou 'columns'
Noms des variables	'Variable names'
Equations/inégalités	'Rows'
Indices	'Suffices'
Valeurs externes	'External values'
Pour ... constatations	'For ... statements'
Coefficients	Peut se rapporter aux 'external values', aux 'elements ou' à une combinaison des deux

Remarquons de plus que tous les chiffres sont donnés sur une base annuelle; ceci n'est pas mentionné explicitement dans les définitions de l'unité de mesure.

Enfin, toutes les variables sont non-négatives.

2. DESCRIPTION DU MODELE

Le modèle MALI5 possède un certain nombre de blocs de limitations (inégalités) ou d'équations. En terminologie PL, ces inégalités et équations sont appelées "lignes". Elles se rapportent (i) aux limitations en terres, (ii) aux équations définissant les produits des cultures (iii) les intrants aux cultures (en dehors de la main-d'oeuvre), (iv) à la production de fourrage des pâturages, (v) aux intrants à l'élevage, et (vi) à la pêche. On calcule par ailleurs (vii) l'intrant et la fourniture de main-d'oeuvre. En outre, sont présentés (viii) des définitions et contraintes diverses, telles que l'autoconsommation et le nombre minimum d'ânes et de chameaux. Enfin, (ix) un paragraphe définit les objectifs, les limitations aux objectifs et les variables dites variables limitées.

Le modèle présenté ci-après comprend 3218 équations ou des inégalités, 4199 variables et 30 000 coefficients non nuls dans la matrice PL.

2.1 Utilisation des terres

2.1.1. Terres arables

Comme l'indique le Rapport 1, on distingue 16 types de sols dans la Région, dont 12 conviennent en principe aux cultures. Dans des conditions particulières, par exemple une dégradation importante des sols, une partie des terres disponibles convenant théoriquement à l'utilisation agricole, doit être exclue. On introduit un indice appelé "indice d'utilité" pour chaque type de sol dans chaque sous-région - compris entre 0, pour un sol totalement inutilisable, et 1 pour un sol utilisable en totalité - afin de tenir compte de cette éventualité.

Toutes les cultures ne sont cependant pas réalisables sur chacun de ces 12 types de sol. Le tableau 2.1 montre les cultures possibles sur les 12 types de sol. Par ailleurs, même si un type de sol convient à une culture donnée, il est en réalité impossible d'utiliser toute la terre pour cette culture. Il faut tenir compte de l'éloignement entre le village et le champ. En pratique, nous supposons qu'une terre éloignée de plus de 6 kilomètres d'un point d'eau permanent ne convient pas à la culture. Son utilisation se limite au pâturage.

Pour certaines activités culturelles, on définit des périodes de jachère pour assurer une capacité de durabilité. Dans ce cas, à chaque hectare de terre cultivée correspond un nombre donné d'hectares devant être laissés en jachère.

Tableau 2.1 Présence de cultures sur les différents types de sol (les chiffres correspondent aux différentes activités de culture)

Culture/ technologie ^{a)}		Type de sol											
		B1	B2	C1	C2	D1	E1a	E1b	E2a	E2b	F1	F3b	G
1-5.	Mil/1	1	2	3	4	5	.	.	.	.	.	.	.
6-10.	Mil/2	6	7	8	9	10	.	.	.	.	.	.	.
11-17.	Mil/3	11	12	13	.	14	15	.	16	.	17	.	.
18-24.	Mil/4	18	19	20	.	21	22	.	23	.	24	.	.
25-28.	Mil/5	25	26	27	.	.	.	.	.	.	28	.	.
29-32.	Mil/6	29	30	31	.	.	.	.	.	.	32	.	.
33.	Fonio	.	.	33	.	.	.	.	.	.	.	.	.
34.	Sorgho/1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	34
35.	Sorgho/2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	35
36.	Arachide/1	.	.	36	.	.	.	.	.	.	.	.	.
37.	Arachide/2	.	.	37	.	.	.	.	.	.	.	.	.
38-42.	Niébé/1	.	38	39	40	41	.	.	.	.	42	.	.
43-45.	Niébé/2	.	43	44	.	.	.	.	.	.	45	.	.
46.	Oignon	.	.	.	.	.	.	.	.	.	46	.	.
47.	Légumes	.	.	.	.	.	.	.	.	.	47	.	.
49-52.	Fourragères	.	49	50	.	.	.	.	.	.	51	52	.
54-56.	Riz/1	.	.	.	.	.	.	54	.	55	.	56	.
57.	Riz/2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	57	.
58.	Riz/4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	58	.
59.	Riz/3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	59	.
48,53, 60-62.	Vacant	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		B1	B2	C1	C2	D1	E1a	E1b	E2a	E2b	F1	F3b	G

^{a)} indique le degré d'intensification, voir Rapport 2

Source: Rapport 1 (Cissé & Gosseye (eds), 1990) et Rapport 2 (van Duivenbooden & Gosseye, 1990)

En résumé, la terre disponible est réduite, en trois étapes, à la terre convenant aux cultures :

- terre convenant à n'importe quelle exploitation agricole (index d'utilité);

- terre convenant à la culture (type de sol);
- terre située à une distance raisonnable d'un point d'eau permanent (rayon de 6 km).

La surface requise pour les cultures dépend directement du niveau des activités agricoles: une unité de culture exige un km^2 plus une éventuelle surface donnée de jachère. Par ailleurs, la terre peut être utilisée comme pâturage ou laissée inutilisée. La surface totale de terre utilisée dans un rayon de 6 km autour d'un point d'eau pour chaque sous-région et pour chaque type de sol ne peut dépasser la surface disponible. Cette limitation peut être présentée sous la forme générale suivante:

1. Limitation en terres dans un rayon de ≤ 6 km autour d'un point d'eau

$$(1) [\text{Sigma}(i)] AC(i,r) + AF(g,r) + AR(g,r) + UNU(g,r) = la6(g,r)$$

pour tout $g=1,\dots,16$ (types de sol), sauf A ($g=1$), D2 ($g=7$), F2 ($g=13$) et F3a ($g=14$)

pour tout $r=1,\dots,11$ (sous-régions)

(Remarquons que la somme des i n'est valable que pour des i choisis, voir tableau 2.1)

avec les variables:

AC = activité culturelle

AF = surfaces de jachère

AR = pâturages dans un rayon de 6 km autour d'un point d'eau permanent

UNU = superficies non utilisées

toutes ces variables sont exprimées en km^2 .

et coefficients:

$la6(g,r)$ = superficie disponible pour la culture d'un sol de type g dans la sous-région r [km^2].

2. Définition d'une surface de jachère

$$(2) AF(g,r) = [\text{Sigma}(i)] fal(i)*AC(i,r)$$

pour tout $g=1,\dots,16$ (types de sol) sauf A ($g=1$), D2 ($g=7$), F2 ($g=13$) et F3a ($g=14$)

pour tout $r=1,\dots,11$ (sous-régions)

(Remarquons que la somme des i n'est valable que pour des i choisis)

avec les coefficients:

$fal(i)$ = ha jachère par ha cultivé avec une activité de culturale i . [$\text{ha.an ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$]

Il existe quelques contraintes supplémentaires pour des sols spécifiques dans des sous-régions spécifiques (pour plus de détails, voir Rapport 2, van Duivenbooden & Gosseye, 1990).

- Dans le Gourma (sous-région 7), seule une partie des sols C2 est considérée comme cultivable (180 km^2).

- La terre cultivable sur les sols D1 est limitée à 15 % dans les sous-régions 1 et 7, représente 100 % dans les sous-régions 2 à 5 et 0 % ailleurs.

- Pour les sols E1a, les pourcentages de terres cultivables sont de 100 % dans les sous-régions 3 et 4, de 15 % dans la sous-région 7 et de 0 % ailleurs.

- La culture du riz hors casiers sur les sols E1b, E2b et F3b est limitée.

- La culture est exclue sur les sols E2a dans le Gourma (sous-région 7).

- Sur les sols F1, la superficie de culture de légumes, y compris les oignons, est limitée en raison de la nécessité d'une irrigation. Par ailleurs, le sol F1 restant ne peut être utilisé en totalité pour les cultures.

- Seule une partie des sols G peut être utilisée pour cultiver le sorgho après retrait de la crue (i.e. = 25 % de l'unité TI7, classification PIRT).

Enfin, il existe quelques contraintes supplémentaires pour des cultures ou des activités de culturales spécifiques.

- En raison de la contrainte de rotation, la superficie totale dévolue à la culture de l'arachide et du niébé dans une sous-

- région ne doit pas dépasser 10 % de la superficie totale consacrée au mil au sorgho et au fonio dans cette sous-région.
- Au maximum deux tiers de la surface utilisée pour la culture des légumes peuvent être consacrés à l'oignon.
 - La superficie totale consacrée à la culture du riz en casiers est limitée à la surface disponible dans les casiers .
 - La surface totale consacrée à la culture du riz en irrigation est limitée à la superficie irriguée disponible.

2.1.2 Pâturages

Quatre types de sol - A (g=1), D2 (g=7), F2 (g=13) et F3a (g=14) - ne sont utilisables que pour le pâturage.

3. *Limitation des terres dans un rayon de ≤ 6 km autour d'un point d'eau, sols exclusivement utilisés pour le pâturage*

$$(3) AR(g,r) + UNU(g,r) = 1r6(g,r)$$

pour g=1,7,13,14 (type de sol)
pour tout r=1,...,11 (sous-région)

avec comme coefficients:

1r6(g,r) = surface de sol de type g disponible dans la sous-région r, dans un rayon de 6 km autour d'un point d'eau [km²].

4. *Absence de jachère sur les terrains de pâturage*

$$(4) [\Sigma(r)][\Sigma(g)] AF(g,r) = 0$$

Somme des g=1,7,13,14 uniquement

Pour les terrains de pâturage , une distinction est faite entre la terre située dans un rayon de 6 à 15 km d'un point d'eau permanent et celle se trouvant au-delà de ce rayon. La terre située dans un rayon de 6 à 15 km d'un point d'eau est considérée comme représentant un pâturage potentiel pour le cheptel semi-mobile et bien sûr pour le cheptel migrant au cours de la saison sèche, tandis que celle se trouvant au-delà de cette distance ne peut être utilisée que comme pâturage pendant la saison des pluies. Ceci signifie que ces derniers pâturages ne sont disponibles que pour les activités d'élevage migrant (voir [chap. 2.4](#)).

On distingue pour les pâturages situés dans un rayon de 6 à 15 km trois types de pacages différents: pacage tout au long de l'année, pacage uniquement au cours de la saison sèche, ou uniquement au cours de la saison des pluies. Le fourrage disponible pour la consommation animale varie en fonction du type de pacage.

5. *Limitation en superficie des pâturages situés dans un rayon de 6 à 15 km d'un point d'eau*

$$(5) ARY(g,r) + ARD(g,r) + ARR(g,r) \leq 115(g,r)$$

pour tout g=1,...,16
pour tout r=1,...,11

avec les variables:

ARY = surface de pâturage située dans un rayon de 6 à 15 km d'un point d'eau permanent, pacage tout au long de l'année

ARD = idem, pacage uniquement au cours de la saison sèche

ARR = idem, pacage uniquement au cours de la saison des pluies

toutes ces variables sont exprimées en km².

et les coefficients:

115(g,r) = surface de sol de type g disponible dans la sous-région r, dans un rayon de 6 à 15 km d'un point d'eau [km²].

6. Limitation en surfaces des pâturages de saison des pluies

$$(6) \text{ ARH}(g,r) \leq \text{lws}(g,r)$$

pour tout $g=1,\dots,16$

pour tout $r=1,\dots,11$

avec la variable:

ARH = surface de pâturage de saison des pluies [km^2].

et les coefficients:

$\text{lws}(g,r)$ = surface disponible de sol de type g dans la sous-région r , au-delà d'un rayon de 15 km autour d'un point d'eau [km^2].

2.1.3 Réserves naturelles

En dehors de l'utilisation agricole, la terre peut être réservée à la protection de la vie sauvage. Le delta intérieur du Niger, l'une des plus vastes zones marécageuses d'Afrique, représente un endroit important pour la migration saisonnière de nombreux oiseaux. Ceci explique que l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN, 1989) recommande dans son programme Sahel 1989 de réserver une surface de 1431 km^2 dans le delta pour la protection de la nature. Dans ce modèle, ceci s'exprime comme la possibilité de laisser une certaine surface du Delta Central non utilisée (sous-région 4), ce qui implique une proscription de toute activité agricole ou de pêche dans la zone réservée. Les types de sol concernés sont exprimés par le coefficient $\text{res}(g)$.

7. Limitation en surface des terres par les réserves naturelles

$$(7) \text{ UNU}(g,r) \geq \text{res}(g)*\text{GR}(c)$$

pour $r=4$ (sous-région Delta Central)

pour $c=4$ (variable limitée No 4 = surface en réserves naturelles)

pour tout g

avec la variable:

GR = variable restreinte [km^2] (comparable à une variable objectif, voir [2.9](#)).

et les coefficients:

$\text{res}(g)$ = part du sol de type g dans la zone de réserve; ces parts représentent au total 85 %, les 15 % restantes correspondant à une surface d'eau libre.

2.2 Rendements des cultures

Le rendement à l'hectare d'une culture dépend de l'activité (= technologie associée au type de sol) et des précipitations, et parfois des inondations. Les précipitations attendues dépendent elles-mêmes de la zone de précipitations dans laquelle l'activité se situe et de la nature de la pluviosité de l'année (année sèche ou année normale). Dans ce modèle, une distinction a été effectuée entre le produit principal d'une culture, e.g. le grain pour les céréales, et ses produits secondaires, appelés aussi sous-produits, c'est-à-dire les reliquats de culture pouvant être utilisés comme fourrage.

Le rendement est en fait le rendement net, c'est-à-dire que les pertes au cours de la récolte et après la récolte sont soustraites, de sorte qu'il équivaut à ce qui est consommable ou commercialisable.

On calcule la production totale par sous-région du produit principal de chaque culture, c'est-à-dire qu'on effectue la somme des productions des différentes activités. Par exemple, il existe six techniques de production du mil et 32 activités du mil; la variable calculée est la production totale de mil dans la sous-région r de l'ensemble des 32 activités

du mil. La forme générale de cette équation est la suivante.

8. Rendements des cultures, produit principal

$$(8) CP(a,j,r) = [\text{Sigma}(i)] y_{mp}(a,i,r) * AC(i,r)$$

pour tout a=1,2 (année normale ou année sèche)

pour tout j=1,...9 (cultures)

pour tout r=1,...11 (sous-régions)

Remarquons que la somme des i est partielle et dépend de j. Par exemple, si j=1 (culture = mil), alors i=1,...32; si j=2 (culture = fonio), alors i=33; si j=3 (culture=sorgho), alors i=34,35; etc.

avec les variables:

CP = rendement du produit principal [tonne = 1000 kg de matière sèche]

AC = activité culturelle [km²]

et les coefficients:

y_{mp}(a,i,r) = rendement par km² dans un régime des pluies a d'une activité i dans la sous-région r [tonne km⁻²].

La production totale de sous-produits se divise en une quantité constante par km² et une quantité proportionnelle au rendement du produit principal. Sous forme d'une formule: BP = c₁ + c₂*Y, où BP = sous-produit, Y = rendement du produit principal, et c₁ et c₂ sont des coefficients. Les résidus des cultures ne peuvent être utilisés en totalité pour la consommation animale. La fraction utilisable dépend de la culture.

Pour chaque activité de culture, la qualité des sous-produits est définie par la teneur en azote. On distingue quatre degrés de qualité.

- | | |
|-----------------------|----------------|
| 1. Qualité basse | %N < 0,75 |
| 2. Qualité moyenne | %N 0,75 - 1,00 |
| 3. Qualité bonne | %N 1,00 - 1,75 |
| 4. Qualité excellente | %N > 1,75 |

Ces degrés sont indiqués dans le modèle par l'indice q.

La quantité et la qualité des sous-produits de culture utilisés comme fourrage sont spécifiées dans le modèle par l'équation ci-dessous. Le premier terme à partir de la droite représente la production en fonction du rendement de produit principal, le deuxième terme représente la quantité dépendant de la superficie.

9. Rendements des cultures en sous-produits

$$(9) YBC(a,q,r) = [\text{Sigma}(i)] y_{bp}(i) * y_{bq}(i,q) * y_{mp}(a,i,r) * AC(i,r) + [\text{Sigma}(i)] y_{bc}(i) * y_{bq}(i,q) * AC(i,r)$$

pour tout a=1,2 (régime pluviométrique)

pour tout q=1,...4 (degré de qualité)

pour tout r=1,...11 (sous-région)

avec la variable:

YBC = sous-produit de culture utilisable pour le fourrage [tonne]

et les coefficients:

y_{bp}(i) = rapport sous-produit/produit principal de l'activité i [tonne tonne⁻¹]

y_{bc}(i) = production des sous-produits par km² [tonne km⁻²]

y_{mp}(a,i,r) = rendement du produit principal [tonne km⁻²], voir sous (8)

$y_{bq}(i,q)$ = part des sous-produits de l'activité i , degré de qualité q [dimension unitaire].
[$\Sigma(q)$] $y_{bq}(i,q) = 1$ pour chaque i .

2.3 Intrants aux cultures (à l'exception de la main-d'oeuvre)

En dehors de l'application externe d'éléments nutritifs, les intrants ne dépendent que de l'activité, non du produit (remarquons que pour une activité donnée, le produit peut varier en fonction des précipitations). La seule exception à cette règle est le besoin de main-d'oeuvre au cours de la période de récolte du mil, voir [paragraphe 2.7](#).

Il existe trois groupes d'intrants, en dehors de la main-d'oeuvre. Les intrants financiers, la traction et les éléments nutritifs.

2.3.1 Apports financiers

Ceux-ci se divisent en coûts d'exploitation et en amortissements (dépréciation). Dans ce modèle, les deux intrants financiers sont indiqués par l'index m . Les intrants financiers à toutes les activités de culture sont calculés pour chaque sous-région.

10. Intrants financiers aux activités de culture

$$(10) \text{CMI}(m,r) = [\Sigma(i)] \text{cim}(i,m) * \text{AC}(i,r)$$

pour tout $m=1,2$ (type de coût)
pour tout $r=1,\dots,11$ (sous-région)

avec les variables:

CMI = intrant financier total [10^6 FCFA]

AC = activité de culture [km^2]

et les coefficients:

$\text{cim}(i,m)$ = intrant financier à l'activité i , du type m [10^6 FCFA km^{-2}]

2.3.2 Traction

La culture attelé (labour et sarclage) est généralement effectuée par un paire de boeufs. La traction par ânes est rare dans la région, bien que ces animaux soient importants pour le transport des hommes et du matériel. Ce transport n'est cependant pas lié directement aux activités de culture. Nous traitons la question du nombre nécessaire d'ânes et de chameaux pour le transport au [paragraphe 2.8](#).

L'unité de mesure de traction est la journée-paire de boeufs, c'est-à-dire le travail effectué par un paire de boeufs en une journée. L'intrant nécessaire est exprimé en nombre de paires de boeufs nécessaires à cultiver un km^2 pour une culture donnée. Pour chaque sous-région, on calcule l'intrant de traction bovine nécessaire total.

11. Intrant en boeufs

$$(11) \text{CNI}(n,r) = [\Sigma(i)] \text{cil}(i) * \text{AC}(i,r)$$

pour $n=1$ (intrant aux cultures, 1 = paires de boeufs)

pour tout $r=1,\dots,11$ (sous-région)

avec la variable:

CNI = intrant aux cultures (pour $n=1$ paires de boeufs)

et les coefficients:

$cil(i)$ = nombre de paires de boeufs nécessaire à l'activité i [paire de boeufs km^{-2}]

Le nombre totale de paires de boeufs nécessaire dans une sous-région ne devra pas dépasser le nombre disponible. Ce dernier est un produit de l'une des activités d'élevage.

12. Limitation en boeufs

$$(12) CNI(n,r) \leq yeo * AE(a,b,r)$$

pour $n=1$ (intrant aux cultures, 1=paire de boeufs)

pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)

pour $a=1$ (type de climat, 1=année normale)

pour $b=1$ (activité d'élevage, 1=objectif de production principal boeuf)

avec la variable:

AE = activité d'élevage [1000 unité de bétail tropical - UBT]

et le coefficient:

yeo = produit en boeufs de l'activité d'élevage 1 [nombre de paires de boeufs par 1000 UBT]

2.3.3 Eléments nutritifs

Le besoin en éléments nutritifs externes, qu'il s'agisse d'engrais organiques ou d'engrais non-organiques (minéraux), est proportionnel au rendement du produit principal. Nous distinguons quatre formes d'intrants en éléments nutritifs: le fumier (en tonnes de matière sèche - MS) et les éléments principaux, à savoir N, P et K, sous forme élémentaire.

Dans ce modèle, on les désigne par l'indice $n=2, \dots, 5$. La variable représentant l'intrant aux cultures possède le même nom que celle se rapportant aux boeufs: $CNI(n,r)$. Les intrants totaux en éléments nutritifs au niveau de la sous-région sont définis comme suit.

13. Intrants en éléments nutritifs aux activités de culture

$$(13) CNI(n,r) = [\Sigma(i)] cin(i,n) * ymp(a,i,r) * AC(i,r)$$

pour $n=2, \dots, 5$ (intrant aux cultures, 2=fumier, 3=N, 4=P, 5=K)

pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)

pour $a=1$ (régime des pluies, 1=normal)

avec la variable:

CNI = intrant aux cultures (pour $n=2, \dots, 5$ éléments nutritifs)

et les coefficients:

$cin(i,n)$ = intrant nécessaire en éléments nutritifs par unité de produit principal [tonne $tonne^{-1}$]

$ymp(a,i,r)$ = rendement du produit principal [tonne km^{-2}], voir sous (8)

Pour le fumier, comme pour les boeufs, la demande dans une sous-région ne devra pas dépasser la quantité disponible. Cette quantité est fonction du degré d'activités d'élevage dans la sous-région.

14. Limitation du fumier

$$(14) CNI(n,r) + com(r) * \{pop(r) - EMI(r)\} \leq [\Sigma(b)] yem(b) * AE(a,b,r)$$

pour $n=2$ (intrant aux cultures, 2 = fumier)

pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)

pour $a=1$ (type de climat, 1=normal)

et les coefficients:

$yem(b)$ = production de fumier par l'activité d'élevage b [tonne MS par 1000 UBT]

$com(r)$ = consommation de fumier par tête comme combustible dans la sous-région r [tonne personne⁻¹]

$pop(r)$ = population de la sous-région r [personne]

2.4 Production de fourrage des pâturages

On divise la terre utilisée comme pâturage en cinq catégories, selon son emplacement et son mode de pacage.

1. Pâturage situé dans un rayon de 6 km autour d'un point d'eau permanent.

Pacage tout au long de l'année.

Nom de la variable $AR(g,r)$ ou, en cas de terre en jachère, $AF(g,r)$.

2. Pâturage situé dans un rayon de 6 à 15 km autour d'un point d'eau permanent.

Pacage tout au long de l'année.

Nom de la variable $ARY(g,r)$.

3. Pâturage situé dans un rayon de 6 à 15 km autour d'un point d'eau permanent.

Pacage uniquement au cours de la saison sèche. Nom de la variable $ARD(g,r)$.

4. Pâturage situé dans un rayon de 6 à 15 km autour d'un point d'eau permanent.

Pacage uniquement durant la saison des pluies.

Nom de la variable $ARR(g,r)$.

5. Pâturage situé au-delà d'un rayon de 15 km autour d'un point d'eau.

Pacage uniquement au cours de la saison des pluies.

Nom de la variable $ARH(g,r)$.

Il en résulte que dans ce modèle, la production de fourrage par les pâturages a une double dimension: le lieu et le temps. Ceci est important pour l'utilisation que les activités d'élevage peuvent faire de cette source de fourrage. Les activités d'élevage des animaux sédentaires nécessitent aussi bien durant la saison sèche que durant la saison des pluies des pâturages dans un rayon de 15 km autour d'un point d'eau. Les systèmes mobiles exploitent les pâturages de saison des pluies, mais au cours de la saison sèche ils ont également besoin de pâturages situés à l'intérieur d'un rayon de 15 km. Le régime de pacage choisi dans la zone de 6 à 15 km fait partie du procédé d'optimisation; l'avantage du pacage dans cette zone au cours de la saison humide est que l'on dispose par hectare d'un fourrage plus abondant et meilleur pour la consommation animale, l'inconvénient étant que les pâturages de saison des pluies restent inexploités.

La saison des pluies couvre une période de trois mois (en gros: juillet-août-septembre), les neuf mois restants appartenant à la saison sèche.

Remarquons d'autre part que toute terre de pâturage a un index g (type de sol) et r (sous-région). La production de fourrage est fonction de ces deux caractéristiques. Ceci est évident pour le type de sol. Chaque sous-région est située dans l'une des quatre zones de précipitations et ces zones déterminent, en association avec le type de climat, les précipitations et donc la productivité.

Pour ce qui est de la production de fourrage, on fait une distinction supplémentaire selon l'existence d'un système de lutte contre l'incendie et la pratique du fauchage dans la partie du Delta qui est inondée une partie de l'année. En pratique, on définit deux possibilités:

1. Système de lutte contre l'incendie et fauchage.

2. Absence de système de lutte contre l'incendie et de fauchage;

Dans ce modèle, l'indice p se rapporte à ces deux possibilités.

Pour calculer la production de fourrage des pâturages, on formule un certain nombre d'hypothèses. On trouvera une énumération complète de celles-ci dans le Rapport 2, mais en voici déjà deux des plus importantes. La première est de considérer que 35 % de la couche d'herbe sont utilisables pour la consommation animale en cas de pacage tout au long de l'année; au cours de la saison des pluies, cette proportion est de 50 %. La seconde hypothèse fixe la production de biomasse de la terre en jachère à la moitié de la production de pâturages similaires.

Comme pour les sous-produits des cultures, on tient compte non seulement de la quantité de fourrage fourni, mais également de sa qualité en termes de teneur nutritive. On utilise ici la classification en quatre degrés déjà utilisée pour les sous-produits des cultures, voir [paragraphe 2.2](#).

En plus de tout cela, on calcule la production des espèces ligneuses disponibles pour la consommation animale (jeunes pousses). On estime que seuls les chèvres et les chameaux consomment ce fourrage. En outre, on ne tient compte que de la consommation au cours de la saison sèche.

En résumé, la production de fourrage par les pâturages se répartit en fourniture de fourrage (4 degrés de qualité + jeunes pousses) dans un rayon de 15 km autour d'un point d'eau permanent (disponible pour l'élevage sédentaire), et au-delà de ce rayon (pâturages de saison des pluies uniquement pour les activités d'élevage mobile). On fait une distinction supplémentaire selon la période de l'année à laquelle ce fourrage est disponible.

15. Fourniture de fourrage, saison des pluies, ≤ 15 km

$$(15) \text{ YRW}(a,q,r) = [\text{Sigma}(g)] \text{ yyy}(a,g,q,r) * \{ \text{AR}(g,r) + 0,5 * \text{AF}(g,r) + \text{ARY}(g,r) \} + [\text{Sigma}(g)] \text{ yyr}(a,g,q,r) * \text{ARR}(g,r)$$

pour tout $a=1,2$ (régime des pluies)

pour tout $q=1,\dots,4$ (degré de qualité)

pour tout $r=1,\dots,11$ (sous-région)

avec les variables:

YRW = fourniture de fourrage au cours de la saison des pluies, dans un rayon de 15 km autour d'un point d'eau permanent [tonne]

AR = pâturage ≤ 6 km [km^2]

AF = terre en jachère [km^2]

ARY = pâturage à 6 - 15 km, pacage tout au long de l'année [km^2]

ARR = pâturage à 6 - 15 km, pacage pendant la saison des pluies [km^2]

et les coefficients:

$\text{yyy}(a,g,q,r)$ = productivité des pâturages pour un régime des pluies a sur un sol g d'un fourrage de qualité q dans une sous-région r , pacage tout au long de l'année [tonne km^{-2}]

$\text{yyr}(a,g,q,r)$ = idem, pacage uniquement au cours de la saison des pluies [tonne km^{-2}]

16. Fourniture de fourrage, saison des pluies, > 15 km

$$(16) \text{ YRW}(a,q,r) = [\text{Sigma}(g)] \text{ yyy}(a,g,q,r) * \text{ARH}(g,r)$$

pour tout a, q, r

avec les variables:

YRW = fourniture de fourrage au cours de la saison des pluies des pâturages > 15 km autour d'un point d'eau permanent [tonne]

ARH = pâturages de saison des pluies > 15 km [km^2]

17. Fourniture de fourrage, saison sèche, ≤ 6 km

$$(17) \text{YRS}(a,p,q,r) = [\text{Sigma}(g)] \text{zyz}(a,g,p,q,r) * \{ \text{AR}(g,r) + 0,5 * \text{AF}(g,r) \}$$

pour tout a, q, r

pour tout p=1,2 (caractéristiques incendie/fauchage)

avec les variables:

YRS = fourniture de fourrage au cours de la saison sèche, dans un rayon de 6 km autour d'un point d'eau permanent [tonne]

et les coefficients:

zyz(a,g,p,q,r) = productivité des pâturages pour un régime des pluies a sur un sol g avec des caractéristiques incendie/fauchage p, d'un fourrage de qualité q dans une sous-région r,

pacage tout au long de l'année [tonne km⁻²]

18. Fourniture de fourrage, saison sèche, ≤ 15 km

$$(18) \text{YRD}(a,p,q,r) = [\text{Sigma}(g)] \text{zyz}(a,g,p,q,r) * \{ \text{AR}(g,r) + 0,5 * \text{AF}(g,r) + \text{ARY}(g,r) \} +$$

$$[\text{Sigma}(g)] \text{yzd}(a,g,p,q,r) * \text{ARD}(g,r)$$

pour tout a, q, r

pour tout p=1,2 (caractéristiques incendie/fauchage)

avec les variables:

YRD = fourniture de fourrage au cours de la saison sèche, dans un rayon de 15 km autour d'un point d'eau permanent [tonne]

ARD = pâturages à 6 - 15 km, pacage uniquement au cours de la saison sèche [km²]

et les coefficients:

zyz(a,g,p,q,r) = productivité des pâturages pour un régime des pluies a sur un sol g avec des caractéristiques incendie/fauchage p, d'un fourrage de qualité q dans une sous-région r,

pacage tout au long de l'année [tonne km⁻²]

yzd(a,g,p,q,r) = idem, pacage uniquement au cours de la saison sèche [tonne km⁻²]

19. Fourniture de fourrage par les ligneux, ≤ 15 km

$$(19) \text{YRL}(r) = [\text{Sigma}(g)] \text{zrl}(g,r) * \{ \text{AR}(g,r) + 0,5 * \text{AF}(g,r) + \text{ARY}(g,r) + \text{ARD}(g,r) \}$$

pour tout r=1,...11 (sous-région)

avec la variable:

YRL = production de jeunes pousses dans les pâturages pour la consommation animale [tonnes]

et les coefficients:

zrl(g,r) = productivité des jeunes pousses dans les pâturages pour consommation animale sur un sol de type g dans une sous-région r [tonne km⁻²].

2.5 Intrants à l'élevage

2.5.1 Intrants nécessaires

Les activités d'élevage réclament des intrants en fourrage, en main-d'oeuvre et en argent. On décrit par ailleurs les besoins en fourrage selon la période de l'année, leur localisation (pâturages de saison des pluies contre pâturages situés dans un rayon de 6 ou 15 km autour d'un point d'eau) et de leur qualité. Les besoins en main-d'oeuvre sont répartis sur deux périodes de l'année: la saison des pluies et la saison sèche. Les intrants financiers sont regroupés et reflètent principalement des dépenses de soins vétérinaires. Le nom de variable des intrants à l'élevage est EI(a,e,r). On utilise dans ce modèle l'indice e pour indiquer le type d'intrant; e=1,...11, 15,...18 se rapporte aux besoins alimentaires, e=12,13 à la main-d'oeuvre, et e=14 à l'argent. Les besoins alimentaires sont formulés de la façon suivante.

e=1: besoins alimentaires de qualité 1 et plus, saison des pluies;
e=2: " " " " " " " " " " " " 2 " ", " " " " " " ;
e=3: " " " " " " " " " " " " 3 " ", " " " " " " ;
e=4: " " " " " " " " " " " " 4, saison des pluies;
e=5: " " " " " " " " " " " " 1 et plus, saison sèche;
etc. jusqu'à e=8
e=9: besoins alimentaires en fourrage ligneux;
e=10: " " " " pâturages de saison des pluies (uniquement activité migrantes)
e=11: " " " " concentrés.
e=15: " " " " de qualité 1 en plus, saison sèche, élevage sédentaire
etc. jusqu'à e=18

Les intrants sont proportionnels au niveau d'activité et sont calculés par la somme de toutes les activités d'élevage dans la sous-région. Les activités d'élevage sont attribuées à une sous-région d'après leur localisation en saison sèche.

20. Intrants à l'élevage

$$(20) EI(a,e,r) = [\text{Sigma}(b)] aei(b,e)*AE(a,b,r)$$

pour tout a=1,2 (régime des pluies)
pour tout e=1,...14 (intrants à l'élevage)
pour tout r=1,...11 (sous-région)

avec les variables:

EI = intrants à l'élevage [tonne ou homme ou 10⁶ FCFA]
AE = activité d'élevage [1000 UBT]

et les coefficients:

aei(b,e) = intrant de type e nécessaire pour l'activité d'élevage b [tonne ou homme ou 10⁶ FCFA par 1000 UBT]

2.5.2 Limitations au fourrage

Au [paragraphe 2.4](#), nous avons discuté de la méthode de calcul de la production de fourrage par les pâturages et des distinctions qui étaient faites d'après l'emplacement, la période et la qualité. Si nous ajoutons les sous-produits de culture et d'éventuels concentrés importés, et que nous supposons que ceux-ci ne sont disponibles qu'au cours de la saison sèche, nous obtenons une image globale de la fourniture de fourrage par sous-région, bien que différenciée selon le temps et la qualité. Les activités d'élevage ont des besoins spécifiques en fourrage et, quel que soit le niveau de ces activités, la demande totale de fourrage différenciée en fonction du temps et de la qualité dans chaque sous-région ne devra pas dépasser la fourniture totale.

21. Limitations en fourrage, saison des pluies

$$(21) EI(a,e,r) \leq [\text{Sigma}(q \geq e)] YRW(a,q,r)$$

pour tout a=1,2 (régime des pluies)
pour tout e=1,...4 (besoins alimentaires en saison des pluies, quatre degrés de qualité)
pour tout r=1,...11 (sous-région)

La somme des q dépend de la valeur de e: pour e=1, q=1...4; pour e=2, q=2,...4; pour e=3, q=3,4 et pour e=4, q=4.

avec la variable:

YRW = fourniture en fourrage par les pâturages ≤ 15 km, saison des pluies [tonne]

22. Limitations au fourrage, saison sèche

$$(22) EI(a,e,r) \leq [\text{Sigma}(q \geq e-4)] YRD(a,p,q,r) + [\text{Sigma}(q \geq e-4)] YBC(a,q,r)$$

pour tout a=1,2 (régime des pluies)

pour tout e=5,...8 (besoins alimentaires en saison sèche, quatre degrés de qualité)

pour p=2 (absence de système de lutte contre l'incendie, absence de fauchage)

pour tout r=1,...11 (sous-région)

La somme des q dépend de la valeur de e: pour e=5 q=1,...4; pour e=6, q=2,...4; pour e=7, q=3,4 et pour e=8, q=4.

avec les variables:

YRD = fourniture en fourrage par les pâturages ≤ 15 km, saison sèche [tonne]

YBC = sous-produits des cultures utilisables pour le fourrage [tonne]

23. Limitations en fourrage, saison sèche, animaux sédentaires

$$(23) EI(a,e,r) \leq [\text{Sigma}(q \geq e-14)] YRS(a,p,q,r) + [\text{Sigma}(q \geq e-14)] YBC(a,q,r)$$

pour tout a=1,2 (régime des pluies)

pour tout e=15,...18 (besoins alimentaires d'animaux sédentaires en saison sèche, quatre degrés de qualité)

pour p=2 (absence de système de lutte contre l'incendie, absence de fauchage)

pour tout r=1,...11 (sous-région)

La somme des q dépend de la valeur de e: pour e=15 q=1,...4; pour e=16, q=2,...4; pour e=17, q=3,4 et pour e=18, q=4.

avec les variables:

YRS = fourniture en fourrage par les pâturages ≤ 6 km, saison sèche [tonne]

YBC = sous-produits des cultures utilisables pour le fourrage [tonne]

24. Limitations au fourrage provenant des ligneux

$$(24) EI(a,e,r) \leq YRL(r)$$

pour tout a=1,2 (régime des pluies)

pour e=9 (intrants à l'élevage de fourrage provenant des ligneux)

pour tout r=1,...11 (sous-région)

avec la variable:

YRL = production de fourrage par les ligneux [tonne]

25. Limitations en fourrage, pâturages de saison des pluies (> 15 km)

$$(25) [\text{Sigma}(r)] EI(a,e,r) \leq [\text{Sigma}(r)] [\text{Sigma}(q)] YRH(a,q,r)$$

pour tout a=1,2 (régime des pluies)

pour tout e=10 (intrants à l'élevage, fourrage par les pâturages de saison des pluies)

avec la variable:

YRH = production des pâturages de saison des pluies [tonne]

2.6 Pêche

Il existe trois activités de pêche (voir Rapport 2, van Duivenboden & Gosseye. 1990). Dans ce modèle, celles-ci sont indiquées par les noms de variables VL(v), v=1,...3. L'unité de mesure des activités de pêche est le ménage impliqués dans la pêche.

Le total des captures en poisson dans la Région est soumis à une limite supérieure, selon le niveau des eaux. On distingue deux niveaux: un niveau associé aux précipitations normales (régime des pluies a=1) et un niveau correspondant à une année sèche en ce qui concerne les précipitations (régime des pluies a=2). Si une partie du Delta est consacrée à la protection de la vie sauvage (voir 2.1.3), on ne peut utiliser la totalité de l'étendue d'eau pour la pêche. Dans ce cas, le plafond des captures totales en poisson sera abaissé (le second terme à partir de la droite dans l'équation).

26. Limites supérieures des captures en poissons

$$(26) [\text{Sigma}(\mathbf{v})] yvk(a,v)*VL(v) \leq yvi(a) - wat(a)*GR(c)$$

pour tout a=1,2 (régime des pluies)
pour c=4 (variable restreinte No 4)

avec les variables:

VL = activité de pêche [ménage]

GR = variable restreinte No 4: surface de la réserve naturelle [km²], voir [paragraphe 2.9](#) et [2.1.3](#)]

et les coefficients:

yvk(a,v) = captures par activité de pêche v pour un régime des pluies a [tonne ménage⁻¹]

yvi(a) = limite supérieure des captures totales pour un régime des pluies a [tonne]

wat(a) = réduction des captures totales possibles en raison de la réserve naturelle [tonne km⁻²]

En dehors de la main-d'oeuvre, le seul intrant dans les activités de pêche est l'argent. Nous distinguons les coûts d'exploitation et les amortissements (dépréciation). L'indice désignant le type de coûts dans ce modèle est w.

27. Intrants financiers à la pêche

$$(27) VI(v,w) = vik(v,w)*VL(v)$$

pour tout v=1,...3 (activités de pêche)
pour tout w=1,2 (type d'intrants financier à la pêche)

avec la variable:

VI = intrant financier à l'activité de pêche [10⁶ FCFA]

et les coefficients:

vik(v,w) = intrant financier de type w à l'activité de pêche v [10⁶ FCFA ménage⁻¹]

2.7 Main-d'oeuvre

L'unité de mesure de la main-d'oeuvre est l'homme-jour qui correspond au travail qu'un homme adulte peut effectuer en une journée de travail. L'exigence en main-d'oeuvre d'une activité au cours d'une période de temps donnée est exprimée en homme, ce qui correspond au quotient de la main-d'oeuvre [homme-jour] et du temps [jour]. Il en résulte que [homme-jour]*[jour]⁻¹ = [homme].

L'année est répartie en six périodes, d'après le calendrier agricole. Dans ce modèle, ces périodes sont indiquées par

l'indice $l=1, \dots, 6$.

- 1 Période des semences et des labours après les premières pluies, normalement au début de juillet (période de 20 jours);
- 2 Premier sarclage du mil (15 jours);
- 3 Reste de la saison de croissance jusqu'à la récolte du mil (55 jours);
- 4 Période de récolte du mil (10 jours);
- 5 Période de récolte du riz (10 jours);
- 6 Reste de l'année (250 jours).

Les périodes 1, 2 et 3 correspondent à la saison des pluies et les autres périodes à la saison sèche. Pour les activités d'élevage, le besoin en main-d'oeuvre se répartit selon ces axes. En ce qui concerne les activités de pêche, on considère que les deux premières activités - c'est-à-dire les pêcheurs primaires - exigent un intrant en main-d'oeuvre tout au long de l'année. Pour la troisième activité, les pêcheurs secondaires, l'intrant en main-d'oeuvre n'est nécessaire qu'au cours de la période 6.

2.7.1 Intrants en main-d'oeuvre aux activités de culture

Comme on l'a dit précédemment, l'intrant de main-d'oeuvre dépend uniquement de l'activité et non du produit, la seule exception étant la récolte du mil. Dans ce dernier cas, on introduit un facteur de correction reflétant l'économie de temps consécutive à la réduction des rendements dans la partie la plus sèche de la Région.

28. *Intrants en main-d'oeuvre aux activités de culture*

$$(28) \text{CLI}(l,r) = \text{Sigma}(i) \text{cil}(i,l) * \text{AC}(i,r) \\ - \text{Sigma}(i \leq 32) \text{chl}(l,r) * \text{cil}(l,r) * \text{AC}(i,r)$$

pour tout $l=1, \dots, 6$ (période de l'année)
pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)

avec les variables:

CLI = intrant de main-d'oeuvre aux activités de culture [homme]

AC = activité culturelle [km^2]

et les coefficients:

$\text{cil}(i,l)$ = intrant en main-d'oeuvre à une activité culturelle i au cours d'une période l [homme km^{-2}]

$\text{chl}(l,r)$ = facteur de correction reflétant un moindre intrant en main-d'oeuvre suite à une diminution des récoltes du mil [dimension unitaire];

$\text{chl}(l,r) = 0$ pour tout l non égal à 4 et pour $r=1, 2$.

2.7.2 Limitation à la main-d'oeuvre

A chaque période et dans chaque sous-région, la demande totale en main-d'oeuvre ne devra pas dépasser l'offre de main-d'oeuvre locale (exprimée en équivalents adultes). Il en résulte que la migration temporaire entre sous-régions est exclue de cette version du modèle. La main-d'oeuvre occupée par des activités autres que de culture (c'est-à-dire l'élevage et la pêche) est prise en compte dans la demande de main-d'oeuvre totale.

On déduit le nombre d'émigrants de l'offre de main-d'oeuvre.

29. *Limitations en main-d'oeuvre, saison des pluies*

$$(29) \text{CLI}(l,r) + \text{EI}(a,e,r) + \text{Sigma}(v \leq 2) \text{slv}(r) * \text{VL}(v) \leq \\ \text{pop}(r) * \text{els}(r) - \text{els}(r) * \text{EMI}(r)$$

pour $l=1, \dots, 3$ (période de l'année)
 pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)
 pour $a=1$ (régime des pluies, 1 = normal)
 pour $e=12$ (intrant à l'élevage, 12 = main-d'oeuvre en saison des pluies)

avec les variables:

EI = intrant à l'élevage [homme]
 VL = activité de pêche [ménage]
 EMI = nombre d'émigrants quittant la Région [personne]

et les coefficients:

$slv(r)$ = intrant en main-d'oeuvre aux deux activités de pêche primaire et répartition sur les sous-régions 4 (Delta central) et 9 (Zone lacustre) [homme ménage⁻¹]
 $pop(r)$ = population actuelle dans la sous-région r [personne]
 $els(r)$ = rapport entre l'offre de main-d'oeuvre et la population dans la sous-région r [homme personne⁻¹]

30. Limitations en main-d'oeuvre, saison sèche

$$(30) \text{CLI}(l,r) + \text{EI}(a,e,r) + \text{Sigma}(v \leq 2) \text{slv}(r) * \text{VL}(v) + \text{slt}(l) * \text{VL}(3) \leq \text{pop}(r) * \text{els}(r) - \text{els}(r) * \text{EMI}(r)$$

pour $l=4, \dots, 6$ (période de l'année)
 pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)
 pour $a=1$ (régime des pluies, 1=normal)
 pour $e=13$ (intrant à l'élevage, 13=main-d'oeuvre en saison sèche)

avec les coefficients:

$slv(r)$, $pop(r)$, $els(r)$ voir sous (29)
 $slt(l)$ = intrant en main-d'oeuvre à l'activité de pêche secondaire ($v=3$) [homme ménage⁻¹]. $slt(l)=0$ pour $l=4,5$.

2.8 Contraintes et définitions diverses

2.8.1 Nombre d'ânes et de chameaux

Les ânes et les chameaux (il s'agit en fait normalement de dromadaires) sont un moyen de transport indispensable à la vie quotidienne dans la Région. Ils sont cependant difficiles à relier directement à certains types d'activités agricoles. Leur inclusion comme intrants nécessaires à ces activités pose donc des problèmes. Au lieu de cela, nous avons relié le nombre minimum d'ânes nécessaires à la taille de la population dans la sous-région, tandis que nous avons fixé le nombre de chameaux à un chiffre préétabli pour l'ensemble de la Région. En raison de leur mobilité, il est difficile d'attribuer le nombre des chameaux à une sous-région spécifique.

31. Limitation en ânes

$$(31) \text{yed} * \text{AE}(a,b,r) \geq \text{don} * \text{pop}(r)$$

pour $a=1$ (régime des pluies, 1=normal)
 pour $b=22$ (activité d'élevage, 22=ânes)
 pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)

avec la variable:

AE = activité d'élevage [1000 UBT]

et les coefficients:

yed = production d'ânes par l'activité d'élevage 22 [nombre par 1000 UBT]

don = nombre minimum d'ânes par habitant [nombre personne⁻¹]
pop(r) = population dans la sous-région r [personne]

32. Nombre de chameaux

$$(32) \text{Sigma}(\mathbf{r}) \text{yec} * \text{AE}(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{r}) = \text{cam} * \text{Sigma}(\mathbf{r}) \text{pop}(\mathbf{r})$$

pour a=1 (régime des pluies, 1=normal)
pour b=23 (activité d'élevage, 23=chameaux)

et les coefficients:

yec = production de chameaux par l'activité d'élevage 23 [nombre par 1000 UBT]

cam = nombre de chameaux par tête [nombre personne⁻¹]

pop(r) = population dans la sous-région r [personne]

2.8.2 Autoconsommation

L'autoconsommation est définie comme la quantité minimale de produits agricoles consommée par les producteurs eux-mêmes et par ceux qui dépendent d'eux, dans un endroit ou un système délimité. Nous pouvons donc parler d'"autoconsommation" à différents niveaux: familial, sous-régional, régional ou national. Dans cette étude, l'autoconsommation s'applique au niveau sous-régional. (Sauf lorsqu'elle apparaît dans l'une des variables objectifs, au niveau régional). Ceci signifie que l'autoconsommation peut être interprétée comme la quantité de produits agricoles autoconsommée dans les limites d'une sous-région.

Cela ne signifie pas que ces produits ne soient pas vendus sur les marchés locaux ni qu'il n'existe aucun échange entre les producteurs; on affirme seulement qu'une quantité minimale donnée ne quitte pas la sous-région (si la production est suffisante) ou doit être importée dans la sous-région (si la production locale est insuffisante).

L'autoconsommation a trois dimensions:

- Une consommation minimale de protéines animales.
- Une consommation minimale d'énergie.
- Une variation minimale dans l'alimentation d'origine végétale.

L'autoconsommation du poisson est fonction du nombre de ménages engagés dans la pêche. On considère que les membres de ces familles couvrent leurs besoins minimaux en protéines animales par cette consommation de poisson, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas de consommation minimale de viande.

L'autoconsommation minimale de viande, de céréales et d'autres produits de culture est fixée proportionnellement à la population, c'est-à-dire la population initiale moins l'émigration. L'autoconsommation de céréales est exprimée sous forme de la consommation d'énergie minimale par tête. L'unité de mesure de la consommation d'énergie est la tonne équivalent mil: e.g. un kg de riz équivaut à 1,23 kg de mil.

Pour permettre une certaine variation de l'alimentation, on a fixé des limites inférieures à l'autoconsommation cultures diverses.

33. Autoconsommation de poisson

$$(33) \text{AUV} = \text{avi} * \text{Sigma}(\mathbf{v}) \text{VL}(\mathbf{v})$$

avec les variables:

AUV = autoconsommation totale de poisson dans la Région [tonnes]

VL = activité de pêche [ménage]

et le coefficient:

avi = autoconsommation de poisson dans un ménage participant à l'activité de pêche [tonne ménage⁻¹]

34. Autoconsommation de viande

$$(34) \text{AUM}(r) = \text{amp} * \{ \text{pop}(r) - \text{EMI}(r) - \text{vis}(r) * \mathbf{\Sigma}(\mathbf{v}) \text{VL}(\mathbf{v}) \}$$

pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)

avec les variables:

AUM = autoconsommation de viande [tonne]

EMI = émigration quittant la Région [personne]

et les coefficients:

amp = autoconsommation de viande par tête [tonne personne⁻¹]

pop(r) = population de la sous-région r [personne]

vis(r) = distribution des pêcheurs dans les sous-régions et nombre de personnes par ménage [personne ménage⁻¹]

35. Autoconsommation de produits végétaux permettant une consommation d'énergie minimale

$$(35) \mathbf{\Sigma}(\mathbf{j}) \text{ene}(\mathbf{j}) * \text{AUC}(\mathbf{j}, r) \geq \text{aep} * \{ \text{pop}(r) - \text{EMI}(r) \}$$

pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)

avec la variable:

AUC = autoconsommation de produits végétaux permettant une consommation d'énergie minimale [tonnes]

et les coefficients:

ene(j) = teneur énergétique du produit de culture j [tonnes équivalent-mil par tonne]

aep = consommation minimale d'énergie par tête [tonnes équivalent-mil. personne⁻¹]

pop(r) = population de la sous-région r [personne]

36. Variation minimum de l'autoconsommation de produits de culture

$$(36) \text{AUC}(\mathbf{j}, r) \geq \text{ami}(\mathbf{j}) * \{ \text{pop}(r) - \text{EMI}(r) \}$$

pour tout $j=1, \dots, 9$ (produits végétaux)

pour tout $r=1, \dots, 11$ (sous-région)

avec les coefficients:

ami(j) = autoconsommation minimale par tête du produit de culture j [tonne personne⁻¹]

pop(r) = population de la sous-région r [personne]

2.8.3 Précautions

Dans ce modèle, on offre la possibilité d'un total de 62 activités de culture et de 26 activités d'élevage. Cependant, toutes ne sont pas utilisées dans la présente version du modèle. Pour éviter que ces activités prennent une valeur aléatoire non nulle, ce qui pourrait influencer les résultats ou le temps de calcul au cours de l'optimisation, on a fixé par précaution les activités "vacantes" explicitement à des valeurs zéro. Certaines activités de culture sont exclues de certaines sous-régions. Dans le modèle, le nom de ligne de l'équation où ces variables sont fixées à zéro est "FREE".

2.9 Objectifs, limitations des objectifs et variables restreintes

Il existe dans la présente version de ce modèle neuf variables objectifs et onze variables restreintes.

Les variables objectifs peuvent être optimisées (minimisées ou maximisées) et avoir soit une limite supérieure, soit une limite inférieure. On donne par exemple des niveaux de production de certains produits au cours d'une année normale, par rapport aux précipitations ou au produit financier total de la Région. Les variables objectifs sont désignées par le nom $G(d)$, $d=1, \dots, 9$.

Les variables restreintes sont des variables dont le décideur se fait une certaine idée, c'est-à-dire qu'elles reflètent une certaine aspiration (par exemple, le fait d'assurer un niveau de production minimal au cours d'une année sèche), mais elles ne sont pas des variables-objectifs dans le sens qu'elles ne sont pas optimisées. On peut cependant les limiter en fixant soit une limite supérieure soit inférieure. Les valeurs de ces limites peuvent être changées à volonté au cours de la procédure d'optimisation. A cet égard, elles diffèrent des variables qui, pour des raisons techniques ou autres, sont soumises à des contraintes latérales préfixées. Une contrainte préfixée est par exemple le nombre minimal d'ânes par tête.

Dans ce modèle, les variables restreintes ont le nom $GR(c)$, $c=1, \dots, 11$.

Nous discuterons en même temps les variables objectifs et les variables restreintes, groupées par sujet.

2.9.1 Objectifs de production physique au cours d'une année normale

En ce qui concerne la production des végétaux, ils comprennent:

- La production totale de mil/sorgho/fonio, année normale. Le nom de variable est $G(1)$.
- La production totale de riz, année normale ($G(2)$).
- La production totale des cultures *commercialisables*, année normale ($G(3)$). Ceci représente la production totale des végétaux de la Région, exprimée en tonnes, moins l'autoconsommation des produits de cultures (voir [2.8.2](#)).

37. *Variable-objectif 1: Production totale de mil/sorgho/fonio, année normale [tonne]*

$$(37) G(d) = \text{Sigma}(j \leq 3) \text{Sigma}(\mathbf{r}) \text{CP}(\mathbf{a}, \mathbf{j}, \mathbf{r})$$

pour $d=1$ (variable-objectif No 1)

pour $a=1$ (régime des pluies, 1=normal)

avec la variable:

CP = production des végétaux [tonne]

38. *Variable-objectif 2: Production totale de riz, année normale [tonne]*

$$(38) G(d) = \text{Sigma}(\mathbf{r}) \text{CP}(\mathbf{a}, \mathbf{j}, \mathbf{r})$$

pour $d=2$ (variable-objectif No 2)

pour $a=1$ (régime des pluies, 1=normal)

pour $j=9$ (culture, 9=riz)

39. *Variable-objectif 3: Production totale de végétaux commercialisables, année normale [tonne]*

$$(39) G(d) = \text{Sigma}(\mathbf{j}) \text{Sigma}(\mathbf{r}) \text{CP}(\mathbf{a}, \mathbf{j}, \mathbf{r}) - \text{Sigma}(\mathbf{j}) \text{Sigma}(\mathbf{r}) \text{AUC}(\mathbf{j}, \mathbf{r})$$

pour $d=3$ (variable-objectif No 3)

pour $a=1$ (régime des pluies, 1=normal)

($j = 8$ (cultures fourragères) exclues)

avec la variable:

AUC = autoconsommation de produits de culture [tonne]

Pour ce qui est de l'élevage, on inclut quatre variables-objectifs ou contraintes:

- Production totale de viande, année normale. Le nom de la variable est G(6).
- Production totale de viande bovine, année normale (GR(6)).
- Production totale de lait, année normale (GR(5)).
- Nombre total d'animaux, année normale, exprimé en 1000 UBT (G(7)).

Dans la version actuelle de ce modèle, les diverses variables-objectifs et contraintes sont calculées en faisant l'hypothèse qu'il n'existe aucun système efficace de lutte contre l'incendie pour les pâturages naturels et que les pâturages inondés ne sont pas fauchés. D'autres hypothèses qui aboutiraient à une production de fourrage plus élevée, mais occasionneraient un intrant en main-d'oeuvre plus élevé, peuvent cependant être facilement introduites dans ce modèle, car les données de base sont comprises dans le fichier de données d'entrée (voir [paragraphe 2.4](#) et [Chapitre 3](#)).

D'autre part, nous supposons dans la version actuelle que les pâturages naturels ne sont pas dégradés dans une certaine mesure (van Duivenbooden & Gosseye, 1990, Chapitre 11). Mais ici encore, l'effet d'une hypothèse différente peut être examiné à l'aide d'une petite adaptation des données du modèle, par exemple en jouant sur l'indice dit d'utilité (voir [paragraphe 2.1.1](#)).

Comme pour les cultures, les divers produits possibles des activités d'élevage sont distincts. Dans la présente version du modèle, il existe trois types de produits:

1. Viande
2. Lait
3. Nombre d'animaux de traction ou de transport
4. Fumier disponible pour la pousse des cultures.

Ces produits de l'élevage sont désignés par l'indice f.

40. Variable-objectif 6: Production totale de viande, année normale [tonne]

$$(40) G(d) = \mathbf{\Sigma(b)} \mathbf{\Sigma(r)} yev(b)*AE(a,b,r)$$

pour d=6 (variable-objectif No 6)

pour a=1 (régime des pluies, 1=normal)

avec la variable:

AE = activité d'élevage [1000 UBT]

et les coefficients:

yev(b) = productivité de l'activité d'élevage b en termes de viande [tonne par 1000 UBT]

41. Variable restreinte 6: Production totale de viande bovine, année normale [tonne]

$$(41) GR(c) = \mathbf{\Sigma(b \leq 12)} \mathbf{\Sigma(r)} yev(b)*AE(a,b,r)$$

pour c=6 (variable restreinte No 6)

pour a=1 (régime des pluies, 1=normal)

La somme sur $b \leq 12$ ne concerne que le bovins.

avec les coefficients:

yev(b) = productivité de l'activité d'élevage b en termes de viande [tonne par 1000 UBT]

42. Variable restreinte 5: Production totale de lait, année normale [tonne]

$$(42) GR(c) = \mathbf{\Sigma(b)} \mathbf{\Sigma(r)} yel(b)*AE(a,b,r)$$

pour c=5 (variable restreinte No 5)

pour a=1 (régime des pluies, 1=normal)

avec les coefficients:

yev(b) = productivité de l'activité d'élevage b en termes de lait [tonne par 1000 UBT]

43. Variable-objectif 7: Nombre total d'animaux dans la Région [1000 UBT]

$$(43) G(d) = \mathbf{\Sigma}(b) \mathbf{\Sigma}(r) AE(a,b,r)$$

pour d=7 (variable-objectif No 7)

pour a=1 (régime des pluies, 1=normal)

Remarquons que cette variable-objectif est exprimée dans la même unité que la variable AE, c'est-à-dire en 1000 UBT.

2.9.2 Objectifs financiers

Une variable-objectif essentielle des optimisations est le produit financier total (ou brut) de la culture, de l'élevage et de la pêche, au cours d'une année normale, plus l'argent provenant des individus qui ont émigré de la Région. Il couvre tous les produits commercialisables de l'agriculture (y compris la pêche) ainsi que tous les intrants, à condition qu'ils aient été payés en argent. Son nom de variable est G(4).

Le produit financier se définit comme la valeur du produit commercialisable d'une activité, c'est-à-dire après déduction de l'autoconsommation, moins les intrants financiers pour cette activité. On remarquera que les intrants en main-d'oeuvre ne sont pas chiffrés et n'apparaissent donc pas dans les comptes. Il en va de même pour les engrais organiques et les terres (sauf dans les cas de la location de l'infrastructure, par exemple des casiers, ou des coûts d'amortissement de travaux d'irrigation). De ce fait, nous utilisons également le terme de revenu "brut" comme synonyme de produit financier.

On remarquera d'autre part que les sous-produits des cultures ne sont pas non plus chiffrés. Ils sont traités comme l'engrais organique: on les inclut physiquement dans les intrants-extrants, en veillant à ce que l'équilibre soit correct, mais ils n'apparaissent pas dans la comptabilité financière.

Comme on l'a dit, on inclut dans le produit financier total l'argent provenant des émigrants. Nous réservons le terme d'"émigration" aux individus qui quittent la Région (ou le secteur agricole) et ne reviennent pas travailler dans la Région pendant les périodes de pointe. La main-d'oeuvre émigrée n'a pas besoin d'aliments cultivés sur place. En autorisant l'émigration de la main-d'oeuvre, on peut donc diminuer la quantité de produits agricoles nécessaire à l'autoconsommation. On peut en outre s'attendre à ce que la main-d'oeuvre émigrée apporte une certaine quantité d'argent. Autrement dit, la Région peut exporter, en plus des produits agricoles, également de la main-d'oeuvre à un certain prix.

Les individus qui émigrent ne peuvent par définition être employés dans aucune des activités agricoles de la Région. Tout en maximisant le produit brut total, ce modèle met en balance d'une part les gains en termes de réduction de l'autoconsommation et d'augmentation du revenu provenant de l'extérieur et, d'autre part, les pertes en termes de diminution de la main-d'oeuvre disponible pour les activités agricoles de la Région.

44. Variable-objectif 4: Produit financier total [10^6 FCFA]

$$(44) G(d) = \mathbf{\Sigma}(j) \mathbf{\Sigma}(r) pcp(j) \{ CP(a,j,r) - AUC(j,r) \} - GR(8) + pbp * GR(6) + pmp * \{ G(6) - GR(6) - \mathbf{\Sigma}(r) AUM(r) \} - GR(9) + \mathbf{\Sigma}(r) pmi * yel(b) * AE(a,b,r) + prv * \{ \mathbf{\Sigma}(v) yvk(v) * VL(v) - AUV \} - \mathbf{\Sigma}(v) \mathbf{\Sigma}(w) VI(v,w) + plp * \mathbf{\Sigma}(r) EMI(r)$$

pour d=4 (variable-objectif No 4)

pour a=1 (régime des pluies, 1=normal)

pour $b=11$ (activité d'élevage, 11=production laitière semi-inclusive)

avec les variables:

CP = produit des cultures [tonne]

AUC = autoconsommation des produits des cultures [tonne]

GR(8) = intrant financier total aux activités des cultures [10^6 FCFA], voir ci-dessous équation (45)

GR(6) = production de boeuf totale [tonne], voir ci-dessus(41)

G(6) = production de viande totale [tonne], voir ci-dessus(40)

AUM = autoconsommation de viande [tonne]

GR(9) = intrant financier total dans les activités d'élevage [10^6 FCFA], voir ci-dessous équation (46)

AE = activité d'élevage [1000 UBT]

VL = activités de pêche [ménages]

AUV = autoconsommation de poisson [tonne]

VI = intrant financier dans les activités de pêche [10^6 FCFA ménage⁻¹]

EMI = émigration [personne]

et les coefficients:

pcp(j) = prix producteur des produits de culture j [10^6 FCFA tonne⁻¹]

pbp = prix producteur de la viande bovine [10^6 FCFA tonne⁻¹]

pmp = prix producteur de la viande de chèvre/mouton [10^6 FCFA tonne⁻¹]

pmi = prix producteur du lait à Mopti ville [10^6 FCFA tonne⁻¹]

yel (b) = productivité de l'activité b en termes de lait [tonne par 1000 UBT]

prv = prix producteur du poisson [10^6 FCFA tonne⁻¹]

yvk(v) = productivité d'un ménage de pêcheur [tonne ménage⁻¹]

plp = apport d'argent par émigrant [10^6 FCFA personne⁻¹]

Outre cet important objectif de produit brut total, ont été définis trois autres variables financières. Elles concernent les intrants financiers et sont surtout destinées à permettre de maintenir ces derniers au-dessous d'un certain niveau. Deux d'entre elles appartiennent à la catégorie des variables restreintes, l'autre est une variable-objectif.

- Intrants financiers totaux aux cultures (semences, engrais, autres dépenses courantes, amortissement du matériel). Son nom de variable est GR(8).

- Intrants financiers totaux à l'élevage (soins vétérinaires, concentrés). (GR(9)).

- Intrants financiers totaux aux cultures, à l'élevage et à la pêche (comprenant en plus des coûts précédemment mentionnés, l'amortissement et l'entretien des engins de pêche et le carburant pour les bateaux à moteur). (G(8)).

45. Variable restreinte 8: Intrant financier total dans les activités de culture [10^6 FCFA]

$$(45) GR(c) = \mathbf{\Sigma(r)} \mathbf{\Sigma(m)} CMI(m,r) + \mathbf{\Sigma(n)} pri(n) * \mathbf{\Sigma(r)} CNI(n,r)$$

pour $c=8$ (variable restreinte No 8)

avec les variables:

CMI = intrant financier dans les activités de culture [10^6 FCFA]

CNI = intrant en boeufs et en éléments nutritifs dans les activités de culture [nombre ou tonne]

et les coefficients:

pri(n) = prix d'un intrant n [10^6 FCFA tonne⁻¹]; pri(1) et pri(2) sont zéro (les boeufs et l'engrais organique ne sont pas chiffrés), pour $n=3, \dots, 5$ (engrais N, P, K) pri(n) est différent de zéro.

46. Variable restreinte 9: Intrant financier total dans les activités d'élevage [10^6 FCFA]

$$(46) GR(c) = \mathbf{Sigma}(r) EI(a,e,r) + prc * EI(a, 11, 4)$$

pour c=9 (variable restreinte No 9)

pour a=1 (régime des pluies, 1=normal)

pour e=14 (intrant à l'élevage, 14=argent)

avec les variables:

EI = intrant à l'élevage, pour e=14: [10⁶ FCFA]

EI (a, 11, 14) = intrant total dans les concentrés dans sous-région 4[tonne]

et le coefficient:

prc = prix des concentrés [10⁶ FCFA tonne⁻¹]

47. Variable-objectif 8: Intrant financier total dans toutes les activités agricoles et de pêche [10⁶ FCFA]

$$(47) G(d) = GR(8) + GR(9) + \mathbf{Sigma}(v) \mathbf{Sigma}(w) VI(v,w)$$

pour d=8 (variable-objectif No 8)

avec les variables:

GR(8) = intrant financier aux cultures [10⁶ FCFA], voir équation (45)

GR(9) = intrant financier à l'élevage [10⁶ FCFA], voir équation (46)

VI = intrant financier à la pêche [10⁶ FCFA]

2.9.3 Risques au cours d'une année sèche

Les variables-objectifs et -restreintes de ce groupe sont, comme celles des intrants financiers, principalement utilisées pour s'assurer que certaines valeurs minimales ou maximales ne soient pas dépassées. Ces variables se rapportent à la production végétale physique et au nombre d'animaux menacés en cas d'année sèche et de crue basse.

- Production totale de mil/sorgho/fonio au cours d'une année sèche. Le nom de cette variable restreinte est GR(1).

- Production totale de riz au cours d'une année sèche (GR(2)).

- Production végétale totale au cours d'une année sèche (somme des deux productions ci-dessus plus celle d'arachide, de niébé et de légumes) (GR(3)).

48. Variable restreinte 1: Production totale de mil/sorgho/fonio au cours d'une année sèche [tonne]

$$(48) GR(c) = \mathbf{Sigma}(j \leq 3) \mathbf{Sigma}(r) CP(a,j,r)$$

pour c=1 (variable restreinte No 1)

pour a=2 (régime des pluies, 2=sec)

avec la variable:

CP = production végétale [tonne]

49. Variable restreinte 2: Production totale de riz au cours d'une année sèche [tonne]

$$(49) GR(c) = \mathbf{Sigma}(r) CP(a,j,r)$$

pour c=2 (variable restreinte No 2)

pour a=2 (régime des pluies, 2=sec)

pour j=9 (culture, 9=riz)

50. Variable restreinte 3: Production végétale totale au cours d'une année sèche [tonne]

$$(50) GR(c) = \mathbf{\Sigma(j) \Sigma(r)} CP(a,j,r)$$

pour c=3 (variable restreinte No 3)

pour a=2 (régime des pluies, 2=sec)

(j pas égal à 8, pas des cultures fourragères)

Un autre objectif lié à la suppression des risques est la réduction au minimum du déficit en céréales durant une année sèche, autrement dit la production de céréales (mil, sorgho, fonio, riz, arachide et niébé), moins l'autoconsommation de céréales. L'unité de mesure est la tonne équivalent-mil, les facteurs d'équivalence étant tirés de la teneur énergétique des différents produits végétaux par rapport au mil. Ainsi par exemple, un kilo de riz équivaut à 1,23 kg de mil.

Les déficits en céréales dans une année sèche peuvent se définir de deux manières différentes: (i) la différence entre la production régionale totale et l'autoconsommation ou (ii) la somme des déficits sous-régionaux en céréales, en faisant abstraction des éventuels surplus sous-régionaux. Dans le premier cas, le surplus d'une sous-région peut compenser le déficit d'une autre; dans le second, on s'efforce de maintenir le déficit dans les sous-régions aussi bas que possible. Si l'on met l'accent sur le second objectif, on obtiendra une répartition plus uniforme de la production végétale entre les sous-régions selon leur population.

51. Variable-objectif 9: Déficit total en céréales au cours d'une année sèche [tonne équivalent-mil]

$$(51) G(d) = \mathbf{\Sigma(j) ene(j) * \Sigma(r) \{AUC(j,r) - CP(a,j,r)\}}$$

pour d=9 (variable-objectif No 9)

pour a=2 (régime des pluies, 2=sec)

$$G(9) \geq 0$$

avec les variables:

CP = production végétale [tonne]

AUC = autoconsommation de produits végétaux [tonne]

et le coefficient:

ene(j) = teneur énergétique d'un produit végétal j [tonne équivalent mil par tonne]

Pour calculer la somme des déficits en céréales sous-régionaux, ceux-ci doivent d'abord être calculés séparément.

52. Déficit sous-régional en céréales

$$(52) GDEF(j,r) \geq ene(j) * \{AUC(j,r) - CP(a,j,r)\}$$

pour a=2 (régime des pluies, 2=sec)

pour tout j=1,...,9 (végétaux)

pour tout r=1,...,11 (sous-région)

$$GDEF(j,r) \geq 0 \text{ pour tout } j \text{ et } r$$

avec la variable:

GDEF = déficit en céréales sous-régional [tonne équivalent mil]

Remarquons que dans le cas où la production sous-régionale dépasse l'autoconsommation, GDEF(j,r) prendra une valeur zéro puisque GDEF(j,r), comme toute variable d'une programmation linéaire ordinaire, ne peut être négative.

et le coefficient:

ene(j) = teneur énergétique d'un produit végétal j [tonne équivalent-mil par tonne]

53. Variable restreinte 10: Somme des déficits en céréales sous-régionaux au cours d'une année sèche [tonne équivalent-mil]

$$(53) GR(c) = \mathbf{Sigma}(r) \mathbf{Sigma}(j) GDEF(j,r)$$

pour c=10 (variable limité No 10)

Enfin, pour ce qui est des risques, le nombre total de têtes de bétail menacées dans une année sèche est formulé en terme de variable restreinte. Cette variable se rapporte au nombre de têtes de bétail (en UBT) pour lesquelles les pâturages et les sous-produits de la récolte ne peuvent produire un fourrage suffisant (en quantité ou en qualité) au cours d'une année sèche. Cette variable ne peut être rapportée à la mortalité pendant une année sèche, sachant que l'émigration ou l'importation de fourrage supplémentaire peut apporter un soulagement. Elle indique simplement le nombre de têtes de bétail qui ne peuvent pas être entretenues par le fourrage produit dans une Région au cours d'une année sèche. Elle est donc définie comme le nombre d'animaux qui peuvent être nourris au cours d'une année normale (c'est-à-dire la variable-objectif No 7) moins le nombre d'animaux qui peuvent être nourris au cours d'une année sèche.

54. Variable restreinte 7: Nombre total de têtes de bétail menacées au cours d'une année sèche [1000 UBT]

$$(54) GR(c) = G(7) - \mathbf{Sigma}(r) \mathbf{Sigma}(b) AE(a,b,r)$$

pour c=7 (variable restreinte No 7)

pour a=2 (régime des pluies, 2=sec)

avec la variable:

G(7) = variable-objectif No 7: nombre total d'animaux au cours d'une année normale [1000 UBT], voir équation (43)

2.9.4 Emploi et émigration

Limiter le nombre de personnes quittant la Région peut constituer en soi un objectif. On peut le formuler de deux façons: par maximisation de l'emploi dans l'agriculture (en veillant à ce qu'il s'agisse d'emplois rémunérateurs, par exemple en fixant une limite inférieure au Produit Brut Total - voir ci-dessus), ou directement en maintenant l'émigration dans certaines limites. (Ce que l'on entend par "émigration" est expliqué au [paragraphe 2.9.2](#). Remarquons que ce terme peut qualifier un départ de la Région soit physique, soit économique, c'est-à-dire un départ du secteur agricole).

L'emploi total est exprimé en homme-années: on multiplie l'intrant en main-d'oeuvre dans l'une quelconque des activités par la durée de la période pendant laquelle cette main-d'oeuvre est nécessaire (voir [paragraphe 2.7](#)). La somme sur toutes les périodes, toutes les activités et toutes les sous-régions correspond à l'emploi total.

55. Variable-objectif 5: Emploi total [homme-année]

$$(55) G(d) = \mathbf{Sigma}(r) \mathbf{Sigma}(l) \text{tis}(1)/360 * CLI(l,r) + \mathbf{Sigma}(r) \{90/360 * EI(a,e1,r) + 270/360 * EI(a,e2,r)\} + \mathbf{Sigma}(v) \text{vmy}(v)*VL(v)$$

pour d=5 (variable-objectif No 5)

pour a=1 (régime des pluies, 1=normal)

pour e1=12 (intrant à l'élevage, 12=main-d'oeuvre en saison des pluies)

pour e2=13 (intrant à l'élevage, 13=main-d'oeuvre en saison sèche)

avec les variables:

CLI = intrant en main-d'oeuvre aux activités de culture [homme]

EI = intrant aux activités d'élevage [homme]

VL = activité de pêche [ménage]

et les coefficients:

tis(l) = durée la période de l'année l [jour]

vmy(v) = intrant de main-d'oeuvre par ménage engagé dans une activité de pêche v [homme-année ménage⁻¹]

56. Variable restreinte 11: Emigration [personne]

$$(56) GR(c) = \mathbf{Sigma}(r) EMI(r)$$

pour $c=11$ (variable restreinte No 11)

avec la variable:

EMI = émigration [personne]

2.9.5 Réserve naturelle

Au [paragraphe 2.1.3](#), nous avons présenté la superficie qui doit être consacrée à la protection de la vie sauvage dans le Delta, comme une variable restreinte: GR(4). Lorsque l'on fixe une limite inférieure à cette variable, on supprime une certaine partie de la surface utilisable pour les cultures ou le pacage. Par ailleurs, la variable restreinte GR(4) apparaît également comme un facteur de réduction dans la définition de la limite supérieure des captures en poisson dans l'équation (25), ce qui reflète l'impact de la diminution de l'étendue d'eau pouvant être utilisée pour la pêche.

Nous avons ainsi tenu compte de l'influence de l'objectif possible qu'est la création d'une réserve naturelle.

2.9.6 Limitations

Les sept premiers objectifs doivent être maximisés et sont de ce fait soumis à des limites inférieures. Les variables objectifs devant être minimisées ont des limites supérieures.

57. Limites inférieures des objectifs devant être maximisés

$$(57) G(d) \geq grr(d)$$

pour $d \leq 7$ (objectifs)

avec le coefficient:

$grr(d)$ = limite de l'objectif d [dimension la même que pour l'objectif]

58. Limites supérieures des objectifs devant être réduits au minimum

$$(58) G(d) \leq grr(d)$$

pour $d=8,9$ (objectifs)

avec le coefficient:

$grr(d)$ = limite de l'objectif d [dimension la même que pour l'objectif]

Les variables restreintes sont par nature soumises soit à des limites supérieures soit inférieures.

59. Limites inférieures des variables restreintes

$$(59) GR(c) \geq ggr(c)$$

pour $c \leq 6$ (variables restreintes)

avec le coefficient:

$ggr(c)$ = limite de la variable restreinte c [dimension la même que la variable restreinte]

60. Limites supérieures des variables restreintes

$$(60) GR(c) \leq ggr(c)$$

pour $c=7, \dots, 11$ (variables restreintes)

avec le coefficient:

$ggr(c)$ = limite de la variable restreinte c [dimension la même que la variable restreinte]

3. FICHER DE DONNEES

Le fichier de données est constitué de "valeurs externes" qui déterminent les coefficients du modèle. La transformation de ces valeurs externes en coefficients du modèle est décrite au paragraphe "Eléments" du modèle. On en donne un rapport détaillé dans le fichier informatique MODELx.DOC (où "x" indique la version du modèle).

Nous nous contenterons ici d'une liste des valeurs externes nécessaires dans la présente version du modèle. Ces valeurs se trouvent dans le fichier informatique DATAMx.DOC. Toutes les données sont valables annuellement.

Les noms des valeurs externes commencent toujours par E. Nous allons les examiner dans l'ordre de ce fichier informatique.

Contraintes spécifiques pour les surfaces disponibles

VALEURS EXTERNES

ED(r,z)	Variable discrète (ayant pour seules valeurs possibles 0 ou 1), utilisée pour passer des sous-régions aux zones de précipitations [-]
EGR(d)	Limitation de l'objectif [différentes unités, voir 2.9]
EGGR(c)	Limitations des variables limitées (différentes unités, voir 2.9)

Surfaces disponibles

ESIG(g,r)	Surface totale disponible [km^2]
EUTIL(G,R)	Indice d'utilité : partie de la terre pouvant être exploitée [-]
ED6(g,r)	Partie de la surface < 6 km d'un point d'eau permanent [-]
ED15(g,r)	Partie de la surface située entre 6 et 15 km d'un point d'eau permanent [-]

Réserves naturelles

ERES(g)	Proportions des différents types de sol dans les réserves naturelles du Delta [-]
EWAT(a)	Réduction du volume de pêche par la création de réserves naturelles [tonne/km^2]

ESI5(r)	Surface irriguée pour la culture des légumes, sols F1 [km^2]
ESA6(r)	Surface convenant à la culture des végétaux, sols D1 [km^2]
ESA8(r)	Surface convenant à la culture des végétaux, sols E1A [km^2]
ESR9(r)	Surface convenant à la culture du riz ("hors casiers"), sols E1B [km^2]
ESR11(r)	Surface convenant à la culture du riz ("hors casiers"), sols E2B [km^2]
ESA12(r)	Surface convenant à la culture des végétaux, sols F1 [km^2]

ESR15(r)	Surface convenant à la culture du riz ("hors casiers"), sols F3B [km ²]
ESD16(r)	Surface convenant à la culture du sorgho après disparition de la submersion, sols F3B [km ²]
EORM	Surface totale "casiers ORM" [km ²]
EPPI	Surface totale des petites zones irriguées [km ²]
EFAL(i)	Rapport entre le nombre d'années de jachère et le nombre d'années de culture [année/année]

Produits des activités de culture

EYMP(a,i,z)	Produit principal du produit des cultures [tonne/km ²]
EYBP(i)	Rapport sous-produit/produit principal [tonne /tonne]
EYBC(i)	Sous-produit, quantité constante [tonne/km ²]
EYBQ(i,q)	Répartition des sous-produits selon leur qualité [-]

Intrants aux activités de culture

ECIL(i,l)	Intrants en main-d'oeuvre aux cultures [homme/km ²]
ECHL(l,r)	Facteur de correction reflétant un moindre intrant en main-d'oeuvre suite à une diminution des récoltes du mil [dimension unitaire]
ETIS(l)	Durée des périodes de main-d'oeuvre [jours]
ECIM(i,m)	Intrants financiers aux cultures [mill. FCFA/km ²]
ECIN(i,n)	Intrants en boeufs et en éléments nutritifs aux cultures [nombre ou tonnes par km ²]

Prix

EPRI(n)	Prix des intrants aux cultures [mill.FCFA par boeuf ou par tonne]
EPCP(j)	Prix producteur des produits végétaux [mill.FCFA/tonne]
EPRC	Prix des concentrés [mill.FCFA/tonne]
EPBP	Prix producteur du boeuf [" " " "]
EPMP	Prix producteur des autres viandes [" " " "]
.EPMI	Prix producteur du lait à Mopti ville [" " " "]
EPLP	Argent provenant de l'émigration [million FCFA/personne]
EPRV	Prix producteur du poisson [mill.FCFA/tonne]

Divers

EPOP(r)	Population [personne]
ELS(r)	Rapport offre de main-d'oeuvre/population [homme-année/personne]
EDON	Limite inférieure du nombre d'ânes par tête [nombre/personne]
ECAM	Nombre de chameaux par tête [nombre/personne]

Autoconsommation

EAMP	Autoconsommation de viande par tête [tonne/personne]
------	--

EAEP	Autoconsommation de produits végétaux par tête assurant une consommation énergétique minimum [tonne équivalent mil par personne]
EAVI	Autoconsommation de poisson dans un ménage de pêcheurs [tonne/ménage]
EENE(j)	Facteur d'équivalence en termes de teneur énergétique d'un produit végétal par rapport au mil [tonne équivalent mil par tonne]
EAMI(j)	Consommation minimum par tête de produits végétaux [tonne/personne]
ECOM(r)	Consommation de fumier par tête comme combustible [tonne/personne]

Productivité des pâturages

EYY(a,g,q,z)	Productivité des pâturages (en termes de fourrage disponible pour les animaux) au cours de la saison des pluies, pacage tout au long de l'année [tonne/km ²]
EZY(a,g,p,q,z)	Productivité des pâturages au cours de la saison sèche, pacage tout au long de l'année [tonne/km ²]
EJACH	Rapport productivité des terres en jachère-productivité des pâturages [-]
EZRL(g,r)	Productivité des pâturages exprimée en nombre de jeunes pousses utilisable pour la consommation animale au cours de la saison sèche [tonne/km ²]

Intrants et produits des activités d'élevage

EYEE(b,f)	Produits des activités d'élevage [nombre de têtes de bétail ou de tonnes par 1000 UBT]
EAEI(b,e)	Intrants aux activités d'élevage [tonne, homme ou million de FCFA par 1000 UBT]
ERMI(r)	Limite supérieure de la production laitière semi-intensive [1000 UBT]

Pêche

EYVK(a,v)	Productivité de la pêche par ménage [tonne/ménage]
EVIK(v,w)	Intrant financier à la pêche [million de FCFA/ménage]
EYVI(a)	Limite supérieure du volume de pêche total [tonne]
EVMY(v)	Rapport offre de main-d'oeuvre - nombre de ménages travaillant à la pêche [homme-année /ménage]
ESLV(r)	Intrant en main-d'oeuvre aux deux activités de pêche primaire et répartition dans les sous-régions 4 (Delta central) et 9 (Zone lacustre) [homme ménage ⁻¹]
ESLT(l)	Répartition de l'intrant en main-d'oeuvre des pêcheurs secondaires au cours de l'année [homme/ménage]

REFERENCES

- Cissé, S. & P.A. Gosseye (eds), 1990 Compétition pour les ressources limitées: Le cas de la Cinquième Région du mali. Rapport 1: Ressources naturelles et population. CABO. Wageningen.
- Duivenbooden, N. van, & P.A. Gosseye (eds), 1990. Compétition pour les ressources limitées: Le cas de la Cinquième Région du mali. Rapport 2: Productions végétales, animales et halieutiques. CABO, Wageningen
- PIRT, 1983. Les ressources terrestres au Mali; Volume III. Annexes. TAMS/USAID, Bamako.
- Scion Limited, Feb. 1986, SCICONIC/VM, User Guide, Version 1.40, Wavedon Tower, Wavedon, Milton Keynes, MK17, 8LX, London.

Scion Limites, April 1987. Micro LP User Guide, version 1.10 for PC-DOS and MS-DOS.

UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature et ses Ressources), janvier 1989. Conservation d'environnement dans le delta intérieur du Niger; rapport final. Programme Sahel de l'UICN. Gland, Suisse.

Veeneklaas, F.R., S. Cissé, P.A. Gosseye & N. van Duivenbooden, 1990. [Compétition pour les ressources limitées: Le cas de la Cinquième Région du Mali. Rapport 4: Development strategies](#). CABO, Wageningen.

ANNEXE A: LISTE DES INDICES

a Régime des pluies

1. Année normale en ce qui concerne les précipitations et les crues
2. Année sèche

b Activités d'élevage

- 1-12. Bovins
- 13-16. Moutons
17. Vacant
- 18-21. Chèvres
22. Anes
23. Chameaux
- 24-26. Vacant

c Variables restreintes

- 1-11. Voir [paragraphe 2.9](#)

d Variables-objectifs

- 1-9. Voir paragraphe 2.9

e Intrants à l'élevage

- 1-4. Fourrage en saison des pluies (≤ 15 km)
- 5-8. Fourrage en saison sèche
9. Fourrage d'origine ligneuse
10. Fourrage de pâturage en saison des pluies (> 15 km)
11. Concentrés
12. Main-d'oeuvre, saison des pluies
13. Main-d'oeuvre, saison sèche
14. Argent
- 15-18. Fourrage en saison sèche, animaux sédentaires

f Produits de l'élevage

1. Viande
2. Lait
3. Boeufs/ânes/chameaux
4. Engrais organiques disponibles pour les cultures ou comme combustible

g Type de sol

- | | | |
|-------|---------|---------|
| 1. A | 8. E1a | 15. F3b |
| 2. B1 | 9. E1b | 16. G |
| 3. B2 | 10. E2a | |
| 4. C1 | 11. E2b | |
| 5. C2 | 12. F1 | |
| 6. D1 | 13. F2 | |
| 7. D2 | 14. F3a | |

i Activités de culture

- 1-32. Millet
- 33. Fonio
- 34-35. Sorgho
- 36-37. Arachide
- 38-45. Niébé
- 46. Oignon
- 47. Autres légumes
- 48. Vacant
- 49-52. Cultures fourragères
- 53. Vacant
- 54-59. Riz
- 60-62. Vacant

j Produits des cultures (produit principal)

- 1. Mil
- 2. Fonio
- 3. Sorgho
- 4. Arachide
- 5. Niébé
- 6. Oignon
- 7. Autres légumes
- 8. Cultures fourragères
- 9. Riz

m Intrants financiers aux activités de culture

- 1. Amortissements
- 2. Autres dépenses

n Intrants en boeufs et en éléments nutritifs aux activités de culture

- 1. Boeuf
- 2. Engrais organique
- 3. Engrais N
- 4. Engrais P

- 5. Engrais K

p Gestion des pâturages naturels

- 1. Système anti-incendie/fauchage des pâturages inondés
- 2. Absence de système anti-incendie/absence de fauchage des pâturages inondés

q Degré de qualité du fourrage

1. Teneur N < 0,75 %
2. Teneur N de 0,75 à 1,00 %
3. Teneur N de 1,00 à 1,75 %
4. Teneur N > 1,75 %

r Sous-régions (zone agro-écologiques)

1. Sourou
2. Séno Bankass
3. Plateau
4. Delta Central
5. Mema Dioura
6. Séno Mango
7. Gourma
8. Bodara
9. Zone Lacustre
10. Hodd
11. Méma Sourango

v Activités de pêche

1. Pêcheurs primaires, migrants
2. Pêcheurs primaires, sédentaires
3. Pêcheurs secondaires (temps partiel), sédentaires

w Intrants financiers aux activités de pêche

1. Amortissements
2. Autres dépenses (entretien, carburant pour les bateaux à moteur, bois de chauffage)

z Zone pluviométrique

1. Sourou + Séno Bankass
2. Plateau + Delta Central
3. Méma Dioura + Séno Mango + Gourma
4. Bodara + Zone Lacustre + Hodd + Méma Sourango

ANNEXE B LISTE DES VARIABLES

B.1 Activités de production

AC(i,r)	Activité de culture [km ²]
AR(a,b,r)	Activité d'élevage [1000 UBT]
VL(v)	Activité de pêche [ménage]

B.2 Utilisation de la terre (sauf pour les cultures) [km²]

AF(g,r)	Jachère
AR(g,r)	Pâturage < 6 km d'un point d'eau permanent, pacage tout au long de l'année

ARY(g,r)	Pâturage 6-15 km d'un point d'eau permanent, pacage tout au long de l'année
ARR(g,r)	Pâturage 6-15 km d'un point d'eau permanent, pacage de saison humide
ARD(g,r)	Pâturage 6-15 km d'un point d'eau permanent, pacage de saison sèche
ARH(g,r)	Pâturage > 15 km d'un point d'eau permanent, pacage de saison humide
UNU(g,r)	Non utilisée

B.3 Production de fourrage par les pâturages [tonne]

YRW(a,q,r)	Production de fourrage \leq 15 km, saison des pluies
YRD(a,p,q,r)	Production de fourrage \leq 15 km, saison sèche
YRH(a,q,r)	Production de fourrage > 15 km, saison des pluies
YRL(r)	Production de jeunes pousses \leq 15 km, saison sèche

B.4 Produits de culture [tonne]

CP(a,j,r)	Produits des cultures
YBC(a,q,r)	Sous-produits des cultures

B.5 Intrants

CLI(l,r)	Intrants en main-d'oeuvre aux activités de culture [homme]
EI(a,e,r)	) Intrants en fourrage, en main-d'oeuvre et en argent aux activités d'élevage [tonne, homme ou 10^6 FCFA]
CMI(m,r)	Intrants financiers aux activités de culture [10^6 FCFA]
CNI(n,r)	Intrants en boeufs et en éléments nutritifs aux activités de culture [nombre ou tonne]
VI(w)	Intrants financiers aux activités de pêche [10^6 FCFA]

B.6 Autoconsommation [tonne]

AUM(r)	Autoconsommation de viande
AUC(j,r)	Autoconsommation de produits végétaux
AUV	Autoconsommation de poisson

B.7 Variables auxiliaires

H1(r), H2(r), H3(3) H4(l,r)

B.8 Variables objectifs et limitées

EMI(r)	Emigration [personne]
GDEF(j,r)	Déficit en céréales au cours d'une année sèche [tonne équivalent mil]
G(d)	Variable objectif [diverses unités, voir 2.9]
GR(d)	Variable limitée [diverses unités, voir 2.9]