

**ADOPTION ET IMPACT
DES NOUVELLES TECHNOLOGIES:
MANUEL ET EXERCICES EN GAMS**

**William A. Masters
et
Jeffrey Vitale**

**Document préparé pour le cinquième
atelier de suivi et de formation sur
l'impact économique de la
recherche agricole
au Sahel**

**Ouagadougou, Burkina Faso
22 novembre - 5 décembre, 1998**

**Institut du Sahel
Bamako, Mali**

**Purdue University
Indiana, USA**

Adoption et Impact des Nouvelles Technologies:

Manuel et Exercices en GAMS

**--version préliminaire: excusez les fautes de grammaire!--
Novembre 1998**

William A. Masters et Jeffrey Vitale

**Department d'Economie Agricole
Purdue University
West Lafayette, IN 47907-1145, USA**

**ph. 1 765 494 4235
fax 1 765 494 9176
masters@agecon.purdue.edu
www.agecon.purdue.edu**

Ce manuel a été préparé pour le 5ème Atelier de suivi et de formation sur l'impact économique de la recherche agricole, organisé par l'Institut du Sahel et tenu au siège de l'INERA, Ouagadougou, le 22 novembre au 6 décembre 1998. Cette série d'ateliers est financé par la USAID à travers le projet *PADRES*, et l'élaboration du manuel a été financé par la USAID sous son projet no. 58-3148-6-015, sur la *Economic Impact of Agricultural Research in West and Central Africa*. Nous remercions la USAID pour ce financement, l'Institut du Sahel et l'INERA pour leur assistance, et tous les participants de cet atelier et les ateliers précédents pour leur contributions et leur enthousiasme. Nous remercions aussi John Sanders, Bruce McCarl, Ousmane Coulibaly, Bakary Coulibaly et les chercheurs de l'IER au Mali pour leur contributions techniques.

ADOPTION ET IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES: MANUEL ET EXERCICES EN GAMS

Quels contraintes limitent l'adoption d'une nouvelle technologie? Quels technologies ont les meilleurs chances d'être adoptées? Et quels changements sont associés a cet adoption? Pour répondre a ces questions, il est souvent utile de developper un modèle quantitatif capable de représenter une exploitation ou un ensemble d'exploitations. Les modèles servent de récipient pour nos données du terrain, exploitant ces données pour expliquer le comportement des exploitants sous les conditions que l'on observe, et ainsi pouvoir prédire son comportement sous autres conditions--notamment en présence de nouvelles technologies, ou en face a d'autres conditions agro-economiques.

L'objectif des modèles est de servir comme des petits "laboratoires", qui résident dans nos ordinateurs et nous permettent de simuler les conséquences d'une grande variété d'expériences. Bien entendu aucun modèle ne peut capter toute la complexité du monde réel, et les modèles utilisées dans l'enseignement de la modelisation sont particulièrement simplifiées. Mais en simplifiant le monde, la modelisation nous amene certains avantages -- notamment elle nous permet d'isoler certaines interactions d'une manière très précise, et de présenter nos données et toutes nos presuppositions d'une manière très explicite.

La précision et l'explicité des modèles facilite la communication entre chercheurs, et rend possible l'accumulation des connaissances au sein d'une communauté scientifique. En partant d'un modèle relativement simple vous pouvez progresser vers des modèles de plus en plus compliquées et de plus en plus pertinents à votre milieu agronomique et social -- tout en gardant le même langage que des milliers d'agro-economistes a travers le monde, qui ont tous suivi une formation semblable a celle-ci.

La démarche fondamentale de la modelisation est de concevoir une hypothèse, d'élaborer un modèle orienté a sa vérification, comparer ses résultats avec le comportement des exploitants dans le milieu réel, de rédiger le modèle pour assurer qu'il représente les conditions agro-economiques de l'exploitant, et finalement d'introduire au modèle le changement auquel on s'intéresse. A force de tels travaux, les économistes développent un ensemble de modèles capables de représenter tous les environnements pertinents, et peuvent choisir parmi eux celui qui sera le plus utile pour représenter toutes sortes de changements.

Ce manuel vous présente une succession de dix modèles, progressivement de plus en plus réalistes. Avec chaque modèle, on vous pose un exercice pratique qui vous demande de résoudre un problème typiquement rencontré au cours

Le Role des Exercices Pratiques

Le GAMS est une langue, et les langues s'apprennent par la pratique. Ce manuel comprend une série de 10 exercices associés aux modèles présentés dans le texte. Chaque exercice vous permettra de pratiquer le GAMS dans un contexte réel.

d'un travail de modelisation. Cinq modèles representent les decisions d'une seule exploitation, commençant avec un modèle simple comprenant plusieurs spéculations, passant par un modèle typique avec plusieurs techniques et plusieurs spéculations, et progressivement prenant en compte les risques climatiques et les contraintes de main d'oeuvre et de liquidité. Par la suite, cinq modèles representent le secteur agricole dans l'agregat, avec multiples regions, multiples techniques, le risque climatique et des limitations sur la disponibilité des intrants.

MODELISATION DE L'EXPLOITATION INDIVIDUELLE

L'analyse de l'impact economique des nouvelles technologies commence avec leur adoption au niveau de l'exploitation individuelle. Nous présumons que l'exploitant adoptera toute technologie qui répond à ses besoins, ou plus précisément qui répond à ses objectifs, étant donné ses contraintes. Cette présupposition peut prendre une multitude de formes. Dans ce manuel nous présentons une serie d'elements que vous pourrez par la suite utiliser pour creer vos propres modèles. Les modèles inclus sur la diskette qui accompagne ce manuel vous donnent multiples points de depart, et le site Internet de GAMS (www.gams.com) vous offre toute une bibliotheque de modèles classiques que vous pouvez emprunter librement et adapter vous-memes.

Modelisation d'une exploitation simple -- le modèle 1

Le modèle tres simple avec lequel nous commençons represente les decisions de l'exploitant par la maximization d'un objectif sous certaines contraintes. L'objectif represente le surplus qui reste à l'exploitant apres avoir payé ses coûts de production, et les contraintes representent les ressources qui lui sont disponibles. En termes analytiques, le modèle simple s'ecrit de la maniere suivante:

Modèle 1 -- une exploitation simple

$$\begin{aligned} \max \sum_i (P_i y_i X_i - c_i X_i) \\ \sum_i X_i &\leq S \\ X_{ij} &\geq 0 \text{ pour tout } i \\ i &= \text{sorgho, mil, nièbe} \end{aligned}$$

Les symboles sont:

P_i = prix du produit i

c_i = cout de production du produit i

X_i = superficie emblavée en produit i

y_i = rendement (yield) du produit i

S = superficie totale disponible

Notre modèle prend la forme d'un programme linéaire, un type de problème mathématique classique. La première ligne donne l'objectif du modèle, qui est la somme sur tous les produits (dénommés par l'indicateur i) du prix de ce produit (P_i) multiplié par son rendement (Y_i) multiplié par la superficie allouée à cette spéculation (X_i). Les variables qui sont choisies pour maximiser l'objectif sont les superficies (X_i), et la seconde ligne du modèle donne la contrainte que la somme des superficies emblavées ne doit pas dépasser la superficie totale disponible (S). Finalement, un dernier ensemble de contraintes insiste que les superficies ne peuvent pas être négatives -- c'est à dire on ne peut pas avoir des superficies inférieures à zéro. La répartition de la superficie totale entre spéculations -- c'est à dire la superficie emblavée dans chaque produit -- qui maximise l'objectif est la "solution" du modèle.

La notation mathématique utilisée dans le modèle 1 est très utile pour faciliter la communication entre chercheurs, car elle nous permet d'écrire le modèle d'une manière très compacte avec un minimum de symboles, et de pouvoir le modifier en utilisant tous les outils analytiques de la mathématique. Mais pour pouvoir calculer des valeurs spécifiques pour la solution du modèle, il faut écrire le modèle d'une manière qui nous permet de le livrer à un ordinateur -- avec seulement les 26 caractères de l'alphabet. Il existe plusieurs logiciels capables de capter et résoudre des programmes linéaires tels que notre modèle, mais le langage le plus répandu et le plus puissant est le GAMS -- le *General Algebraic Modeling System*. L'objectif de ce manuel est de vous permettre d'écrire des modèles en GAMS, dans le cadre d'un travail pratique.

En algèbre, chaque élément est défini par son contexte. Par exemple, la lettre "i" est écrite sous le \sum , et donc doit représenter un ensemble. Dans GAMS, vous devez explicitement *déclarer* que la lettre "i" représente un ensemble, et ensuite *afficher* les valeurs numériques ou le contenu de cet ensemble. De même avec les variables, paramètres et équations qui en algèbre sont définis par leur contexte mais en GAMS doivent être explicitement déclarés avant que leur définition soit affichée.

Puis-ce-que les variables et paramètres sont définis sur des ensembles, et les équations sont définies sur des variables et des paramètres, il est nécessaire de commencer tout modèle en GAMS avec une déclaration des ensembles qui seront utilisées, suivie des variables et paramètres, suivie des équations. Il n'est pas nécessaire d'afficher le contenu des ensembles ou les valeurs des paramètres en même temps que son nom est déclaré. L'entrée de ces données est séparée de la structure du modèle, ce qui vous permet de changer les composants du modèle sans changer sa forme. Cette capacité est très importante, car elle vous permettra "d'emprunter" les modèles pré-existants et les adapter à vos besoins.

Dans le cadre de notre modèle simple, notez qu'il n'y a qu'un seul indicateur, i , qui représente l'ensemble des spéculations. Pour chaque élément de cet ensemble, l'exploitant doit choisir la valeur d'une seule variable -- la superficie à emblaver (X_i) -- étant

donné les niveaux de plusieurs parametres--les prix (P_i), les rendements (Y_i), et les couts variables (c_i) dans l'équation utilisé comme fonction objective, et la superficie totale disponible (S) qui apparait dans la contrainte.

La forme de notre modèle dépend du fait que la lettre i represente un ensemble. La premiere ligne de notre programme GAMS est donc une "déclaration" de l'existence d'un ensemble representé par la lettre i . Ceci ce fait par l'utilisation du mot clef "SET" qui indique au logiciel que le mot suivant sera un ensemble.

Le GAMS est indifferent aux majuscules et minuscules, mais que pour faciliter la présentation et l'interpretation des modèles GAMS il est tres utile de toujours écrire les mots clefs en majuscules. Dans ce cas, on écrit:

```
SET i ;
```

Notez que toute instruction au logiciel doit etre suivi par un point-virgule. Ceci indique que l'instruction initiée par le mot-clef est terminé, et le logiciel attend donc une autre instruction precedée par un autre mot-clef.

Pour simplifier la presentation du modèle, il est preferable (mais pas strictement necessaire) de suivre la déclaration d'un ensemble par la specification de ses éléments. Ceci ce fait par l'utilisation des "slash" ("/") pour encadrer une série de valeurs, immediatement après le nom de l'ensemble, ce qui indique au logiciel que les valeurs encadrées par les / sont des elements de l'ensemble en question. Pour déclarer et

TROIS QUESTIONS DE LOGISTIQUE

Dans quel format est un modèle pour GAMS?

Le logiciel GAMS a été conçu pour pouvoir "lire" des modèles en format ASCII, c'est a dire des fichiers qui ne contiennent que les lettres et symboles du clavier, sans embellissement. Vous pouvez donc écrire votre modèle dans n'importe quel éditeur de texte tel que le programme NOTEPAD distribué avec Windows. Si vous utilisez un éditeur tel que la MS Word, n'oubliez pas de sauvegarder le fichier en format ASCII.

Dans quels repertoires travailler en GAMS?

Le logiciel GAMS doit etre sauvegardé dans un repertoire nommé C:\GAMS205, et nous vous conseillons de modifier le fichier C:\AUTOEXEC.BAT en y ajoutant une ligne avec le mots PATH C:\GAMS205, pour assurer que votre ordinateur pourra toujours trouver ce logiciel. Ensuite, nous vous conseillons de creer un repertoire nommé "C:\MODELES", et d'y sauvegarder tous vos modèles sous un nom de 8 caracteres suivi de l'extension .GMS. Ainsi tous vos modeles seront sauvegardés sous la forme: C:\MODELES\#####.GMS

Comment lancer le logiciel GAMS?

Sous le DOS, quand C:\GAMS205 est sur le "path", a partir du repertoire C:\MODELES vous verrez le DOS prompt C:\MODELES>. Si vous entrez la commande GAMS #####.GMS, le GAMS va "lire" votre modele #####, et vous donner sa solution dans un fichier nommé #####.LST. Utilisez ensuite votre editeur pour ouvrir le fichier .LST et voir le resultat.

specifier l'ensemble dans une seule ligne du modèle, on écrit:

```
SET i /sorgho, mil, niebe/ ;
```

Notez que le GAMS peut accepter comme valeurs dans toute spécification des mots de un à douze caractères ASCII, mais GAMS peut distinguer entre deux noms à partir des huit premiers caractères seulement. Ainsi, pour le GAMS, les mots ANIMAUXBOVIN et ANIMAUXBOEUX sont tous les deux acceptables (ils ont 12 caractères) mais semblent identiques (car les huit premiers lettres sont ANIMAUXB).

Une fois que l'indicateur *i* est défini, on peut l'utiliser dans l'élaboration du modèle. Ici, pour démontrer l'utilité de parfois séparer une déclaration de sa spécification, et pour démontrer la variété des spécifications possibles, nous allons enregistrer quatre déclarations sur quatre lignes successives. La première est la déclaration de l'existence d'une équation nommée "objectif", suivie de la déclaration des variables qui doivent être positives (X_i), la déclaration du nom d'une variable intermédiaire qui sera calculé par GAMS, et la déclaration de deux paramètres (P_i et Y_i). Notez que GAMS ne peut pas reconnaître des sous-scriptes, qui doivent donc être indiqués entre parenthèses.

```
EQUATION objectif ;  
POSITIVE VARIABLES X(i) ;  
VARIABLES profit ;  
PARAMETERS P(i), Y(i), c(i);
```

Après la déclaration des composants de l'équation "objectif" on peut la spécifier. Le langage GAMS utilise les deux points ".." pour indiquer que ce qui suit affiche les valeurs de ce qui précède. Le GAMS utilise le symbole =E= pour indiquer l'égalité. Pour écrire une formule, le GAMS utilise le mot-clef SUM pour indiquer la somme, suivi de l'ouverture d'une parenthèse, l'indicateur sur lequel la sommation doit se faire, et les variables et paramètres à utiliser dans la sommation. Le symbole "*" indique la multiplication.

```
objectif .. Profit =E= SUM(i, P(i)*Y(i)*X(i) - c(i));
```

Dans le contexte des définitions ci-dessus, le GAMS peut savoir que cette ligne veut dire: "la fonction objectif consiste du variable profit qui est égal à la somme sur toutes les valeurs de l'ensemble 'i' du paramètre P de chaque i, multiplié par le paramètre Y de chaque i, multiplié par le variable positif X de chaque i, moins le paramètre c de chaque i." Le GAMS ne sait pas pourquoi vous avez nommé cette équation "objectif", et nommé ses composants "profit", "i", "P", "Y", "X" et "c" -- le choix de ces noms est utile seulement pour nous rappeler qu'il s'agit de l'*objectif* d'un modèle, un niveau de *profit*, d'un ensemble qui sert d'*indicateur*, et des paramètres *prix*, rendements ('yields') et *couts variables* et le variable X choisi par l'exploitant.

La difference entre les variables positifs, les variables et les parametres est subtile. Normalement, les variables positifs sont les valeurs qui seront choisies par l'exploitant pour satisfaire l'objectif du modèle, les variables tout court sont les valeurs qui seront calculés par GAMS comme variables "intermediaires", et les parametres sont ceux qui sont predeterminés hors du modèle.

Le reste du modèle consiste en une seule contrainte, que l'on peut ecrire en GAMS comme avant par une declaration du nom d'une equation (la "contrainte"), une declaration du nom d'un parametre ("S", pour superficie totale), et la specification de la contrainte que la somme des superficies doit etre inferieure ou égale à (=L=) la superficie totale.

```
EQUATION contrainte;  
PARAMETER S;  
contrainte .. SUM( i, X(i) ) =L= S;
```

Ayant tous les composants du modèle (mais pas encore aucune valeur numerique), nous pouvons declarer que le nom de ce modèle et ses composants. Comme avant, nous metons le le mot-clef en majuscules, suivi du nom du modèle et ses elements entre deux slash:

```
MODEL modele1 /objectif,contrainte/ ;
```

Nous avons maintenant representé en GAMS exactement la meme chose que le modèle 1 en forme mathematique que l'on avait au depart. Le GAMS est donc pret à recevoir les valeurs numeriques des parametres, avec lesquels l'ordinateur pourra calculer les valeurs optimales des variables.

Pour nous faciliter l'alimentation du modèle, le GAMS nous permet d'afficher les valeurs des parametres n'importe ou après leur déclaration. On peut faire entrer les données un par un, en vecteurs, ou en matrices. On peut meme demander a GAMS de chercher les parametres dans un autres fichier.

Ici nous allons entrer les valeurs individuellement pour ne pas perdre l'association entre le nom du parametre et sa valeur numerique. Nous allons aussi faciliter notre comprehension du modèle par l'utilisation des commentaires, qui sont introduits en GAMS par un asterisk (*). Toutes les informations sur la ligne introduite par l'asterisk sont interpretes par GAMS comme des commentaires sur le modèle, sans signification pour l'ordinateur. Ceci nous permet de ne pas perdre de vu l'interpretation et les unités de chaque chiffre.

Pour notre modèle, on peut enregistrer nos données de la maniere suivante:

*** les "yields" de chaque speculation en kg/ha**

Y('sorgho') = 570;

Y('mil') = 570;

Y('niebe') = 1300;

*** les prix de chaque produit en FCFA/kg**

P('sorgho') = 99;

P('mil') = 97;

P('niebe') = 171;

*** la superficie totale disponible en ha**

S = 16;

*** les couts variables de chaque speculation en FCFA/ha**

c('sorgho') = 1500;

c('mil') = 1500;

c('niebe') = 1500;

Avec ces données, l'ordinateur a toutes les informations necessaires, et il nous reste qu'a preciser comment le GAMS doit calculer la solution du modèle. Cette commande se lance avec le mot-clef SOLVE, suivi du nom du modèle, le type d'optimization et le variable a optimiser, et finalement l'algorithme a suivre. Dans ce cas nous avons:

SOLVE modele1 maximizing profit using LP;

Le contenu du modèle "modele1" et la definition du variable "profit" ont déjà été affichés. Le GAMS peut minimiser aussi bien que maximiser en lançant la commande "minimizing" au lieu de "maximizing". Et le GAMS peut etre attaché a un grand nombre d'algorithms, dont la programmation lineaire (LP) n'est que la plus simple.

L'ensemble des commandes doit etre sauvegardé sur diskette (ou disque dur) comme un fichier de texte seulement, sans les embellissements associés aux fichiers utilisés par Word, WordPerfect ou autres. Il faut donc ecrire son modèle en utilisant la commande EDIT ou le logiciel NOTEPAD sous Windows, ou autre logiciel capable de sauvegarder un fichier de texte pur. Les fichiers qui contiennent des models pour GAMS doivent avoir, par convention, l'extension **".GMS"** et un nom de 8 caracteres. Il n'est pas necessaire que le fichier soit nommé du meme nom que le modèle qu'il contient, mais il est plus simple de le faire ainsi et de sauvegarder votre modèle dans un fichier nommé **Modele1.GMS** .

VOCABULAIRE ET GRAMMAIRE DU LANGUAGE GAMS

Il est presque toujours plus facile d'apprendre une langue comme le GAMS par la pratique, en l'utilisant dans son propre contexte. Pour cela nous avons conçus les exercices qui accompagnent ce manuel. Néanmoins un résumé de grammaire, aussi bien que la traduction d'un modèle connu, peut être utile pour résoudre les ambiguïtés et compléter la mémoire.

1. Déclarations et mots-clés

Le premier usage de tout élément d'un modèle doit être précédé par sa déclaration avec un des mot-clé suivants:

EQUATION	un calcul qui sera effectué par GAMS
POSITIVE VARIABLE	une valeur endogène choisie par GAMS comme solution du modèle
VARIABLE	une valeur endogène intermédiaire calculée par GAMS
PARAMETER	une valeur exogène imposée par le modélisateur
MODEL	un ensemble d'équations qui admet une solution
SOLVE	la commande qui indique à GAMS quel solution elle doit trouver

2. Syntaxe des déclarations

La déclaration d'un élément consiste d'un mot-clé suivi du nom de l'élément.

La spécification de l'élément consiste du nom suivi de deux points (..) et sa spécification.

Les espaces sont libres et n'ont aucune signification pour GAMS.

Les majuscules/minuscules n'ont aucune signification pour GAMS, mais conventionnellement on présente les mots-clés en majuscules.

Les éléments d'un ensemble peuvent être enregistrés individuellement avec le symbole =

Les éléments d'un ensemble peuvent être enregistrés en vecteur entre deux slashes (/ ... /)

Dans une équation, l'égalité est indiquée =E=, l'infériorité =L= et la supériorité =G=.

Toute phrase en GAMS doit se terminer avec un point-virgule.

Toute ligne en GAMS précédée par un asterisk est un commentaire destiné au lecteur

3. Traduction du modèle simple entre algèbre et GAMS

Modèle 1 en algèbre Modèle 1 en GAMS (dans le fichier modele1.GMS)

1	$\text{MAX } \sum_i (P_i Y_i X_i - c_i X_i)$	objectif..Profit=E=SUM(i, P(i)*Y(i)*X(i)-c(i)*X(i));
2	$\sum_i X_i \leq S$	contrainte .. SUM(i, X(i)) =L= S ;
3	$X_i \geq 0$ for all i	POSITIVE VARIABLES X(i) ;
4	$i = \{\text{sorgho, mil, niebe}\}$	SET i /sorgho, mil, niebe/ ;

Pour demander à GAMS d'exécuter vos commandes il est nécessaire de lancer la commande en DOS, avec le repertoire "c:\GAMS205\" sur le *path*, et en précisant que le logiciel GAMS doit exécuter le programme "MODELE1.GMS":

```
C:\GAMS205\GAMS modèle1.gms
```

Le logiciel GAMS passe par plusieurs étapes pour aboutir à la solution de votre modèle, qu'elle vous rend dans un fichier du même nom que votre fichier de départ, mais avec l'extension ".LST" à la place du ".GMS". Par la suite des opérations de GAMS, on doit donc ouvrir le fichier MODELE1.LST et chercher la phrase EXIT -- OPTIMAL SOLUTION FOUND. Ici vous trouverez la solution du modèle, dans le sens des valeurs optimales de toutes les variables.

Exercice 1

Cet exercice vous demande d'exécuter la tâche la plus importante du travail d'un modélisateur: il s'agit du "debugging", de trouver et de corriger une série d'erreurs fréquemment rencontrés. Demandez à GAMS de trouver la solution du premier modèle en lançant la commande "GAMS EXERC_1.GMS". Le fichier "EXERC_1.LST" produit par GAMS indiquera que le modèle contient plusieurs erreurs. Les erreurs sont indiquées par le signe ***, avec un code qui vous donne une idée du genre de problème. Mais comme l'ordinateur ne sait pas ce que vous voulez lui dire--en effet c'est précisément ça le problème--GAMS ne peut pas vous indiquer la solution. C'est à vous de vous faire comprendre, en corrigeant les erreurs. Au cas où vous désespérez, le modèle correcte est donné dans le fichier MODELE1.GMS.

Modelisation d'une exploitation avec multiples technologies -- le modèle 2

Notre deuxième modèle s'avère plus réaliste que le premier en ce qu'il permet multiples méthodes de production pour chaque produit. C'est donc ce modèle qui nous permettra d'évaluer le niveau d'adoption et d'impact d'une nouvelle technique, en faisant la comparaison de l'optimum avec et sans la technique en question. Le modèle typique diffère du modèle simple principalement en ce qu'elle comprend un deuxième ensemble, j , qui représente l'ensemble des technologies, et un nouveau variable intermédiaire, O , pour représenter l'offre totale de chaque produit.

Modèle 2 -- une exploitation avec multiples technologies

$$\begin{aligned}
& \max \sum_i (P_i O_i - TC_i) \\
& \sum_i \sum_j X_{ij} \leq S \\
& - \sum_j y_{ij} X_{ij} + O_i = 0 \quad \text{pour tout } i \\
& - \sum_j c_{ij} X_{ij} + TC_i = 0 \quad \text{pour tout } i \\
& X_{ij}, O_i \geq 0 \quad \text{pour tout } i \\
& \quad i = \text{sorgho, mil, nièbe} \\
& \quad j = \text{trad, amélioré}
\end{aligned}$$

Les symboles qui diffèrent du modèle précédent sont:

O_i = production de produit i

c_{ij} = cout de production par hectare du produit i avec technique j

TC_i = cout de production totale du produit i

X_{ij} = superficie de produit i emblavée avec technique j

y_{ij} = rendement (yield) du produit i avec technique j

Exercice 2

Le deuxième exercice vous demande de faire encore plus de “debugging”, cette fois sur la version GAMS du modèle 2. Lancez la commande GAMS sur le fichier EXERC_2.GMS, et le fichier EXERC_2.LST qui en résulte vous informe que votre modèle contient plusieurs erreurs. En les corrigeant, vous verrez tous les éléments nécessaires pour écrire le modèle 2 en GAMS.

Modelisation d’une exploitation avec multiples contraintes -- le modèle 3

Un résultat frappant des modèles 1 et 2 est que la solution de ces modèles n’admet qu’une seule spéculation. Ceci suit du fait que les modèles n’ont qu’une seule contrainte, la superficie totale, et que l’optimum consiste en misant cette ressource complètement sur la spéculation qui donne la plus grande marge bénéficiaire. Ce résultat étant très peu réaliste, une tâche prioritaire est de transformer notre modèle pour assurer que ses solutions imitent le comportement des exploitants.

Pour obtenir multiples spéculations dans la solution optimale il est nécessaire d’avoir multiples ressources contraignantes. Il est souvent le cas que les ressources les plus pertinentes sont la main d’oeuvre et la liquidité financière. L’adoption des nouvelles

technologies peut demander une reallocation substantielle de la main d'oeuvre d'une activite à une autre, et peut aussi imposer une forte pression sur les credits disponibles pour l'achat de semences, engrais ou autres intrants.

ROLE ET INTERPRETATION DES CONTRAINTES

Quand un modèle se prouve insuffisamment réaliste, l'usage courant des mots nous amenerait souvent à questionner l'objectif que l'exploitant est supposé suivre. Mais dans la modelisation ceci est souvent une fausse piste, car on peut rarement ameliorer la performance d'un modèle en changeant sa fonction objective. Normalement ce sont les contraintes et les données qui sont insuffisamment realiste.

Pour voir la pertinence de vos contraintes, il est utile d'examiner leurs valeurs marginales. Ces valeurs nous indiquent le changement dans la valeur de l'objectif (dans ce cas, le profit de l'exploitant) qui serait dégagé par une unité supplémentaire de la ressource contraignante. Autrement dit, c'est le cout d'opportunité de cette ressource, ou le prix que l'exploitant pourrait payer pour une unité supplémentaire.

Le realisme de chaque contrainte peut etre verifiée en comparant sa valeur marginale dans le modèle a la valeur de cette ressources en milieu reel. Par exemple, si votre contrainte de main d'oeuvre vous indique qu'une journee supplementaire de travail donnerait 100 000 FCFA de profit supplementaire, mais qu'aucun ouvrier reçoit une telle compensation, c'est que cette contrainte est trop limitante. Par contre une valeur marginale de zero pour une telle contrainte ne serait pas réaliste non plus. A vous d'ajuster vos contraintes pour obtenir des resultats que vous jugez realiste, a base de vos connaissances.

Modèle 3 -- une exploitation avec main d'oeuvre et liquidité limitante

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_i (P_i O_i - TC_i) \\
 & \sum_i \sum_j X_{ij} \leq S \\
 & - \sum_j y_{ij} X_{ij} + O_i = 0 \quad \text{pour tout } i \\
 & - \sum_j c_{ij} X_{ij} + TC_i = 0 \quad \text{pour tout } i \\
 & \sum_i \sum_j DMO_{ij} X_{ij} \leq OMO \\
 & \sum_i TC_i \leq \text{argent} \\
 & X_{ij}, O_i \geq 0 \quad \text{pour tout } i \\
 & i = \text{sorgho, mil, nièbe} \\
 & j = \text{trad, amelioré}
 \end{aligned}$$

Les symboles qui different ici sont:

OMO = offre de la main d'oeuvre

DMO = demande pour la main d'oeuvre
argent = liquidité disponible

Exercice 3.

Pour le troisieme exercice, nous vous demandons de comparer les resultats du modèle 3, qui vous est donné en GAMS sur le fichier EXERC_3.GMS, avec vos connaissances d'un milieu réel, et de modifier les parametres du modèle pour rapprocher les resultats de la réalité paysane. En particulier, verifiez si les résultats du modele, dans EXERC_3.LST, donnent des couts d'opportunité des ressources (terres, main d'oeuvre et liquidité) réalistes. Si non, modifiez le parametre qui represente leur disponibilité pour obtenir le résultat désiré. Cette étape s'appelle le "calibrage" du modèle, et est indispensable pour assurer que les données du modèle sont consistentes entre eux dans le cadre de votre modèle.

Modelisation d'une exploitation avec multiples etats-de-nature -- le modèle 4

Pour obtenir des resultats encore plus realiste dans un cadre sahélien, il est pertinent de considerer le risque et la possibilité que chaque spéculation produise different rendements selon les conditions agro-climatiques de la saison. Ceci nous demande d'introduire un grand nombre de niveaux de rendement, une tache fort laborieuse. Pour faciliter l'entrée des données, nous profitons de cet exercice pour montrer comment introduire des matrices en GAMS avec le mot-clef TABLE.

En GAMS, on peut declarer un parametre et le chiffrer plus tard, tand que l'entrée des données se fait individuellement ou en vecteurs. Quand on veut entrer les données sous forme de matrice, on est obligé d'entrer ce matrice de données immédiatement après la declaration du nom du parametre. Les matrices de données sont utiles quand un parametre est multi-dimensionel. Par exemple, dans les modèles 2 et 3 on aurait pu utiliser une matrice pour les rendements et pour les couts unitaires, car ces parametres sont définis par produit et par technologie. Dans le modèle 4 nous allons definir les rendements par produit et par état-de-nature. Les prix dépendront aussi de l'état-de-nature, et seront donc entrés par matrice sous le mot-clef TABLE.

SOURCES ET ENREGISTREMENT DES DONNEES

Les données des modèles utilisés dans ce manuel ont été collectés par Jeff Vitale, a partir des travaux de multiples chercheurs. Les rendements et couts de production sortent des enquetes menées par Ousmane Coulibaly en 1995. Les prix des produits sont obtenus de la SIM (1996), les prix des engrais de la CMDT (1996), et autres données des Comptes économiques du Mali (1996), de l'Enquete agricole de conjoncture 1996/97, et du Recueil des principales statistiques du secteur rural (1996).

Les parametres de votre modèle peuvent etre entrés de trois manières differentes: individuellement, en vecteurs, ou en matrices. Prenons l'exemple d'un prix, P_{ik} , qui dépend du produit (i) et de l'état-de-nature (k). Disons qu'il n'y a que deux produits $\{i=\text{sorgho, mil}\}$ et deux états-de-nature $\{k=\text{pauvre, bonne}\}$. Le parametre P_{ik} prend donc quatre valeurs. Avant de declarer les parametres ou afficher ces valeurs, il faut definir les deux ensembles:

```
SET i /sorgho, mil/;
SET k /pauvre, bonne/;
```

Ensuite on peut choisir parmi trois methodes pour declarer et afficher le parametre:

Methode 1: entrée individuelle

```
PARAMETER P(i,k) ;
P(sorgho, pauvre)= 120 ;
P(mil, pauvre) = 130 ;
P(sorgho, bonne) = 100 ;
P(mil, bonne) = 110 ;
```

Methode 2: entrée par vecteurs

```
PARAMETER P(i,k) ;
P(sorgho, k) / 120 100 /;
P(mil, k) / 130 110 / ;
```

Methode 3: entrée par matrices

```
TABLE P(i,k)
           pauvre  bonne
sorgho      120    100
mil          130    110 ;
```

Generalement, pour les parametres multi-dimensionnelles (qui sont eux-memes des matrices), la troisieme methode est preferable. Pour les parametre a une dimension (qui sont des vecteurs), la deuxieme methode est preferable, et la premiere methode n'est ideale que quand le parametre est un scalar sans indicateur. Notez aussi que le GAMS ignore presque toujours les espaces; la seule exception est dans les matrices sous le mot-clef TABLE, ou les chiffres doivent etre présentés en colonnes.

Modèle 4 -- une exploitation avec risque

$$\begin{aligned}
& \max \sum_k prob_k profit_k \\
profit_k &= \sum_i (P_{ik} O_{ik} - c_i X_i) \\
& \sum_i X_i \leq S \\
& \sum_i DMO_i X_i \leq OMO \\
& \sum_i c_i X_i \leq argent \\
& X_{ij}, O_{ik} \geq 0 \text{ pour tout } i \\
& \quad i = \text{sorgho, mil, nièbe} \\
& \quad k = \text{seche, moyenne, bonne}
\end{aligned}$$

Ici les symboles nouveaux sont:

$profit_k$ = niveau de profit dans chaque état de nature

$prob_k$ = probabilité de l'état-de-nature k

P_{ik} = prix du produit i dans le cas de l'état-de-nature k

y_{ik} = le rendement de produit i dans le cas de l'état-de-nature k

Pour simplifier ce modèle, il n'y a qu'une seule technique pour chaque produit, mais nous gardons les trois contraintes pour la terre, la main d'oeuvre et la liquidité. Le modèle reste un programme linéaire, bien que le résultat de chaque spéculation dépend de l'état-de-nature. Pour clarifier le calcul, nous avons entré l'objectif en deux étapes, ajoutant la première ligne qui définit l'objectif comme le profit *espéré* ($E(\text{profit})$), c'est à dire le profit obtenu sous chaque état de nature multiplié par la probabilité de cet événement. La deuxième ligne sert uniquement pour calculer le variable intermédiaire *profit*. Notez que ce variable est défini sur l'ensemble k des états de nature, car il dépend du niveaux des rendements et des prix qui varient selon la pluviométrie.

Exercice 4.

Tout modèle qui représente le risque dépend des probabilités associés à chaque état de nature. Ces probabilités ne peuvent pas être observés directement. Ils sont donc rarement bien connus, et sont souvent établis par calibration. Cet exercice vous demande de modifier les probabilités au point où les résultats obtenus sont satisfaisants. Pour faire cette calibration, observez la répartition des terres par produit avec les probabilités de base. Est-elle réaliste? Maintenant augmentez la probabilité d'une mauvaise année. Comment est-ce que la répartition change? Est-ce plus ou moins réaliste? Quelle répartition serait optimale dans une situation où l'exploitant était *certain* de faire face à une mauvaise année? Une bonne? Quelles leçons pouvez-vous en tirer sur l'interaction entre pluviométrie et choix de spéculation?

Modelisation de l'interaction entre technologie et risque -- le modèle 5

Dans les études de l'impact des nouvelles technologies il est souvent pertinent de considérer l'interaction entre la technologie utilisée et les conditions agro-climatiques. Par exemple, une nouvelle technologie peut être très performante dans une bonne année, mais un désastre en année de sécheresse. Pour pouvoir incorporer tous ces données, nous proposons un modèle qui comprend les deux dimensions. Comme dans le modèle 4, nous devons considérer la probabilité associée à chaque événement, et multiplier cette probabilité par les données associées à ce résultat:

Modèle 5 -- une exploitation avec multiples technologies et risques agro-climatiques

$$\begin{aligned}
& \max \sum_k prob_k profit_k \\
profit_k &= \sum_i (P_{ik} O_{ik} - TC_i) \\
& \sum_i \sum_j X_{ij} \leq S \\
& -\sum_j y_{ijk} X_{ij} + O_{ik} = 0 \\
& -\sum_j c_{ij} X_{ij} + TC_i = 0 \\
& \sum_i \sum_j DMO_{ij} X_{ij} \leq OMO \\
& \sum_i TC_i \leq argent \\
& X_{ij}, O_{ik} \geq 0 \text{ pour tout } i \\
& i = \text{sorgho, mil, nièbe} \\
& j = \text{trad, amélioré} \\
& k = \text{pauvre, moyen, bon}
\end{aligned}$$

Toutes les symboles de ce modele ont été définis pour les modeles precedents.

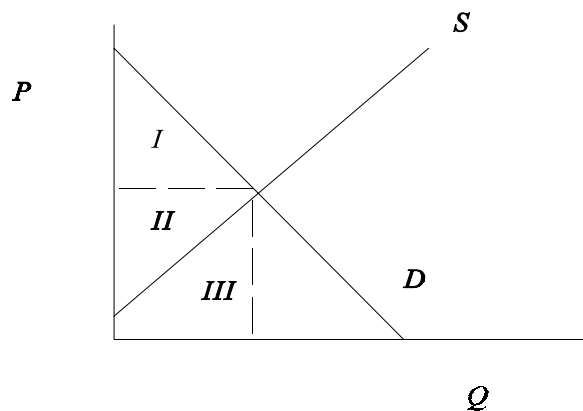
Exercice 5.

Le cinquième modèle est utile surtout pour voir l'interaction entre les nouvelles technologies et le risque. Pour illustrer l'importance de cette interaction, cet exercice vous demande de vérifier si la *variation du profit* d'une année à une autre est plus grande ou plus petite quand les nouvelles technologies sont disponibles. Quel est l'importance de cette variation pour les décisions de l'exploitant?

MODELISATION DU SECTEUR AGRICOLE

Les modèles d'une exploitation individuelle sont utiles pour certaines analyses, mais pour d'autres questions il est nécessaire de construire un autre type de modèle. En particulier, par-ce-que les exploitations individuelles contribuent une partie minime de la production totale sur le marché, les prix auxquels l'exploitant fait face sont des paramètres exogènes au modèle. Les prix sont fixés par un marché en dehors de l'exploitation. Le modèle ne peut-donc pas capter l'impact de la nouvelle technologie sur les prix et le bien-être des consommateurs. Pour cela, il faut étendre notre modèle pour représenter le secteur entier.

Les modèles sectoriels nous permettent de calculer le surplus économique, exactement comme tout autre modèle d'un marché. Pour voir la relation entre notre modèle et les graphiques traditionnels de l'offre et de la demande, notez que dans les graphiques le point d'équilibre maximise le *surplus économique*, qui est défini comme la superficie entre les deux courbes -- soit I + II dans la figure ci-dessous. L'objectif qui est maximisé dans notre modèle correspond à la même chose, étant l'intégral sous la courbe de demande (I+II+III), moins l'intégral sous la courbe de l'offre (III) -- bien que dans notre modèle la courbe d'offre sera une ligne horizontale, car le coût marginal de production est constant, alors l'intégrale n'est que la quantité multipliée par le coût de production:



L'avantage de la modélisation sectoriel en GAMS est que nous pouvons facilement développer notre modèle pour représenter multiples technologies et états-de-nature comme dans les modèles d'une seule exploitation, et nous pouvons aussi étendre le modèle pour représenter multiples régions. Prendre compte du risque, par exemple, ne change pas beaucoup: l'objectif est maintenant le surplus économique *espéré*, dans le sens de sa valeur sous chaque événement multiplié par la probabilité de cet événement.

Modélisation d'un secteur composé d'exploitations simples -- le modèle 6

Un modèle sectoriel représente l'interaction entre un ensemble de producteurs et un ensemble de consommateurs, pour trouver l'équilibre entre eux. Pour introduire ce genre de modèle nous retournons au type d'exploitation le plus simple, et nous représentons le secteur comme un ensemble de producteurs identiques de ce même genre. Ainsi le côté offre du modèle prend la même forme que le modèle 1, sauf qu'il représente des milliers d'exploitants identiques et non pas un seul exploitant représentatif. A cela nous ajoutons un ensemble de consommateurs qui sont représentés par une courbe de demande, qui représente le prix que les consommateurs pourraient payer pour chaque niveau de

production. En prenant compte de cette relation notre modèle peut maintenant calculer le prix du produit, comme un équilibre entre la production et la consommation.

Multiplés formes de demande sont possibles, mais la plus simple est une courbe de demande lineaire, de la forme suivante:

$$P_i = A_i D_i + B_i$$

Le surplus économique est l'intégrale sous cette courbe de demande, moins l'intégrale sous la courbe de l'offre (O), ce qui donne l'objectif à maximiser dans notre modèle:

Modèle 6 -- un secteur simple

$$\begin{aligned} \max \text{ BES} &= \sum_i (.5A_i D_i^2 + B_i D_i - c_i X_i) \\ \sum_i X_i &\leq S \\ D_i &= O_i \\ -y_i X_i + O_i &= 0 \text{ pour tout } i \\ X_i, O_i &\geq 0 \end{aligned}$$

Les symboles introduites pour la première fois ici sont:

BES = bien-être social, dans le sens du surplus économique

A_i = pente de la courbe de demande pour le produit *i*

B_i = intercepte de la courbe de demande pour le produit *i*

D_i = demande totale pour le produit *i*

c_i = cout de production par hectare pour le produit *i*

Ici toutes les autres symboles sont comme pour le modèle 1 représentant l'exploitation simple. La seule différence est que l'objectif correspond au bien-être social, dans le sens du surplus économique, ou la différence entre la volonté de payer des consommateurs et le cout de production.

Exercice 6.

Une des questions les plus importantes que l'on peut adresser dans le cadre des modèles sectoriels est l'influence de la demande sur la production. Quels paramètres sont utilisés dans le modèle pour caractériser la demande? Quel influence ont-ils sur le niveau de production dans ce modèle? Variez un des paramètres pour voir comment ils changent la répartition des terres et la production.

Modelisation d'un secteur composé de multiples régions-- le modèle 7

Pour développer le réalisme et l'utilité de notre modèle sectoriel, une première complication sera de diviser le secteur en trois régions. Ceci nous permet de représenter, par exemple, l'interaction entre une région céréalière, une région cotonnière, et une région urbaine, prenant compte de l'échange entre les régions.

Modèle 7 -- une secteur avec multiples régions

$$\begin{aligned} \max \text{ BES} &= \sum_i \sum_r (.5A_i D_{ir}^2 + B_i D_{ir} - TC_{ir} - TR_{ir}) \\ &\sum_i X_{ir} \leq S_r \\ D_{ir} &\leq O_{ir} + \sum_q T_{iqr} \text{ pour tout } i, r \\ -y_{ir} X_{ir} + O_{ir} &= 0 \text{ pour tout } i, r, \\ -c_i X_{ir} + TC_{ir} &= 0 \text{ pour tout } i, r \\ -\sum_q h_{iqr} T_{iqr} + TR_{ir} &= 0 \text{ pour tout } i, r \\ T_{iqr} + T_{irq} &= 0 \text{ pour tout } i, r, q \\ X_{ir}, O_{ir}, D_{ir} &\geq 0 \end{aligned}$$

Les nouveaux symboles sont:

D_{ir} = quantité demandée du produit i en région r

T_{iqr} = quantité du produit i transporté de la région q à la région r

TR_{ir} = total des coûts de transport du produit i vers la région r

h_{iqr} = coût unitaire de transport du produit i de la région q vers la région r

Notez que l'objectif maintenant contient deux sommations, une pour les produits et une autre pour les régions.

Exercice 7. Modeliser avec multiples régions

Pour représenter le modèle 7 en GAMS, il est utile d'introduire un nouveau mot-clé: ALIAS, qui nous permet d'avoir les mêmes éléments dans deux ensembles sans avoir à entrer ses éléments deux fois. Dans ce cas, c'est l'ensemble des régions que nous voulons répéter, une fois comme régions d'origine et encore comme régions de destination. Un exercice qui met en évidence l'importance de la séparation entre régions est de varier le coût de transport. Quand ce coût est diminué, est-ce que le niveau du surplus économique total augmente par exactement la diminution du total des coûts de transport? Quel autre source d'économies y a-t'il?

Modelisation sectoriel des nouvelles technologies -- le modèle 8

L'introduction de multiples technologies dans notre modèle sectoriel nous permet de voir l'interaction entre l'adoption d'une nouvelle technique et les échanges entre regions.

Modèle 8 -- un secteur avec multiples regions et multiples technologies

$$\begin{aligned}
 \max \text{ BES} &= \sum_i \sum_r (.5A_i D_{ir}^2 + B_i D_{ir} - TC_{ir} - TR_{ir}) \\
 &\sum_i \sum_j X_{ijr} \leq S_r \\
 D_{ir} &\leq O_{ir} + \sum_q T_{iqr} \text{ pour tout } i, r \\
 -\sum_j y_{ijr} X_{ijr} + O_{ir} &= 0 \text{ pour tout } i, r, \\
 -\sum_j c_{ijr} X_{ijr} + TC_{ir} &= 0 \text{ pour tout } i, r \\
 -\sum_q h_{iqr} T_{iqr} + TR_{ir} &= 0 \text{ pour tout } i, r \\
 T_{iqr} + T_{irq} &= 0 \text{ pour tout } i, r, q \\
 X_{ijr}, O_{ir}, D_{ir} &\geq 0
 \end{aligned}$$

Dans ce modele il n'y a aucun nouveau symbole.

Exercice 8.

La question fondamentale auquel nous sommes finalement à mesure de répondre est la valeur en termes économiques de l'existence de la nouvelle technologie. Pour adresser cette question vous devez trouver la solution du MODELE8 .GMS quand les nouvelles techniques sont disponibles, et ensuite faire une modification du modele et trouver sa solution quand l'exploitant est empêché de les utiliser--et ainsi simuler une situation sans nouvelle technologie.

Modelisation sectoriel avec risque agroclimatique -- le modèle 9*Modèle 9 -- un secteur avec multiples régions, technologies et états de nature*

$$\begin{aligned}
\max \text{ BES} &= \sum_i \sum_r \sum_k (\text{prob}_k) (.5A_i D_{irk}^2 + B_i D_{irk} - TC_{ir} - TR_{irk}) \\
&\sum_i \sum_j X_{ijr} \leq S_r \\
D_{irk} &\leq O_{ir} + \sum_q T_{irq} \text{ pour tout } i, r, k \\
-\sum_j y_{ijrk} X_{ijr} + O_{irk} &= 0 \text{ pour tout } i, r, k \\
-\sum_j c_{ij} X_{ijr} + TC_{ir} &= 0 \text{ pour tout } i, r \\
-\sum_q h_{iqr} T_{irq} + TR_{irk} &= 0 \text{ pour tout } i, r \\
T_{irq} + T_{irqk} &= 0 \text{ pour tout } i, r, q, k \\
X_{ijr}, O_{irk}, D_{irk} &\geq 0
\end{aligned}$$

Exercice 9.

Ce modele nous permet de reprendre la question de l'exercice 5, dans le cadre d'un modele qui comprend l'ajustement du coté des consommateurs. Notez encore la variabilité de l'objectif (le surplus economique aux producteurs et aux consommateurs) quand la pluviometrie varie. Est-ce-que cette variabilité est plus grande quand l'elasticité de la demande est plus grande ou plus petite? Pourquoi?

Modelisation sectoriel avec contraintes sur les intrants-- le modèle 10

Les nouvelles technologies dépendent souvent d'un intrant dont la quantité disponible est limitée. Cette limitation peut avoir une influence importante sur l'adoption et l'impact de cette technologie, et mérite une considération particulière. Le modèle suivant comprend deux types de contraintes: une limite l'utilisation totale des intrants inorganiques au niveau national, et l'autre limite l'utilisation de la main d'oeuvre dans chaque région. Ceci représente une limitation sur la disponibilité des devises nécessaires pour l'importation des intrants, et la séparation géographique qui limite la migration entre régions.

Modèle 10 -- un secteur avec contraintes sur les intrants et la main d'oeuvre

$$\begin{aligned}
 \max \text{ BES} &= \sum_i \sum_r \sum_k (\text{prob}_k) (.5A_i O_{irk}^2 + B_i O_{irk} - TC_{ir} - TR_{irk}) \\
 &\quad \sum_i \sum_j X_{ijr} \leq S_r \\
 D_{irk} &\leq O_{ir} + \sum_q T_{iqrk} \text{ pour tout } i, r, k \\
 -\sum_j y_{ijrk} X_{ijr} + O_{irk} &= 0 \text{ pour tout } i, r, k \\
 -\sum_j c_{ij} X_{ijr} + TC_{ir} &= 0 \text{ pour tout } i, r \\
 -\sum_q h_{iqr} T_{iqr} + TR_{irk} &= 0 \text{ pour tout } i, r \\
 T_{iqrk} + T_{irqk} &= 0 \text{ pour tout } i, r, q, k \\
 \sum_i \sum_j \text{DMO}_{ij} X_{ijr} &\leq \text{OMO}_r \text{ pour tout } r \\
 \sum_i \sum_j \sum_r \text{utilengr}_{ij} X_{ijr} &\leq \text{totengrais} \\
 X_{ijr}, O_{irk} &\geq 0
 \end{aligned}$$

Le nouveau symbole est:

utilengr_{ij} = utilisation d'engrais dans chaque speculation

Exercice 10

Ici nous pouvons pousser encore plus loin la question précédente, et demander comment l'adoption des nouvelles technologies change le niveau et la variabilité de l'objectif selon les conditions climatiques. Est-ce que la nouvelle technologie stabilise le secteur, ou augmente sa vulnérabilité à la sécheresse?

FELICITATIONS!

Vous avez complété une tournée rigoureuse de la modelisation en GAMS. On a commencé avec un modele ultra-simple que vous auriez pu calculer à la main, et progressivement developpé le modele au point ou il est capable d'adresser des questions tres complexes et détaillées. En partant des modeles inclus dans ce manuel, vous allez pouvoir les editer et adapter a vos besoins. Il est conseillé toujours de copier directement d'un fichier pour eviter des fautes de frappe, mais au cas ou vous voudriez voir les modeles imprimés ils sont inclus dans ce manuel en annexe.

En creant vous-meme un modele qui represente une exploitation ou un secteur avec et sans un changement donné, vous pouvez voir les consequences de ce changement d'une maniere qui etait inconcevable avant le developpement des ordinateurs modernes. On vous laisse donc équipé d'un outil d'analyse très puissant, mais on vous retourne a notre point de depart. Les modeles ne sont que des geantes machines a calculer, qui formalisent vos presuppositions et servent de recipient pour vos données. A vous de choisir les suppositions et de collecter les donnees qui seront pertinents aux questions les plus urgentes de votre milieu.

APPENDIX

Tableau A. Résumé des caractéristiques des modèles

Modèle	Contraintes	Produits	Etats de nature	Technologies	Régions
Modèles d'une exploitation					
Modele1.gms	Superficie	Sorgho, mil, niebe	1	Traditionnelles	Cerealieres
Modele2.gms	Superficie	Sorgho, mil, niebe	1	Traditionnelles + Nouvelles	Cerealieres
Modele3.gms	Superficie Main d'O. Liquidité	Sorgho, mil, niebe	1	Traditionnelles + Nouvelles	Cerealieres
Modele4.gms	Superficie Main d'O. Liquidité	Sorgho, mil, niebe	3	Traditionnelles	Cerealieres
Modele5.gms	Superficie Main d'O. Liquidité	Sorgho, mil, niebe	3	Traditionnelles + Nouvelles	Cerealieres
Modèles d'un secteur					
Modele6.gms	Superficie	Sorgho, mil, niebe, coton et mais	1	Traditionnelles	Cerealieres
Modele7.gms	Superficie	Sorgho, mil, niebe, coton et mais	1	Traditionnelles	Cerealieres, cotoniere et urbaine
Modele8.gms	Superficie	Sorgho, mil, niebe, coton et mais	1	Traditionnelles + Nouvelles	Cerealieres, cotoniere et urbaine
Modele9.gms	Superficie	Sorgho, mil, niebe, coton et mais	3	Traditionnelles + Nouvelles	Cerealieres, cotoniere et urbaine
Modele10.gms	Superficie, main d'o., intrants	Sorgho, mil, niebe, coton et mais	3	Traditionnelles + Nouvelles	Cerealieres, cotoniere et urbaine

* Modele no. 1 du manuel sur
 * ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
 * William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
 * 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
 * ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
 * masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu
 *
 * Rappelez-vous que les lignes etoilles sont des commentaires,
 * qui ne seront pas lu par GAMS. Les mots en lettres majuscules
 * sont des mot-clefs qui signalent le type d'element qui sera defini.
 * La fin de la definition est signalee par un point-virgule.
 * Tout element du modele doit etre declare avant d'etre utilise.
 * Pour ecrire chaque equation, on doit donc declarer les ensembles
 * avant tout, suivi de tous les elements qui vont entrer dans
 l'equation.
 *
 * Notre premier equation est l'objectif du modele:

```
SET i /sorgho, mil, niebe/ ;
EQUATION objectif;
POSITIVE VARIABLE X(i);
VARIABLES profit;
PARAMETER P(i), Y(i), c(i) ;
objectif .. profit =E= SUM(i, P(i)*Y(i)*X(i) - c(i)*X(i));
```

* La deuxieme equation est la contrainte des terres disponibles:

```
EQUATION terres;
PARAMETER S;
terres .. SUM( i, X(i)) =L= S;
```

* La structure mathematique du modele etant complete, il
 * vous reste a entrer les donnees. Notez bien les unites, car
 * il est facile de se tromper. On commence avec
 * la superficie totale disponible (hectares)

```
S = 16;
```

```
* le rendement de chaque speculation (kg/ha)
Y('sorgho') = 570;
Y('mil') = 570;
Y('niebe') = 1300;
* les couts de production pour chaque speculation (FCFA/ha)
c('sorgho') = 1500;
c('mil') = 1500;
c('niebe') = 1500;
* les prix recus ou payes (FCFA/kg)
P('sorgho') = 99;
P('mil') = 97;
P('niebe') = 175;
* Nous pouvons maintenant preciser le nom du modele et
* les equations qui en font partie. Notez que l'on peut faire
* plusieurs modeles dans un seul fichier.
```

```
MODEL modele1 /objectif, terres/ ;
```

* Et finalement on peut demander au logiciel de trouver
 * la solution de ce modele, en precisant dans quel direction

- * il faut optimiser (max ou min) et avec quel methode. Ici c'est
- * la programmation lineaire (LP).

SOLVE modele1 maximizing profit using LP;

```

* Modele no. 2 du manuel sur
* ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
* William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
* 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
* ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
* masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu

* Pour simplifier la presentation on ne mettra que les commentaires
* necessaires pour clarifier les elements que l'on ajoute au modele
* precedent.
* L'objectif de ce modele est le meme que celui du modele 1,
* mais pour simplifier la formule on le calcule avec deux variables
* intermediaires:
*   O(i) est l'offre de chaque produit
*   TC(i) est le total des couts de production pour chaque produit

SET i /sorgho, mil, niebe/ ;
EQUATION objectif;
POSITIVE VARIABLES O(i), TC(i) ;
VARIABLES profit;
PARAMETER P(i) ;
objectif .. profit =E= SUM(i, P(i)*O(i) - TC(i));

* Maintenant pour la contrainte des terres il nous faut un
* ensemble additional pour représenter les deux
* technologies, traditionnelle et ameliore. La repartition
* des terres se fait en deux dimensions, par produit et par
* technologie, et le variable X est donc defini sur deux indices.

SET j /trad, ameliore/;
POSITIVE VARIABLE X(i,j);
EQUATION terres;
PARAMETER S;
terres .. SUM( i, SUM(j, X(i,j)) ) =L= S;

* Il nous reste a calculer les variables intermediaires, faisant
* la sommation sur toutes les technologies pour calculer
* l'offre totale (O(i)) et le total des couts (TC(i)).
* Notez la convention d'ecrire les equations avec tous
* les variables a gauche et un zero a droite.

EQUATIONS calcoffre(i), calccouts(i) ;
PARAMETER Y(i,j) ;
PARAMETER c(i,j);
calcoffre(i) .. -SUM(j, Y(i,j)*X(i,j)) +O(i) =E= 0;
calccouts(i) .. -SUM(j, c(i,j)*X(i,j)) +TC(i) =E= 0;

```

- * Maintenant on passe a l'entree des donnees, precisant
- * le produit et la technologie. Rappelons les unites:
- * S est en hectares
- * Y est en kg/ha
- * c est en FCFA/ha
- * P est en FCFA/kg

```
S = 16;  
Y('sorgho','trad') = 570;  
Y('sorgho','ameliore') = 1430;  
Y('mil','trad') = 570;  
Y('mil','ameliore') = 1300;  
Y('niebe','trad') = 1300;  
Y('niebe','ameliore') = 1521;  
c('sorgho','trad') = 1500;  
c('sorgho','ameliore') = 22250;  
c('mil','trad') = 1500;  
c('mil','ameliore') = 22250;  
c('niebe','trad') = 1500;  
c('niebe','ameliore') = 23000;  
P('sorgho') = 99;  
P('mil') = 97;  
P('niebe') = 171;
```

- * Finalement on peut creer le modele et lancer sa solution.
- * Noter bien que ce modele comprend quatre equations, dont deux
- * ne servent qu'a calculer des variables intermediaires.

```
MODEL modele2 /objectif, terres, calcoffre, calccouts/ ;  
SOLVE modele2 maximizing profit using LP;
```

* Modele no. 3 du manuel sur
 * ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
 * William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
 * 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
 * ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
 * masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu

* Ce modele commence comme le modele no. 2:

```
SET i /sorgho, mil, niebe/ ;
EQUATION objectif;
POSITIVE VARIABLES O(i), TC(i) ;
VARIABLES profit;
PARAMETER P(i) ;
objectif .. profit =E= SUM(i, P(i)*O(i) - TC(i));
```

```
SET j /trad, ameliore/;
POSITIVE VARIABLE X(i,j);
EQUATION terres;
PARAMETER S;
terres .. SUM( i, SUM(j, X(i,j)) ) =L= S;
```

```
EQUATIONS calcoffre(i), calccouts(i) ;
PARAMETER Y(i,j) ;
PARAMETER c(i,j);
calcoffre(i) .. -SUM(j, Y(i,j)*X(i,j)) +O(i) =E= 0;
calccouts(i) .. -SUM(j, c(i,j)*X(i,j)) +TC(i) =E= 0;
```

* Les elements nouveaux sont les contraintes qui insistent que
 * les demandes pour la main d'oeuvre (DMO(i,j))
 * ne dépassent pas l'offre de la main d'oeuvre (OMO), et que
 * le total des couts de production (TC(i))
 * ne dépassent pas la liquiditee disponible (argent).

```
PARAMETER DMO(i,j), OMO;
EQUATION labor;
labor .. SUM(i, SUM(j, DMO(i,j)*X(i,j))) =L= OMO;
EQUATION liquiditee;
PARAMETER argent;
liquiditee .. SUM(i, TC(i)) =L= argent ;
```

* On peut maintenant entrer les donnees, commençant avec
 * ceux qui sont les memes que pour le modele precedent:

```
S = 16;
Y('sorgho','trad') = 570;
Y('sorgho','ameliore') = 1430;
Y('mil','trad') = 570;
Y('mil','ameliore') = 1100;
Y('niebe','trad') = 1300;
Y('niebe','ameliore') = 1430;
c('sorgho','trad') = 1500;
c('sorgho','ameliore') = 22250;
c('mil','trad') = 1500;
c('mil','ameliore') = 22250;
c('niebe','trad') = 1500;
c('niebe','ameliore') = 23000;
P('sorgho') = 99;
```

```
P('mil') = 97;
P('niebe') = 171;

* L'argent liquide disponible pour payer les couts (en FCFA)
argent = 200000;

* La demande pour la main d'oeuvre en chaque activite (h/ha)

DMO('sorgho','trad') = 208;
DMO('sorgho','ameliore') = 227;
DMO('mil','trad') = 208;
DMO('mil','ameliore') = 227;
DMO('niebe','trad') = 379;
DMO('niebe','ameliore') = 440;

* L'offre de la main d'oeuvre supposant un complement de
* 4 hommes, 3 femmes et 4 enfants (en heures)

OMO = 9547 ;

* Finalement notez que le modele contient les deux equations
* nouvelles pour la main d'oeuvre et la liquiditee.

MODEL modele3 /objectif, terres ,calcoffre, calccouts,
               labor, liquiditee/ ;
SOLVE modele3 maximizing profit using LP;
```

```

* Modele no. 4 du manuel sur
* ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
* William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
* 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
* ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
* masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu

* Pour ce modele nous avons besoin d'un nouvel ensemble pour
* les differentes conditions agro-climatiques (etats de la nature).

SET i /sorgho, mil, niebe/ ;
SET k /seche, moyenne, bonne/ ;

* Dans l'objectif nous avons le profit dans chaque etat-de-nature
* multiplie par sa probabilite, ce qui nous donne le profit espere
(eprofit),
* ce qui serait le profit moyen sur plusieurs annees.

EQUATION objectif;
VARIABLES eprofit, profit(k);

* Maintenant on veut declarer les prix dans chaque etat-de-nature,
* et pour pouvoir les entrer sous forme de tableau il faut afficher
* les donnees juste apres la declaration du parametre avec
* le mot-clef TABLE.
* Noter bien que le premier indice apres la parenthese doit représenter
* les rangees et le deuxieme indice les colonnes, et qu'il faut
* assurer que tout les chiffres commencent apres le debut du nom de
* la colonne.
* N'oubliez pas le point-virgule.

TABLE P(i,k)
      seche  moyenne  bonne
sorgho    117     97     72
mil       123     99     79
niebe     191    171    161 ;

PARAMETER prob(k);
objectif .. eprofit =E= SUM(k,prob(k)*profit(k) );

* Pour calculer le profit dans chaque etat-de-nature il nous faut
* une nouvelle equation :

EQUATION NATUPROFIT(k) ;
POSITIVE VARIABLE X(i);
PARAMETER c(i);

TABLE Y(i,k)
      seche  moyenne  bonne
sorgho    470     570     620
mil       450     570     670
niebe     830    1300    1420 ;

NATUPROFIT(k) .. profit(k) =E= SUM(i,P(i,k)*Y(i,k)*X(i) - c(i)*X(i));

EQUATION terres;
PARAMETER S;
terres .. SUM(i, X(i)) =L= S;

```



```

PARAMETER DMO(i), OMO;
EQUATION labor;
labor .. SUM(i, DMO(i)*X(i)) =L= OMO;

EQUATION liquiditee;
PARAMETER argent;
liquiditee .. SUM(i, c(i)*X(i)) =L= argent ;

* Ensuite on entre les donnees comme les autres modeles
S = 16;
c('sorgho') = 1500;
c('mil') = 1500;
c('niebe') = 1500;
DMO('sorgho') = 208;
DMO('mil') = 208;
DMO('niebe') = 379;
OMO = 9547 ;
argent = 200000;

* mais le nouvel element est la probabilite de
* chaque condition agro-climatique. Evidemment
* le total des probabilites doit etre un.

prob('seche') = .3 ;
prob('moyenne') = .45;
prob('bonne')=.25;

* Finalement on peut creer le modele et lancer sa solution.
* Noter que le modele contient le nouvel equation pour calculer le
* profit sous chaque etat de nature, et que l'objectif est de
* maximizer le eprofit au lieu du profit.

MODEL modele4 /objectif, natuprofit, terres, labor, liquiditee / ;
SOLVE modele4 maximizing eprofit using LP;

```

```

* Modele no. 5 du manuel sur
* ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
* William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
* 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
* ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
* masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu

SET i /sorgho, mil, niebe/ ;
SET k /seche, moyenne, bonne/ ;
EQUATION objectif;
POSITIVE VARIABLES O(i,k), TC(i) ;
VARIABLES eprofit, profit(k);

TABLE P(i,k)
      seche  moyenne  bonne
sorgho      117      97      72
mil          123      99      79
niebe       191     171     161 ;

PARAMETER prob(k);
objectif .. eprofit =E= SUM(k,prob(k)*profit(k) );

EQUATION natuprofit(k) ;
natuprofit(k) .. profit(k) =E= SUM(i,P(i,k)*O(i,k) - TC(i));

SET j /trad, ameliore/;
POSITIVE VARIABLE X(i,j);
EQUATION terres;
PARAMETER S;
terres .. SUM( i, SUM(j, X(i,j)) ) =L= S;

EQUATIONS calcoffre(i,k), calccouts(i) ;

* Maintenant nous voulons declarer et afficher les donnees pour
* un parametre a trois dimensions. Il faut toujours aller de
* gauche a droite, commenceant dans ce cas par le produit (i),
* avec un point (.) pour le separer de la technologies (j).
* Ainsi la combinaison (i.j) forment les rangees et l'etat-de-nature
* (k) forme les colonnes.

TABLE Y(i,j,k)
      seche  moyenne  bonne
sorgho.trad      470      570      620
sorgho.ameliore  870     1430     1460
mil .trad        450      570      670
mil .ameliore    870     1100     1200
niebe.trad       830     1300     1420
niebe.ameliore  1090     1430     1521 ;

TABLE C(i,j)
      trad  ameliore
sorgho  1500  22250
mil     1500  22250
niebe   1500  23000 ;

calcoffre(i,k) .. -SUM(j, Y(i,j,k)*X(i,j)) + O(i,k) =E= 0;
calccouts(i) .. -SUM(j, c(i,j)*X(i,j)) +TC(i) =E= 0;

```

```
PARAMETER DMO(i,j), OMO;
EQUATION labor;
labor .. SUM(i, SUM(j,DMO(i,j)*X(i,j))) =L= OMO;

EQUATION liquiditee;
PARAMETER argent;
liquiditee .. SUM(i, TC(i)) =L= argent ;

S = 16;
argent = 200000;
DMO('sorgho','trad') = 208;
DMO('sorgho','ameliore') = 227;
DMO('mil  ','trad') = 208;
DMO('mil  ','ameliore') = 227;
DMO('niebe','trad') = 379;
DMO('niebe','ameliore') = 440;
OMO = 9547 ;
prob('seche') = .3 ;
prob('moyenne') = .45 ;
prob('bonne')=.25 ;

MODEL modele5 /objectif, natuprofit, terres,
               calcoffre, calccouts, labor, liquiditee/ ;
SOLVE modele5 maximizing eprofit using LP;
```

```

* Modele no. 6 du manuel sur
* ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
* William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
* 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
* ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
* masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu
*
* Ce modele presume un seul type d'exploitation couvre tout le secteur
* agricole du Mali.
*

SET i /sorgho, mil, niebe/ ;

* Les parametres A et B sont la pente et l'intercepte de la courbe de
demande
* Le parametre c est defini comme avant, c'est le cout de production par
hectare

PARAMETERS A(i), B(i), c(i);

* Le variable D(i) est la demande pour chaque produit,
* et X(i) est la superficie emblavee dans tout le secteur.

POSITIVE VARIABLES X(i), D(i);

* L'objectif est le bien-etre social (BES), dans le sens du
* surplus economique:

VARIABLE BES ;
EQUATION objectif ;
objectif .. BES =E= sum(i,A(i)*D(i)*D(i)/2 + B(i)*D(i) - c(i)*X(i)) ;

* La contrainte des terres se refere a la superficie du secteur entier,
* et l'offre provient de tout le secteur.

EQUATION terres;
PARAMETER S;
terres .. SUM( i, X(i) ) =L= S;

POSITIVE VARIABLES O(i);
EQUATION calcoffre(i) ;
PARAMETER Y(i), c(i) ;
calcoffre(i) .. -Y(i)*X(i) +O(i) =E= 0;

* Dans ce modele simple on ne permet pas d'exportations
* ni d'importations ou changements de stocks, alors l'offre
* doit etre egale a la demande.

EQUATION equilibre(i) ;
equilibre(i) .. D(i) =E= O(i) ;

* Pour l'entree des donnees sur la demande, on doit
* calculer les quantites et prix observees actuellement a
* un point d'equilibre, et utiliser une elasticite estimee
* pour calculer la pente et l'intercepte de la courbe autour
* de ce point.
* Nous calculons la quantite consommee actuellement au
* Mali a partir d'une consommation de cereales par personne

```

```

* de 180 kg/an. En milieu rural nous supposons que c'est
* 45% sorgho, 45% mil et 10% mais. En milieu urbain
* nous supposons 40 % riz, 25% sorgho, 25% mil et 10% mais.
* Nous supposons une consommation de niebe de 50 kg/an
* La population totale est 9217000
* La pop. urbaine est 2491000
* La pop. rurale est 6726000
*

```

```

PARAMETER Dequil(i), Pequil(i);
PARAMETER popurbn, poprurale, subsist;
popurbn = 2491000;
poprurale = 6726000;
subsist = 180;
Dequil('sorgho') = popurbn*.5*.5*subsist + poprurale*.9*.5*subsist;
Dequil('mil  ') = popurbn*.5*.5*subsist+ poprurale*.9*.5*subsist;
Dequil('niebe') = (popurbn + poprurale)*50 ;
Pequil('sorgho') = 99;
Pequil('mil  ') = 97;
Pequil('niebe') = 1171;

```

```

* Pour simplifier le calcul de la pente et l'intercepte des
* courbes de demande nous supposons que l'elasticite
* est la meme pour tous les produits:

```

```

PARAMETER epsilon ;
epsilon = -.5;
A(i) = Pequil(i)/(Dequil(i)*epsilon) ;
B(i) = Pequil(i)*(1 - 1/epsilon) ;

```

```

Y('sorgho') = 570;
Y('mil  ') = 570;
Y('niebe') = 1300;

```

```

* Maintenant la superficie totale est pour le secteur entier:

```

```

S = 2091695;
c('sorgho') = 1500;
c('mil  ') = 1500;
c('niebe') = 1500;

```

```

* Finalement on peut creer le modele6 et lancer sa solution.
* Notez que maintenant l'objectif est une fonction non-lineaire
* des variables endogenes. En consequence la solution ne peut plus
* etre calculee par l'algorithmme de la programmation lineaire.
* Il faut preciser que GAMS doit trouver la solution avec
* son algorithmme de programmation nonlineair (NLP)

```

```

model modele6 /objectif,terres, calcoffre, equilibre/ ;
SOLVE modele6 maximizing BES using NLP;

```

```

* Modele no. 7 du manuel sur
* ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
* William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
* 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
* ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
* masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu
*
* Ce modele introduit une distinction entre regions
* avec l'addition de la region cotonniere plus Bamako.
*
* On introduit le mot-clef ALIAS pour creer deux ensembles
* qui ont les memes elements, ce qui nous permettra d'avoir
* des variables definis sur deux regions -- par exemple on aura
* le transport d'une region a une autre, donc d'un element de
* l'ensemble (r) a un element de l'ensemble (q).
*
* Dans l'objectif il nous faudra prendre compte du
* total des couts de transport avec un nouveau
* variable, TR(i,r).

SET i /sorgho, mil , niebe, coton, mais/ ;
SET r /cereal, coton, bamako/;
ALIAS (r, q);
PARAMETERS A(i,r), B(i,r);
POSITIVE VARIABLES D(i,r), TC(i,r),TR(i,r);
VARIABLE BES ;
EQUATION objectif ;
objectif .. BES =E= sum(i,
    sum(r,A(i,r)*D(i,r)*D(i,r)/2 + B(i,r)*D(i,r) - TC(i,r) -
    TR(i,r))) ;

* La superficie emblavee dans chaque produit est defini par region,
* et chaque region a sa propre contrainte des terres disponibles.

POSITIVE VARIABLE X(i,r);
EQUATION terres(r);
PARAMETER S(r);
terres(r) .. SUM( i, X(i,r) ) =L= S(r);

* Chaque region doit trouver l'equilibre dans son propre marche
* tel que sa consommation est egale a son offre plus ce qui est
* transporte de ou vers les autres regions.

EQUATION equilibre(i,r);
POSITIVE VARIABLE O(i,r) ;
VARIABLE T(i,q,r);
equilibre(i,r) .. D(i,r) =L= O(i,r) + SUM(q, T(i,q,r)) ;

* Les equations pour calculer les couts et l'offre doivent
* aussi prendre compte des regions

EQUATIONS calcoffre(i,r), calccouts(i,r) ;
PARAMETER Y(i,r), c(i) ;
calcoffre(i,r) .. -Y(i,r)*X(i,r) +O(i,r) =E= 0;
calccouts(i,r) .. - c(i)*X(i,r) +TC(i,r) =E= 0;

* Nous avons maintenant un autre type de cout
* a calculer; c'est le cout du transport, TR(i,r), pour lequel

```

```

* il nous faudra le cout unitaire de transport, h(i,q,r)
* du produit (i) de la region (q) a la region (r).

EQUATION calctransp(i,r);
PARAMETER h(i,q,r);
POSITIVE VARIABLE TR(i,r);
calctransp(i,r) .. -SUM(q, h(i,q,r)*T(i,q,r)) + TR(i,r)=E= 0;

* Et nous avons aussi un autre type d'equilibre, c'est
* l'equilibre dans le transport qui assure que les regions
* sont d'accord sur leurs echanges, c'est a dire que ce
* que la region (r) importe de la region (q) est bien
* ce que (q) exporte vers (r).

EQUATION equiltrans(i,q,r);
equiltrans(i,q,r) .. T(i,q,r) + T(i,r,q) =E= 0;

* Pour simplifier l'entree des donnees sur la demande on
* on veut avoir deux types de population dans chaque
* region, en creant un nouvel ensemble pour les deux
* types de personnes, rurale et urbaines, qui vivent
* dans chaque region. La region cerealiere est
* kayes, segou, mopti, tombouctou, gao. La region
* cotonniere est sikasso et koulikoro. Bamako est sa
* propre region, qui consomme sans produire.

PARAMETER Dequil(i,r), Pequil(i,r);
PARAMETER subsist;
subsist = 180;
SET type /rurale, urbane/;
PARAMETER popcereal(type), popcoton(type), popbamako;
popcereal('rurale') = 4192000;
popcereal('urbane') = 999000;
popcoton('rurale') = 2508000;
popcoton('urbane') = 551000;
popbamako = 941000;

Dequil('sorgho','cereal') =
.45*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('sorgho','coton') =
.45*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('sorgho','bamako') = .25*subsist*popbamako;

Dequil('mil ','cereal') =
.45*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('mil ','coton') =
.45*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('mil ','bamako') = .25*subsist*popbamako;

Dequil('niebe','cereal') = 50*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('niebe','coton') = 50*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('niebe','bamako') = 50*popbamako;

Dequil('mais','cereal') =
.1*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('mais','coton') =
.1*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('mais','bamako') = .1*subsist*popbamako;

```

```

Dequil('coton','cereal') = 1;
Dequil('coton','bamako') = 1;
Dequil('coton','coton') = 452046000;

Pequil('sorgho',r) = 99;
Pequil('mil',r) = 97;
Pequil('niebe',r) = 171;
Pequil('coton',r) = 155;
Pequil('mais',r) = 83;

PARAMETER epsilon(i,r) ;
epsilon('sorgho',r) = -.5;
epsilon('mil',r) = -.5;
epsilon('niebe',r) = -.5;
epsilon('mais',r) = -.5;
epsilon('coton','cereal') = -.1;
epsilon('coton','bamako') = -.1;
epsilon('coton','coton') = -10000000;

A(i,r) = Pequil(i,r)/(Dequil(i,r)*epsilon(i,r)) ;
B(i,r) = Pequil(i,r)*(1 - 1/epsilon(i,r)) ;

Y('sorgho','cereal') = 570;
Y('sorgho','coton') = 698;
Y('mil','cereal') = 570;
Y('mil','coton') = 680;
Y('niebe','cereal') = 1300;
Y('coton','coton') = 1200;
Y('mais','coton') = 2500;

S('cereal') = 901906 ;
S('coton') = 1189789 ;

* le sorgho et le mil sont produits sans intrants achetes
* niebe utilise 100 kg/ha de comp cereal
* coton utilise 100 kg/ha de comp coton et 50 kg/ha de uree
* mais utilise 100 kg/ha de comp cereal et 150 kg/ha de uree

c('sorgho') = 1500;
c('mil') = 1500;
c('niebe') = 1500;
c('coton') = 32000;
c('mais') = 51500;

* pour l'instant on met le cout du transport a zero, en
* attendant de le modifier dans notre exercice.

h(i,q,r) = 0;

* finalement on peut creer le modele et lancer sa solution
MODEL modele7 /objectif,terres, equilibrium, calcoffre, calccouts,
calctransp, equiltrans/ ;
SOLVE modele7 maximizing BES using NLP;

```

```

* Modele no. 8 du manuel sur
* ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
* William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
* 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
* ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
* masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu
*
* Ce modele introduit les deux technologies dans le contexte regional.

```

```

SET i /sorgho, mil , niebe, coton, mais/ ;
SET r/cereal,coton,bamako/;
ALIAS(r,q);
PARAMETERS A(i,r), B(i,r);
POSITIVE VARIABLES D(i,r), TC(i,r),TR(i,r);
VARIABLE BES ;
EQUATION objectif ;
objectif .. BES =E= sum(i,
    sum(r,A(i,r)*D(i,r)*D(i,r)/2 + B(i,r)*D(i,r) - TC(i,r) - TR(i,r)))
;

```

```

* Pour la contrainte des terres il nous faut introduire l'ensemble
* des deux technologies - traditionnelle et ameliore
SET j /trad, ameliore/;
POSITIVE VARIABLE X(i,j,r);
EQUATION terres(r);
PARAMETER S(r);
terres(r) .. SUM( i, sum(j, X(i,j,r)) ) =L= S(r);

```

```

EQUATION equilibre(i,r);
POSITIVE VARIABLE O(i,r) ;
VARIABLE T(i,q,r);
equilibre(i,r) .. D(i,r) =L= O(i,r) + SUM(q, T(i,q,r)) ;

```

```

EQUATIONS calcoffre(i,r), calccouts(i,r) ;
PARAMETER Y(i,j,r), c(i,j) ;
calcoffre(i,r) .. SUM(j, -Y(i,j,r)*X(i,j,r) +O(i,r)) =E= 0;
calccouts(i,r) .. SUM(j,-c(i,j)*X(i,j,r) +TC(i,r)) =E= 0;

```

```

EQUATION calctransp(i,r);
PARAMETER h(i,q,r);
POSITIVE VARIABLE TR(i,r);
calctransp(i,r) .. -SUM(q, h(i,q,r)*T(i,q,r)) + TR(i,r)=E= 0;

```

```

EQUATION equiltrans(i,q,r);
equiltrans(i,q,r) .. T(i,q,r) + T(i,r,q) =E= 0;

```

```

PARAMETER Dequil(i,r), Pequil(i,r);
PARAMETER subsist;
subsist = 180;
SET type /rurale, urbane/;
PARAMETER popcereal(type), popcoton(type), popbamako;
popcereal('rurale') = 4192000;
popcereal('urbane') = 999000;
popcoton('rurale') = 2508000;
popcoton('urbane') = 551000;
popbamako = 941000;
Dequil('sorgho','cereal') =
.45*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));

```

```

Dequil('sorgho','coton') =
.45*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('sorgho','bamako') = .25*subsist*popbamako;
Dequil('mil','cereal') =
.45*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('mil','coton') =
.45*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('mil','bamako') = .25*subsist*popbamako;
Dequil('niebe','cereal') = 50*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('niebe','coton') = 50*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('niebe','bamako') = 50*popbamako;
Dequil('mais','cereal') =
.1*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('mais','coton') =
.1*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('mais','bamako') = .1*subsist*popbamako;
Dequil('coton','cereal') = 1;
Dequil('coton','bamako') = 1;
Dequil('coton','coton') = 452046000;
Pequil('sorgho',r) = 99;
Pequil('mil',r) = 97;
Pequil('niebe',r) = 171;
Pequil('coton',r) = 155;
Pequil('mais',r) = 83;

```

* Dans ce cas on veut permettre differentes elasticites de la demande,
* car l'elasticite pour le coton dans la zone cotonniere est tres grande.

```

PARAMETER epsilon(i,r) ;
epsilon('sorgho',r) = -.5;
epsilon('mil',r) = -.5;
epsilon('niebe',r) = -.5;
epsilon('mais',r) = -.5;
epsilon('coton','cereal') = -.1;
epsilon('coton','bamako') = -.1;
epsilon('coton','coton') = -10000000;
A(i,r) = Pequil(i,r)/(Dequil(i,r)*epsilon(i,r)) ;
B(i,r) = Pequil(i,r)*(1 - 1/epsilon(i,r)) ;
Y('sorgho','trad','cereal') = 570;
Y('sorgho','ameliore','cereal') = 1430;
Y('sorgho','trad','coton') = 1100;
Y('sorgho','ameliore','coton') = 1600;
Y('mil','trad','cereal') = 570;
Y('mil','ameliore','cereal') = 1100;
Y('mil','trad','coton') = 900;
Y('mil','ameliore','coton') = 1200;
Y('niebe','trad','cereal') = 1300;
Y('niebe','ameliore','cereal') = 1430;
Y('coton','trad','coton') = 1200;
Y('coton','ameliore','coton') = 2436;
Y('mais','trad','coton') = 2500;
Y('mais','ameliore','coton') = 3000;
S('cereal') = 901906 ;
S('coton') = 1189789 ;

```

TABLE C(i,j)

	trad	ameliore
sorgho	1500	22250
mil	1500	22250
niebe	1500	23000
coton	32000	52200

```

mais          51500    55500 ;

H(i,q,r) = 0;
MODEL modele8 /objectif, terres, equilibre,
               calcoffre, calccouts, calctransp, equiltrans/ ;
SOLVE modele8 maximizing BES using NLP;
* Modele no. 9 du manuel sur
* ADOPTION ET L"IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
* William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
* 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
* ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
* masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu

* Ce modele introduit les conditions agroclimatiques,
* que l'on nomme etat-de-la-nature et on indique avec
* l'indice (k). Dans ce cadre, l'objectif est le bien-etre
* social espere (EBES)

SET i /sorgho, mil , niebe, coton, mais/ ;
SET r /cereal, coton, bamako/;
SET k /seche, moyenne, bonne/ ;
ALIAS(r,q);
PARAMETERS A(i,r), B(i,r);
POSITIVE VARIABLES D(i,r,k), TC(i,r), TR(i,r,k);
VARIABLE EBES ;
EQUATION objectif ;
PARAMETER prob(k);
objectif .. EBES =E= sum(k,prob(k)*
    sum((i,r),A(i,r)*D(i,r,k)*D(i,r,k)/2 + B(i,r)*D(i,r,k) -
    TC(i,r) - TR(i,r,k) )) ;

SET j /trad, ameliore/;
POSITIVE VARIABLE X(i,j,r);
EQUATION terres(r);
PARAMETER S(r);
terres(r) .. SUM(i, SUM(j, X(i,j,r)) ) =L= S(r);

EQUATION equilibre(i,r,k) ;
POSITIVE VARIABLE O(i,r,k) ;
VARIABLE T(i,q,r,k) ;
equilibre(i,r,k) .. D(i,r,k) =L= O(i,r,k) + SUM(q, T(i,q,r,k)) ;

EQUATIONS calcoffre(i,r,k), calccouts(i,r) ;

TABLE Y(i,j,r,k)
               seche  moyenne  bonne
sorgho.trad.cereal    470    570    620
sorgho.ameliore.cereal  870   1430   1460
sorgho.trad.coton     570    698    830
sorgho.ameliore.coton 1050   1261   1500
mil.trad.cereal       450    570    670
mil.ameliore.cereal   870   1100   1200
mil.trad.coton        540    680    685
mil.ameliore.coton    803   1171   1286
niebe.trad.cereal     830   1300   1420
niebe.ameliore.cereal 1090   1430   1521
coton.trad.coton      850   1200   1500
coton.ameliore.coton  1242  2436  2959

```

```
mais.trad.coton      2000    2500    3080
mais.ameliore.coton  2450    3000    3400 ;
```

```
PARAMETER c(i,j) ;
calcoffre(i,r,k) .. -SUM(j, Y(i,j,r,k)*X(i,j,r)) +O(i,r,k) =E= 0;
calccouts(i,r) .. -SUM(j, c(i,j)*X(i,j,r)) +TC(i,r) =E= 0;
```

```

EQUATION calctransp(i,r,k);
PARAMETER h(i,q,r);
calctransp(i,r,k) .. -SUM(q, h(i,q,r)*T(i,q,r,k)) + TR(i,r,k)=E= 0;

EQUATION equiltrans(i,q,r,k);
equiltrans(i,q,r,k) .. T(i,q,r,k) + T(i,r,q,k) =E= 0;

PARAMETER Dequil(i,r), Pequil(i,r);
PARAMETER subsist;
subsist = 180;
SET type /rurale, urbane/;
PARAMETER popcereal(type), popcoton(type), popbamako;
popcereal('rurale') = 4192000;
popcereal('urbane') = 999000;
popcoton('rurale') = 2508000;
popcoton('urbane') = 551000;
popbamako = 941000;

Dequil('sorgho','cereal') =
.45*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('sorgho','coton') =
.45*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('sorgho','bamako') = .25*subsist*popbamako;

Dequil('mil ','cereal') =
.45*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('mil ','coton') =
.45*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('mil ','bamako') = .25*subsist*popbamako;

Dequil('niebe','cereal') = 50*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('niebe','coton') = 50*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('niebe','bamako') = 50*popbamako;

Dequil('mais','cereal') =
.1*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('mais','coton') =
.1*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('mais','bamako') = .1*subsist*popbamako;

Dequil('coton','cereal') = 1;
Dequil('coton','bamako') = 1;
Dequil('coton','coton') = 452046000;

Pequil('sorgho',r) = 99;
Pequil('mil ',r) = 97;
Pequil('niebe',r) = 171;
Pequil('coton',r) = 155;
Pequil('mais',r) = 83;

PARAMETER epsilon(i,r) ;
epsilon('sorgho',r) = -.5;
epsilon('mil ',r) = -.5;
epsilon('niebe',r) = -.5;
epsilon('mais',r) = -.5;
epsilon('coton','cereal') = -.1;
epsilon('coton','bamako') = -.1;
epsilon('coton','coton') = -10000000;

```

```
A(i,r) = Pequil(i,r)/(Dequil(i,r)*epsilon(i,r)) ;
B(i,r) = Pequil(i,r)*(1 - 1/epsilon(i,r)) ;

H(i,q,r) = 0;

S('cereal') = 901906 ;
S('coton') = 1189789 ;

TABLE C(i,j)
      trad      ameliore
sorgho      1500      22250
mil          1500      22250
niebe       1500      23000
coton       32000     52200
mais        51500     55500 ;

prob("seche") = .3;
prob("moyenne") = .45;
prob("bonne") = .25;

MODEL modele9 /objectif, terres, equilibre,
               calcoffre, calccouts, calctransp, equiltrans/ ;
SOLVE modele9 maximizing EBES using NLP;
```

* Modele no.10 du manuel sur
 * ADOPTION ET L'IMPACT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES
 * William Masters et Jeffrey Vitale (Purdue Univ.), nov. 1998
 * 1145 Krannert Bldg., West Lafayette IN 47907
 * ph. 1 765 494 4235, fax 1 765 494 9176
 * masters@agecon.purdue.edu; vitale@agecon.purdue.edu

* Ce modele impose des limites sur l'utilisation des engrais
 * au niveau national, et sur l'utilisation de la main d'oeuvre
 * dans chaque region, dans le contexte de l'adoption des
 * nouvelles technologies.

```

SET i /sorgho, mil , niebe, coton, mais/ ;
SET r /cereal, coton, bamako/;
SET k /seche, moyenne, bonne/ ;
ALIAS (r,q);
PARAMETERS A(i,r), B(i,r);
POSITIVE VARIABLES D(i,r,k), TC(i,r), TR(i,r,k);
VARIABLE EBES, SW(k) ;
EQUATION objectif ;
PARAMETER prob(k);
objectif .. EBES =E= sum(k,prob(k)*
    sum((i,r),A(i,r)*D(i,r,k)*D(i,r,k)/2 + B(i,r)*D(i,r,k) -
    TC(i,r) - TR(i,r,k) )) ;

SET j /trad, ameliore/;
POSITIVE VARIABLE X(i,j,r);
EQUATION terres(r);
PARAMETER S(r);
terres(r) .. SUM(i, SUM(j, X(i,j,r)) ) =L= S(r);

EQUATION equilibre(i,r,k) ;
POSITIVE VARIABLE O(i,r,k) ;
VARIABLE T(i,q,r,k) ;
equilibre(i,r,k) .. D(i,r,k) =L= O(i,r,k) + SUM(q, T(i,q,r,k)) ;

EQUATIONS calcoffre(i,r,k), calccouts(i,r) ;
TABLE Y(i,j,r,k)
                seche  moyenne  bonne
sorgho.trad.cereal      470    570    620
sorgho.ameliore.cereal  870   1430   1460
sorgho.trad.coton       570    698    830
sorgho.ameliore.coton  1050  1261   1500
mil.trad.cereal         450    570    670
mil.ameliore.cereal     870   1100   1200
mil.trad.coton          540    680    685
mil.ameliore.coton     803   1171   1286
niebe.trad.cereal       830   1300   1420
niebe.ameliore.cereal  1090  1430   1521

coton.trad.coton        850   1200   1500
coton.ameliore.coton   1242  2436  2959
mais.trad.coton         2000  2500  3080
mais.ameliore.coton    2450  3000  3400 ;

PARAMETER c(i,j) ;
calcoffre(i,r,k) .. -SUM(j, Y(i,j,r,k)*X(i,j,r)) +O(i,r,k) =E= 0;

```

```
calccouts(i,r) .. -SUM(j, c(i,j)*X(i,j,r)) +TC(i,r) =E= 0;
```

```

EQUATION calctransp(i,r,k);
PARAMETER h(i,q,r);
calctransp(i,r,k) .. -SUM(q, h(i,q,r)*T(i,q,r,k)) + TR(i,r,k)=E= 0;

EQUATION equiltrans(i,q,r,k);
equiltrans(i,q,r,k) .. T(i,q,r,k) + T(i,r,q,k) =E= 0;

EQUATION labor(r);
PARAMETERS DMO(i,j), OMO(r);
labor(r) .. SUM(i, SUM(j,DMO(i,j)*X(i,j,r))) =L= OMO(r) ;

EQUATION engrais;
PARAMETER utilisengr(i,j), totengrais;
engrais .. SUM((i,j,r), utilisengr(i,j)*X(i,j,r)) =L= totengrais;

PARAMETER Dequil(i,r), Pequil(i,r);
PARAMETER subsist;
subsist = 180;
SET type /rurale, urbane/;
PARAMETER popcereal(type), popcoton(type), popbamako;
popcereal('rurale') = 4192000;
popcereal('urbane') = 999000;
popcoton('rurale') = 2508000;
popcoton('urbane') = 551000;
popbamako = 941000;

Dequil('sorgho','cereal') =
.45*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('sorgho','coton') =
.45*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('sorgho','bamako') = .25*subsist*popbamako;
Dequil('mil ','cereal') =
.45*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('mil ','coton') =
.45*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('mil ','bamako') = .25*subsist*popbamako;
Dequil('niebe','cereal') = 50*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('niebe','coton') = 50*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('niebe','bamako') = 50*popbamako;
Dequil('mais','cereal') =
.1*subsist*(popcereal('rurale')+popcereal('urbane'));
Dequil('mais','coton') =
.1*subsist*(popcoton('rurale')+popcoton('urbane'));
Dequil('mais','bamako') = .1*subsist*popbamako;
Dequil('coton','cereal') = 1;
Dequil('coton','bamako') = 1;
Dequil('coton','coton') = 452046000;

Pequil('sorgho',r) = 99;
Pequil('mil ',r) = 97;
Pequil('niebe',r) = 171;
Pequil('coton',r) = 155;
Pequil('mais',r) = 83;

```

```

PARAMETER epsilon(i,r) ;
epsilon('sorgho',r) = -.5;
epsilon('mil   ',r) = -.5;
epsilon('niebe',r) = -.5;
epsilon('mais',r) = -.5;
epsilon('coton','cereal') = -.1;
epsilon('coton','bamako') = -.1;
epsilon('coton','coton') = -10000000;

A(i,r) = Pequil(i,r)/(Dequil(i,r)*epsilon(i,r)) ;
B(i,r) = Pequil(i,r)*(1 - 1/epsilon(i,r)) ;

H(i,q,r) = 0;

S('cereal') = 901906;
S('coton') = 1189789;

TABLE C(i,j)
sorgho      trad      ameliore
mil         1500      22250
niebe       1500      23000
coton       32000     52200
mais        51500     55500 ;

DMO('sorgho','trad') = 208;
DMO('sorgho','ameliore') = 227;
DMO('mil   ','trad') = 208;
DMO('mil   ','ameliore') = 227;
DMO('niebe','trad') = 379;
DMO('niebe','ameliore') = 440;

OMO('cereal') = (popcereal('rurale')+popcereal('urbane'))*9547/(4+3+4) ;
OMO('coton') = (popcoton('rurale')+popcoton('urbane'))*9547/(4+3+4) ;

utilisengr('sorgho','trad') = 0;
utilisengr('sorgho','ameliore') = 100;
utilisengr('mil   ','trad') = 0;
utilisengr('mil   ','ameliore') = 100;
utilisengr('niebe','trad') = 100;
utilisengr('niebe','ameliore') = 100;
utilisengr('coton','trad') = 150;
utilisengr('coton','ameliore') = 250;
utilisengr('mais','trad') = 150;
utilisengr('mais','ameliore') = 150;

totengrais = 1500000;

prob('seche') = .3 ;
prob('moyenne') = .45 ;
prob('bonne')=.25 ;

MODEL modele10 /objectif, terres, equilibre,
                calcoffre, calccouts, calctransp, equiltrans, labor, engrais/
;
SOLVE modele10 maximizing EBES using NLP;

```