

**AGRODEP Technical Note 14**

**January 2016**

**UN MODELE D'EQUILIBRE SPATIAL POUR AGRODEP**

**Antoine Bouët  
Jeanne Metivier**

AGRODEP Technical Notes are designed to document state-of-the-art tools and methods. They are circulated in order to help AGRODEP members address technical issues in their use of models and data. The Technical Notes have been reviewed but have not been subject to a formal external peer review via IFPRI's Publications Review Committee; any opinions expressed are those of the author(s) and do not necessarily reflect the opinions of AGRODEP or of IFPRI.

## Table des matières

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Table des figures .....</b>                                      | <b>3</b>  |
| <b>Liste des tableaux.....</b>                                      | <b>4</b>  |
| <b>1. Introduction .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2. Structure du modèle .....</b>                                 | <b>7</b>  |
| 1.2 <i>Modèle:.....</i>   | 7         |
| 1.3 <i>Calibration:.....</i>  | 7         |
| 2.3 <i>Ensembles.....</i>   | 8         |
| 2.4 <i>Paramètres et variables .....</i>                            | 8         |
| 2.5 <i>Equations: .....</i>   | 9         |
| <b>3. Structure du modèle sous GAMS: .....</b>                      | <b>12</b> |
| 3.1 <i>Modèle (GAMS).....</i>                                       | 12        |
| 3.2 <i>Calibration - Etape 1 (GAMS).....</i>                        | 13        |
| 3.3 <i>Calibration – Etape 2 (GAMS) .....</i>                       | 14        |
| <b>4. Structure des données .....</b>                               | <b>15</b> |
| <b>5. Fonctionnement du modèle.....</b>                             | <b>18</b> |
| <b>6. Résultats .....</b>   | <b>20</b> |
| 6.1 <i>Scénario A .....</i>   | 20        |
| 6.2 <i>Scénario B.....</i>  | 27        |
| <b>7. Mise à jour du modèle à partir de nouvelles données .....</b> | <b>32</b> |
| 7.1 <i>Appliquer le modèle à des équivalents tarifaires .....</i>   | 32        |
| 7.2 <i>Appliquer le modèle à une autre base de données .....</i>    | 33        |
| <b>8. Limites du modèle spatial .....</b>                           | <b>34</b> |
| <b>Références.....</b>  | <b>35</b> |

## Table des figures

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 1 Structure du modèle .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>Figure 2 Fichiers GAMS .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>Figure 3 Fichier “Calibration 1.gms” .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>Figure 4 Fichier “Calibration 2.gms” .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>Figure 5 Fichier “Scenario A.gms” .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>Figure 6 Variations des flux commerciaux: Modèle de base-Scénario A.....</b>                      | <b>23</b> |
| <b>Figure 7 Fichier “Scenario B.gms”.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>Figure 8 Variations des flux commerciaux: Modèle de base-Scénario B.....</b>                      | <b>29</b> |
| <b>Figure 9 Droits de douanes ad valorem versus droits de douane spécifiques- Calibration 1.....</b> | <b>33</b> |
| <b>Figure 10 Exemple de téléchargement d’une nouvelle matrice des flux commerciaux .....</b>         | <b>33</b> |

## Liste des tableaux

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tableau 1 Paramètres.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>Tableau 2 Variables .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>Tableau 3 Equations du modèle sous GAMS .....</b>                                    | <b>13</b> |
| <b>Tableau 4 Variables du modèle sous GAMS .....</b>                                    | <b>13</b> |
| <b>Tableau 5 Paramètres du modèle sous GAMS .....</b>                                   | <b>13</b> |
| <b>Tableau 6 Equations Calibration 1 sous GAMS .....</b>                                | <b>13</b> |
| <b>Tableau 7 Variables Calibration 1 sous GAMS .....</b>                                | <b>14</b> |
| <b>Tableau 8 Paramètres Calibration 1 sous GAMS.....</b>                                | <b>14</b> |
| <b>Tableau 9 Equations Calibration 2 sous GAMS .....</b>                                | <b>14</b> |
| <b>Tableau 10 Calibration 2 sous GAMS.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>Tableau 11 Paramètres Calibration 2 sous GAMS.....</b>                               | <b>15</b> |
| <b>Tableau 12 Pays utilisés pour la base de données du modèle.....</b>                  | <b>15</b> |
| <b>Tableau 13 Matrice de flux commerciaux (en tonnes).....</b>                          | <b>15</b> |
| <b>Tableau 14 Matrice des coûts de transports (USD/tonne).....</b>                      | <b>16</b> |
| <b>Tableau 15 Matrice des droits de douane ad valorem .....</b>                         | <b>16</b> |
| <b>Tableau 16 Matrice des droits de douane spécifiques.....</b>                         | <b>16</b> |
| <b>Tableau 17 Sources des données .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>Tableau 18 Matrice des flux commerciaux – Modèle de base.....</b>                    | <b>21</b> |
| <b>Tableau 19 Matrice des flux commerciaux – Scénario A .....</b>                       | <b>21</b> |
| <b>Tableau 20 Variation des flux commerciaux: Modèle de base – Scénario A.....</b>      | <b>22</b> |
| <b>Tableau 21 Variables de marché – Modèle de base .....</b>                            | <b>24</b> |
| <b>Tableau 22 Variables de marché – Scénario A.....</b>                                 | <b>24</b> |
| <b>Tableau 23 Variation des variables de marché: Modèle de base-Scénario A.....</b>     | <b>24</b> |
| <b>Tableau 24 Variables de bien-être – Modèle de base.....</b>                          | <b>25</b> |
| <b>Tableau 25 Variables de bien-être – Scénario A .....</b>                             | <b>25</b> |
| <b>Tableau 26 Variation des variables de bien-être: Modèle de base-Scénario A .....</b> | <b>25</b> |
| <b>Tableau 27 Matrice des flux commerciaux – Scénario B .....</b>                       | <b>28</b> |
| <b>Tableau 28 Variation des flux commerciaux: Modèle de base – Scénario B .....</b>     | <b>28</b> |
| <b>Tableau 29 Variables de marché – Scénario B.....</b>                                 | <b>30</b> |
| <b>Tableau 30 Variation des variables de marché: Modèle de base-Scénario B .....</b>    | <b>30</b> |
| <b>Tableau 31 Variables de bien-être – Scénario B .....</b>                             | <b>30</b> |
| <b>Tableau 32 Variation des variables de bien-être: Baseline-Scénario B .....</b>       | <b>31</b> |

## 1. Introduction

Depuis 2014 et la déclaration de Malabo, l'Afrique s'est engagée dans un important programme de libéralisation commerciale dont l'objectif est un triplement du commerce intra-africain de produits agricoles au service de la lutte contre la famine et la pauvreté. A ce titre il est important que la communauté des économistes africains bénéficient d'outils efficaces et transparents leur permettant d'évaluer les effets d'une réforme des politiques commerciales, d'une simplification administrative ou réglementaire, d'un allègement des coûts de transports, ... sur les consommateurs, les producteurs, et les gouvernements (via les recettes publiques).

L'objectif de cette note technique est de présenter un modèle d'équilibre spatial (MES) mis à la disposition des membres d'AGRODEP. Il s'agit d'un outil pédagogique développé à partir de données simplifiées afin d'expliquer le design d'un modèle d'équilibre spatial. Les divers usages du modèle, notamment en termes d'analyse de politiques commerciales et de variation des coûts de transport, sont exemplifiés dans ce document au moyen de deux scénarios distincts. Un soin tout particulier a en outre été apporté au processus de calibrage des données initiales du modèle : production et consommation, prix, flux de commerce, coûts de transport.

Un modèle d'équilibre spatial est un modèle d'équilibre partiel multirégional qui met en relation des producteurs et des consommateurs de localisations géographiques différentes. Ce type de modèle permet d'examiner les conséquences économiques et commerciales de diverses politiques commerciales en déterminant leurs effets sur des variables commerciales, de marché et de bien-être, par exemple l'offre et la demande, les prix à la consommation et à la production, le volume et la direction des échanges, le surplus des consommateurs ainsi que celui des producteurs, enfin une mesure du bien-être global.

Un modèle d'équilibre spatial inclut différents coûts à l'échange, à la fois des coûts de transports pouvant varier suite à l'implémentation d'une amélioration des infrastructures, et des droits de douane, spécifiques et /ou ad valorem. Le modèle proposé ici est simple et constitue une base sur laquelle on pourra introduire des représentations plus complexes des coûts à l'échange : quotas, prix minimum, ...

Les principaux avantages d'un modèle d'équilibre spatial sont les suivants : d'abord il permet d'évaluer finement les détournements et créations de commerce affectant des partenaires commerciaux. Ensuite le modèle d'équilibre spatial autorise la création et la destruction de flux commerciaux à la suite d'un choc, ce que beaucoup de modèles n'autorisent pas. Ensuite il permet de saisir dans le détail les coûts à l'échange et leurs effets.

Cependant, le modèle d'équilibre spatial nécessite une représentation précise de l'espace et l'obtention de données désagrégées sur les coûts de transports. Dans la version présentée ici il ne peut être utilisé que pour l'étude de flux commerciaux de produits homogènes. L'utilisateur devra donc adapter ce modèle pour étudier des flux commerciaux de produits différenciés.

Dans cette note technique, nous présentons un modèle d'équilibre spatial appliqué au commerce de maïs entre cinq pays Africains.<sup>1</sup> Deux scénarios sont présentés. Le Scénario A représentant une annulation des droits de douane entre les pays, provenant de la mise en place d'une réforme visant à libéraliser le commerce. Dans le Scénario B, les coûts de transports sur les exportations d'un pays vers tous ses partenaires commerciaux augmentent. Nous étudions ainsi les effets d'un choc négatif sur le commerce entre les pays et sur l'économie de la région.

L'utilisation de ce modèle se base sur des données de commerce, de coûts de transports, de prix, de production et de consommation, mais aussi sur l'obtention de paramètres comportementaux (élasticités d'offre et de demande en particulier). Ces données proviennent de différentes sources, elles peuvent intégrer des erreurs de mesure ou traduire imparfaitement les variables économiques sous-jacentes : par exemple il est difficile d'obtenir des coûts de transport pour tous les flux en cause. Ou encore une partie des exportations et des importations entre deux pays peuvent se faire de manière informelle ou être mal enregistrée en douane... Toutes ces données doivent donc être calibrées pour ajuster parfaitement le modèle initial (c'est-à-dire avant choc).

Il existe différentes procédures de calibrage de ces données. Bouët et al. (2013) utilisent une technique d'entropie croisée. Le modèle présenté dans ce document se base sur un problème de programmation à deux niveaux, ou « bi-level programming problem » (BLPP). Cette méthode, défini pour la première fois par Jansson et Heckelei (2009), a ensuite été appliquée dans l'étude empirique de Mosnier (2014), et est décrite plus en détail dans la section 2.2 de ce document.

Les données utilisées dans cette note technique n'étant qu'à caractère pédagogique, il est important de noter que les résultats obtenus à partir de ce modèle ne doivent pas être pris en compte dans une quelconque interprétation politique.

Le document est organisé de la manière suivante. La seconde section présente une illustration de la configuration du modèle. La troisième partie met en avant la structure du modèle sous GAMS. La quatrième section expose les données utilisées, et la cinquième section dispense des informations afin de faire tourner le modèle. La sixième section présente deux scénarios potentiels de politiques commerciales, et la septième section indique la démarche à suivre afin d'appliquer le modèle sur de nouvelles bases de données. La huitième section conclut sur les limites des modèles d'équilibre spatial.

---

<sup>1</sup> Ce modèle est écrit à l'aide du solveur mathématique GAMS.

## 2. Structure du modèle

### 2.1 Modèle:

Nous considérons cinq marchés régionaux compétitifs indépendants (Kenya, Tanzanie, Ouganda, Zambie, et Zimbabwe) mais interconnectés qui échangent un produit unique homogène. Ces échanges sont bidirectionnels, c'est-à-dire qu'un pays peut à la fois importer et exporter un même produit.

Chaque économie est décentralisée : les décisions économiques (production, consommation, exportation, importation) sont prises de manière indépendante par les acteurs qui agissent au mieux de leurs intérêts. Les producteurs en chaque lieu tentent de vendre au meilleur prix, alors que les consommateurs cherchent à acheter à un prix minimal. Nous dérivons ainsi toutes les conditions d'optimalité sur la demande, l'offre, les prix producteurs, les prix consommateurs, et les flux commerciaux. Ces conditions sont détaillées dans la Section 2.5 A de ce document.

Nous faisons également l'hypothèse que les équations d'offre et de demande de chaque pays sont de formes linéaires.

### 2.2 Calibration:

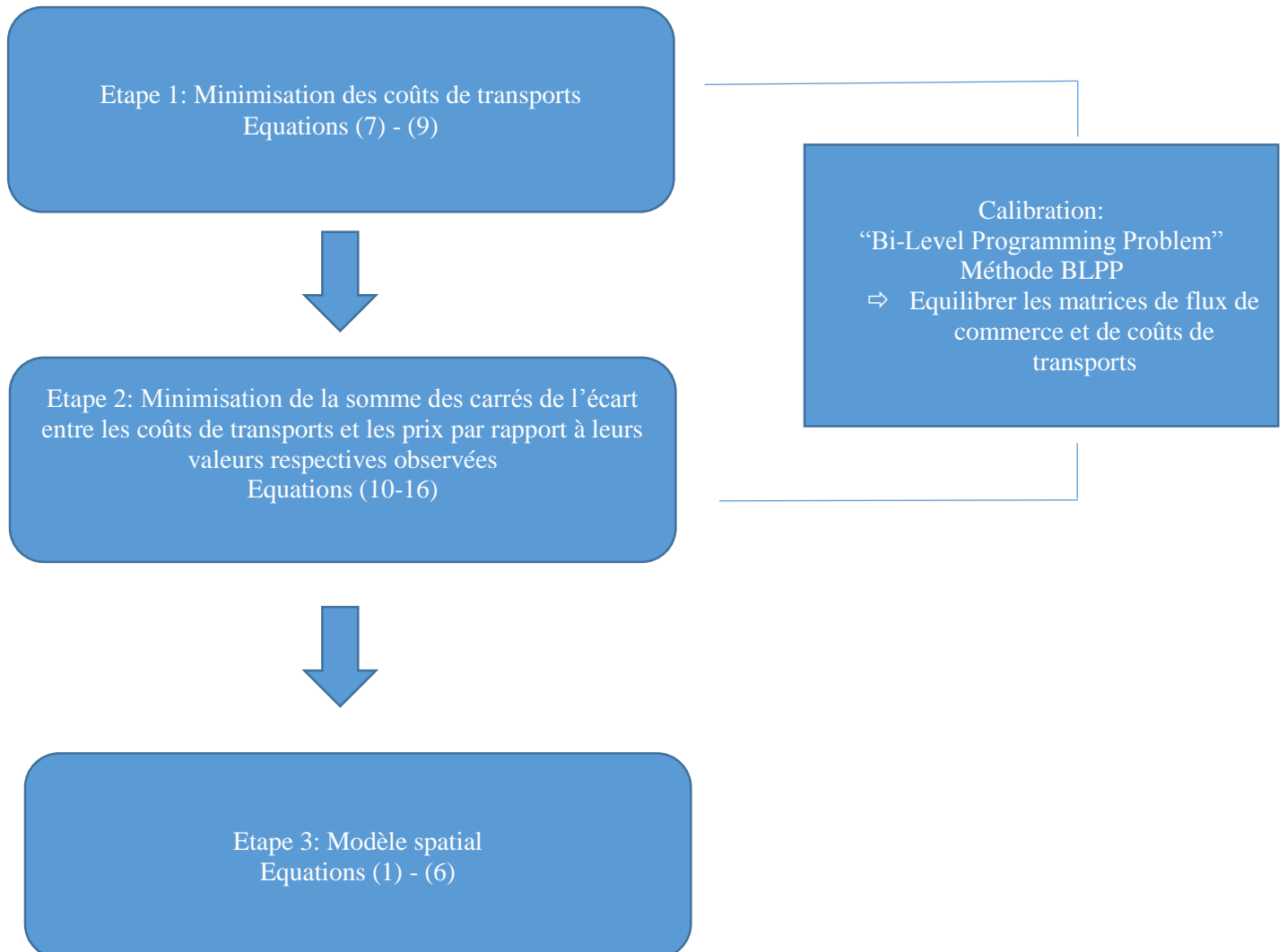
Nous procédons à une calibration des matrices de commerce et de coûts de transports, mais aussi des données de prix à la production et à la consommation à partir de la méthode BLPP (Jansson and Heckeley, 2009). L'objectif étant de déterminer les paramètres qui seront pris en compte dans le modèle d'optimisation décrit dans la section 2.1.

La calibration se fait en deux étapes. La première étape, correspondant au problème dit interne, consiste à minimiser la somme des coûts à l'échange en fonction des contraintes d'équilibre du marché. La seconde, qualifiée de problème externe, consiste à minimiser la somme des carrés des écarts entre les coûts de transports et les prix par rapport à leurs valeurs respectives observées (Mosnier, 2014).

Nous faisons trois hypothèses:

1. Modèle stochastique simple des prix et des coûts de transports, comprenant des erreurs de mesure cumulatives ( $p^{\text{obs}} = p^{\text{true}} + \varepsilon_p$  and  $c^{\text{obs}} = c^{\text{true}} + \varepsilon_c$ ).
2. Les erreurs sur les prix régionaux sont indépendantes, identiquement distribuées, et de variance  $\frac{1}{w_p}$ .
3. Les erreurs sur les coûts de transports sont indépendantes, identiquement distribuées, et de variance  $\frac{1}{w_c}$  (Jansson and Heckeley, 2009).

Figure 1 Structure du modèle



### 2.3 Ensembles

Régions ou pays

- i, pays exportateur
- j, pays importateur

### 2.4 Paramètres et variables

Le Tableau 1 liste les paramètres utilisés dans ce MES alors que le Tableau 2 présente les variables du modèle.



Tableau 1 Paramètres

| Paramètres | Description   |
|------------|---|
| $\alpha_i$ | Coefficient de demande – Ordonnée à l'origine de la fonction de demande       |
| $\beta_i$  | Coefficient de demande – Valeur absolue de la pente de la fonction de demande |
| $\gamma_i$ | Coefficient d'offre – Ordonnée à l'origine de la fonction d'offre             |
| $\delta_i$ | Coefficient d'offre – Valeur absolue de la pente de la fonction d'offre       |
| $avt_{ij}$ | Droits de douane ad valorem sur le flux de i à j                              |
| $sdt_{ij}$ | Droits de douane spécifiques sur le flux de i à j                             |
| $c_{ij}$   | Coûts de transports sur le flux de i à j                                      |
| $w_c$      | Pondération des coûts de transports   |
| $w_p$      | Pondération des prix  |
| $\mu$      | Paramètre pour la condition de complémentarité                                |
| $e_i$      | Excès de demande en i   |

Tableau 2 Variables

| Variables  | Description                                   |
|------------|---|
| $d_i$      | Quantité demandée dans le pays i              |
| $s_i$      | Quantité produite dans le pays i              |
| $x_{ij}$   | Flux commerciaux bilatéraux de i à j          |
| $xo_{ij}$  | Flux commerciaux bilatéraux observés de i à j |
| $tc$       | Coût total des échanges                       |
| $c_{ij}$   | Coûts de transports de i à j                  |
| $co_{ij}$  | Coûts de transports observés de i à j         |
| $p_i^D$    | Prix de demande en i                          |
| $p_i^S$    | Prix d'offre en i                             |
| $po_i^S$   | Prix d'offre observé en i                     |
| $p_j^D$    | Prix de demande en j                          |
| $p_j^S$    | Prix d'offre en j                             |
| $pd_i$     | Prix local de demande en i                    |
| $ps_i$     | Prix local d'offre en i                       |
| $\pi_{ij}$ | Résidu de l'équation de chaînage des prix     |
| $pen$      | Pénalité                                      |
| $z$        | Fonction objectif (sans la pénalité)          |
| $zz$       | Fonction objectif (avec la pénalité)          |

## 2.5 Equations:

### A. Modèle:

Toutes les équations contenant des droits de douane sont écrites sous deux formes : l'une utilisant les droits de douane ad valorem ( $avt_{ij}$ ), et l'autre utilisant les droits de douane spécifiques ( $sdt_{ij}$ ), afin que les utilisateurs du modèle aient plus de flexibilité quant aux données concernant les droits de douane. Les équations comprenant des droits de douane ad valorem ( $avt_{ij}$ ) sont toujours présentées dans le modèle avant les équations comprenant des droits de douane spécifiques ( $sdt_{ij}$ ).

### Conditions d'optimalité:

La quantité totale exportée doit être inférieure ou égale à la quantité totale produite dans chaque région.

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} \leq s_i \quad \forall i \in [1, N] \quad (1)$$

Si cette inégalité tient de façon stricte, le prix d'offre est nul en  $i$  ( $p_i^S = 0$ ) alors qu'il est strictement positif si (1) est une égalité.

La quantité totale importée doit être supérieure ou égale à la quantité totale demandée dans chaque région.

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \geq d_j \quad \forall j \in [1, N] \quad (2)$$

Si cette inégalité tient de façon stricte, le prix de demande est nul en  $i$  ( $p_i^D = 0$ ) alors qu'il est strictement positif si (2) est une égalité.

Le prix local de demande,  $pd_i$ , défini comme l'inverse de l'équation de demande ( $pd_i = \alpha_i - \beta_i * d_i$ ), représente le prix auquel un produit peut être acheté sur le marché. Il doit être inférieur ou égal au prix de demande,  $p_i^D$ , représentant le prix auquel les consommateurs sont prêts à acheter une quantité  $d_i$  du produit.

$$\alpha_i - \beta_i * d_i \leq p_i^D \quad \forall i \in [1, N] \quad (3)$$

Si cette inégalité tient de façon stricte, la demande est nulle en  $i$  ( $d_i = 0$ ) alors qu'elle est strictement positive si (3) est une égalité.

Le prix local d'offre,  $ps_i$ , défini comme l'inverse de l'équation d'offre ( $ps_i = \gamma_i + \delta_i * s_i$ ), représente le prix auquel un produit peut être vendu sur le marché. Il doit être supérieur ou égal au prix d'offre,  $p_i^S$ , représentant le prix auquel les producteurs sont prêts à vendre une quantité  $s_i$  d'un produit.

$$\gamma_i + \delta_i * s_i \geq p_i^S \quad \forall i \in [1, N] \quad (4)$$

Si cette inégalité tient de façon stricte, l'offre est nulle en  $i$  ( $s_i = 0$ ) alors qu'elle est strictement positive si (4) est une égalité.

Le prix d'offre dans le pays exportateur  $i$ ,  $p_i^S$ , augmenté des coûts de transports,  $c_{ij}$ , et des droits de douane,  $avt_{ij}$  ou  $sdt_{ij}$ , doit être supérieur ou égal au prix de demande dans le pays importateur  $j$ .

Si le prix d'offre dans le pays  $i$ , augmenté des coûts de transports et des droits de douane, est égal au prix de demande dans le pays  $j$ , alors il existe des échanges (flux commerciaux) entre les pays  $i$  et  $j$  ( $x_{ij} > 0$ ).

Si le prix de l'offre dans le pays  $i$ , augmenté des coûts de transports et des droits de douane, est supérieur au prix de demande dans le pays  $j$ , alors il n'y a pas d'échange possible entre les pays  $i$  et  $j$  ( $x_{ij} = 0$ ).

$$(1 + avt_{ij})(p_i^S + c_{ij}) \geq p_j^D \quad \forall (i, j) \in [1, N]^2 \quad (5)$$

ou

$$p_i^S + c_{ij} + sdt_{ij} \geq p_j^D$$

La quantité produite, la quantité demandée, les prix et les flux commerciaux entre pays doivent être positifs ou nuls.

$$\{s_i \geq 0, d_i \geq 0, x_{ij} \geq 0, p_i^S \geq 0, p_j^D \geq 0\} \quad \forall (i, j) \in [1, N]^2 \quad (6)$$

### B. Calibration - Etape 1:

Fonction objectif du problème interne: minimisation de la somme des coûts à l'échange totaux (ttc).

$$ttc = \sum_{ij} (co_{ij} + po_i^S * avt_{ij}) x_{ij} \quad (7)$$

ou

$$ttc = \sum_{ij} (co_{ij} + sdt_{ij}) x_{ij}$$

Contraintes:

Contrainte d'équilibre du marché:

$$e_i + \sum_j (x_{ij} - x_{ji}) = 0 \quad (8)$$

Les flux commerciaux bilatéraux doivent être positifs ou nuls.

$$x_{ij} \geq 0 \quad (9)$$

### C. Calibration - Etape 2:

Fonction objectif initiale: n'incluant pas la pénalité - minimisation de la somme des carrés de l'écart entre les coûts de transports et les prix par rapport à leurs valeurs respectives observées.

$$z = w_c \sum_{ij} (c_{ij} - co_{ij})^2 + w_p \sum_i (p_i^S - po_i^S)^2 \quad (10)$$

Contraintes:

Contrainte de prix:

$$c_{ij} + p_i^S * (1 + avt_{ij}) = p_j^D \quad (11)$$

ou

$$c_{ij} + sdt_{ij} + p_i^S = p_j^D$$

Un algorithme basé sur une « smooth approximation » (Ferris et al. 2002) est utilisé afin de résoudre le BLPP, et de prendre en compte des bases de données plus larges (Jansson and Heckelei 2004-2009).

La première étape de cet algorithme consiste à remplacer l'équation (11) par l'équation (12), dans laquelle un résidu de l'équation de chaînage des prix,  $\pi_{ij}$ , est ajouté à la contrainte de prix.

$$c_{ij} + p_i^S * (1 + avt_{ij}) = p_j^D + \pi_{ij} \quad (12)$$

ou

$$c_{ij} + sdt_{ij} + p_i^S = p_j^D + \pi_{ij}$$

Autrement dit si  $\pi_{ij} = 0$ ,  $c_{ij} + sdt_{ij} + p_i^S = p_j^D$  et on a  $x_{ij} > 0$ . Si  $\pi_{ij} > 0$ ,  $c_{ij} + sdt_{ij} + p_i^S > p_j^D$  et on a  $x_{ij} = 0$ . Puis, le critère d'estimation, équation (10), est augmenté d'une fonction de pénalité, équation (13), impliquant une nouvelle fonction objectif, équation (14).

$$pen = \mu * \sum_{ij} (\pi_{ij} * x_{ij}) \quad (13)$$

Nouvelle fonction objectif: incluant la pénalité

$$zz = z + pen \quad (14)$$

Le résidu de l'équation de chainage des prix ne peut pas être négatif.

$$\pi_{ij} \geq 0 \quad (15)$$

Enfin on suppose l'absence de coût de transport sur les ventes locales.

$$c_{ii} = 0 \quad (16)$$

### 3. Structure du modèle sous GAMS:

Afin de construire une suite logique dans la notation des variables, nous utilisons les codes suivants pour chaque étape du modèle.

Le nom de la variable est toujours suivi d'un ou deux chiffres. Ces chiffres, pouvant uniquement prendre les valeurs 1, 2 ou 3, correspondant respectivement à la première étape de la calibration (Calibration 1), à la seconde étape de la calibration (Calibration 2) ou au modèle (Scenario A et Scenario B). Si un zéro précède ce chiffre, il indique une valeur initiale.

Exemple utilisant la variable représentant la matrice des flux commerciaux, « trade » :

trade01(i,j) : valeur initiale des flux commerciaux de i à j pour la première étape de la calibration (Calibration 1).

trade1(i,j) : valeur des flux commerciaux de i à j pour la première étape de la calibration (Calibration 1).

trade02(i,j) : valeur initiale des flux commerciaux de i à j pour la seconde étape de la calibration (Calibration 2).

trade3(i,j) : valeur des flux commerciaux de i à j pour la troisième étape, correspondant au scenario A ou au scenario B.

Cette logique est conservée pour toutes les variables définies dans le modèle.

#### 3.1 Modèle (GAMS)

Les Tableaux 3,4 et 5 présentent respectivement les équations du modèle sous GAMS, les variables du modèle et les paramètres du modèle.

Tableau 3 Equations du modèle sous GAMS

| Equations | Définitions   | Noms sous GAMS  |
|-----------|---|-----------------|
| (1)       | Quantité produite supérieure à la quantité exportée dans toutes les régions | Eq_PROD(i)      |
| (2)       | Quantité demandée inférieure à la quantité exportée dans chaque région      | Eq_DEM(i)       |
| (3)       | Différence entre le prix de demande et le prix local de demande             | Eq_DPRICEDIF(i) |
| (4)       | Différence entre le prix d'offre et le prix local d'offre                   | EQ_SPRICEDIF(i) |
| (5)       | Seconde contrainte de prix  | PRLINK2         |

Tableau 4 Variables du modèle sous GAMS

| Descriptions | Définitions                          | Noms sous GAMS | Variables positives |
|--------------|--------------------------------------|----------------|---------------------|
| $d_i$        | Quantité demandée dans le pays i     | demand(i)      |                     |
| $s_i$        | Quantité produite dans le pays i     | supply(i)      |                     |
| $p_i^D$      | Prix de demande en i                 | consprice3(i)  |                     |
| $p_i^S$      | Prix d'offre en i                    | prodprice3(i)  |                     |
| $x_{ij}$     | Flux commerciaux bilatéraux de i à j | trade3(i,j)    |                     |

Tableau 5 Paramètres du modèle sous GAMS

| Définitions  | Noms sous GAMS |
|--|----------------|
| Offre initiale en i  | supply03(i)    |
| Ordonnée à l'origine de la fonction de demande $p=f(q)$  | A(i)           |
| Valeur absolue de la pente de la fonction de demande $p=f(q)$  | B(i)           |
| Ordonnée à l'origine de la fonction d'offre $p=f(q)$   | C(i)           |
| Valeur absolue de la pente de la fonction d'offre $p=f(q)$   | D(i)           |
| Coût de transport additionnel de i à j   | sup_cost(i,j)  |
| Elasticité-prix de la demande de maïs  | Ed(i)          |
| Elasticité-prix de l'offre de maïs   | Es(i)          |
| Paramètre utilisé dans la calibration de B et de D dans le cas d'une offre ou d'une demande initiale nulle | countd         |
| Paramètre utilisé dans la calibration de B et de D dans le cas d'une offre ou d'une demande initiale nulle | counts         |
| Paramètre utilisé pour que les relations de complémentarité soient vérifiées                               | epsilon        |

### 3.2 Calibration - Etape 1 (GAMS)

Les Tableaux 6, 7 et 8 présentent respectivement les équations du premier calibrage sous GAMS, les variables du modèle et les paramètres du modèle.

Tableau 6 Equations Calibration 1 sous GAMS

| Equations | Définitions                      | Noms sous GAMS |
|-----------|----------------------------------|----------------|
| (7)       | Somme des coûts à l'échange      | Eq_TTC         |
| (8)       | Contrainte d'équilibre du marché | Eq_Mkt(i)      |

Tableau 7 Variables Calibration 1 sous GAMS

| Descriptions | Définitions                                   | Noms sous GAMS | Variables positives |
|--------------|---|----------------|---------------------|
| $xo_{ij}$    | Matrice des flux commerciaux de i à j (en KG) | trade1(i,j)    |                     |
| ttc          | Coût total à l'échange de i à j               | TTC            |                     |

Tableau 8 Paramètres Calibration 1 sous GAMS

|                                    | Définitions   | Noms sous GAMS      |
|------------------------------------|---|---------------------|
| Paramètres de commerce             |   |                     |
|                                    | Matrice initiale des flux commerciaux de i à j (en KG)              | trade01(i,j)        |
| Paramètres des coûts de transports |   |                     |
|                                    | Matrice initiale des coûts de transports de i à j (en \$ par tonne) | transportcost1(i,j) |
|                                    | Droits de douane ad valorem entre les régions i et j                | avt(i,j)            |
|                                    | Droits de douane spécifiques entre les régions i et j               | sdt(i,j)            |
| Autres paramètres                  |   |                     |
|                                    | Prix initial à la production  | prodprice1(i)       |
|                                    | Coûts de transports initiaux de i à j                               | TTC0                |
|                                    | Excès de demande en i   | e(i)                |

### 3.3 Calibration – Etape 2 (GAMS)

Les Tableaux 9, 10 et 11 présentent respectivement les équations du second calibrage sous GAMS, les variables du modèle et les paramètres du modèle.

Tableau 9 Equations Calibration 2 sous GAMS

| Equations | Définitions   | Noms sous GAMS  |
|-----------|---|-----------------|
| (10)      | Fonction objectif (sans la pénalité)                | Eq_Obj          |
| (12)      | Première contrainte de prix                         | Eq_PRLINK1(i,j) |
| (13)      | Equation de pénalité                                | Eq_Pen          |
| (14)      | Nouvelle fonction objectif (incluant la pénalité)   | Eq_zz           |
| (16)      | Absence de coût de transport sur les ventes locales | Eq_tc           |

Tableau 10 Calibration 2 sous GAMS

| Descriptions | Définitions                               | Noms sous GAMS      | Variables positives |
|--------------|---|---------------------|---------------------|
| $c_{ij}$     | Coûts de transports                       | transportcost2(i,j) |                     |
| $p_i^S$      | Prix d'offre                              | prodprice2(i)       |                     |
| $p_i^D$      | Prix de demande                           | consprice2(i)       |                     |
| $\pi_{ij}$   | Résidu de l'équation de chaînage des prix | pi(i,j)             |                     |
| pen          | Pénalité                                  | pen                 |                     |
| z            | Fonction objectif (sans la pénalité)      | z                   |                     |
| zz           | Fonction objectif (incluant la pénalité)  | zz                  |                     |

Tableau 11 Paramètres Calibration 2 sous GAMS

|  | Définitions  | Noms sous GAMS |
|--|--|----------------|
| Paramètres utilisés dans la fonction objectif d'origine  |  |                |
|  | Pondération des coûts de transports                    | wtc            |
|  | Pondération des prix d'offre                           | wp             |
| Paramètres utilisés dans l'équation de relation des prix |  |                |
|  | Demande initiale                                       | demand02(i)    |
|  | Prix initial du consommateur                           | consprice02(i) |
| Paramètres utilisés dans la fonction de pénalité         |  |                |
|  | Paramètre pour la condition de complémentarité         | mu             |
|  | Résidu initial de l'équation de chaînage des prix      | pi0(i,j)       |
|  | Pénalité initiale                                      | pen0           |
| Paramètres utilisés dans la nouvelle fonction objectif   |  |                |
|  | Fonction objectif initiale (sans la pénalité)          | z0             |
|  | Nouvelle fonction objectif initiale (avec la pénalité) | zz0            |

#### 4. Structure des données

La base de données utilisée est limitée à cinq pays, et à des échanges sur le maïs, pour des raisons de simplification et de lisibilité. Le Tableau 12 liste ces 5 pays ainsi que leur code ISO – 3 lettres.

Tableau 12 Pays utilisés pour la base de données du modèle

| ISO | Pays     |
|-----|----------|
| KEN | Kenya    |
| TZA | Tanzanie |
| UGA | Ouganda  |
| ZMB | Zambie   |
| ZWE | Zimbabwe |

Les matrices de données utilisées dans ce modèle sont présentées dans les tableaux 13, 14 et 15. Elles sont toutes issues de Bouët et al. (2013) mais simplifiées pour s'ajuster au cadre géographique simple de cinq pays seulement.

Tableau 13 Matrice de flux commerciaux (en tonnes)

|     | KEN      | TZA     | UGA     | ZMB     | ZWE      |
|-----|----------|---------|---------|---------|----------|
| KEN | 15200000 | 0       | 0       | 339711  | 252850   |
| TZA | 4008548  | 2555000 | 0       | 1823739 | 165334   |
| UGA | 3472272  | 4229010 | 1350000 | 2882916 | 295967   |
| ZMB | 0        | 0       | 0       | 1250000 | 10171301 |
| ZWE |          |         |         |         |          |

Source : Bouët et al. (2013) et calculs des auteurs

Tableau 14 Matrice des coûts de transports (USD/tonne)

|            | <b>KEN</b> | <b>TZA</b> | <b>UGA</b> | <b>ZMB</b> | <b>ZWE</b> |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>KEN</b> | 0          | 4.428969   | 3.92537    | 11.68115   | 13.91303   |
| <b>TZA</b> | 4.428969   | 0          | 6.389507   | 9.045604   | 10.7874    |
| <b>UGA</b> | 3.92537    | 6.389507   | 0          | 11.5714    | 14.56105   |
| <b>ZMB</b> | 11.68115   | 9.045604   | 11.5714    | 0          | 3.925581   |
| <b>ZWE</b> | 13.91303   | 10.7874    | 14.56105   | 3.925581   | 0          |

Source : Bouët et al. (2013) et calculs des auteurs

Tableau 15 Matrice des droits de douane ad valorem

|            | <b>KEN</b> | <b>TZA</b> | <b>UGA</b> | <b>ZMB</b> | <b>ZWE</b> |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>KEN</b> | 0          | 0.125      | 0.014      | 0          | 0          |
| <b>TZA</b> | 0.25       | 0          | 0          | 0.05       | 0.25       |
| <b>UGA</b> | 0.05       | 0          | 0          | 0.01       | 0.05       |
| <b>ZMB</b> | 0          | 0.125      | 0.014      | 0          | 0          |
| <b>ZWE</b> | 0          | 0.125      | 0.014      | 0          | 0          |

Source : Bouët et al. (2013) et calculs des auteurs

Dans la matrice 16 nous présentons les droits de douane sous une forme ad valorem. Le modèle peut tourner sur des droits de douane spécifiques (voir le début du programme Calibration 1.gms). Des droits de douanes spécifiques peuvent être calculés à partir des droits de douane ad valorem, et vice versa, en utilisant l'équation suivante:

$$po_i^S + sdt_{ij} = po_i^S * (1 + avt_{ij})$$

Tableau 16 Matrice des droits de douane spécifiques

|            | <b>KEN</b> | <b>TZA</b> | <b>UGA</b> | <b>ZMB</b> | <b>ZWE</b> |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>KEN</b> | 0          | 22.85284   | 2.559518   | 0          | 0          |
| <b>TZA</b> | 45.70568   | 0          | 0          | 9.141135   | 45.70568   |
| <b>UGA</b> | 9.141135   | 0          | 0          | 1.828227   | 9.141135   |
| <b>ZMB</b> | 0          | 22.85284   | 2.559518   | 0          | 0          |
| <b>ZWE</b> | 0          | 24.50329   | 2.744368   | 0          | 0          |

Source : Bouët et al. (2013) et calculs des auteurs

Les données utilisées dans ce modèle ont été collectées à partir de l'article de Bouët et al. (2013). Le tableau suivant fournit des informations complémentaires quant aux sources des données.

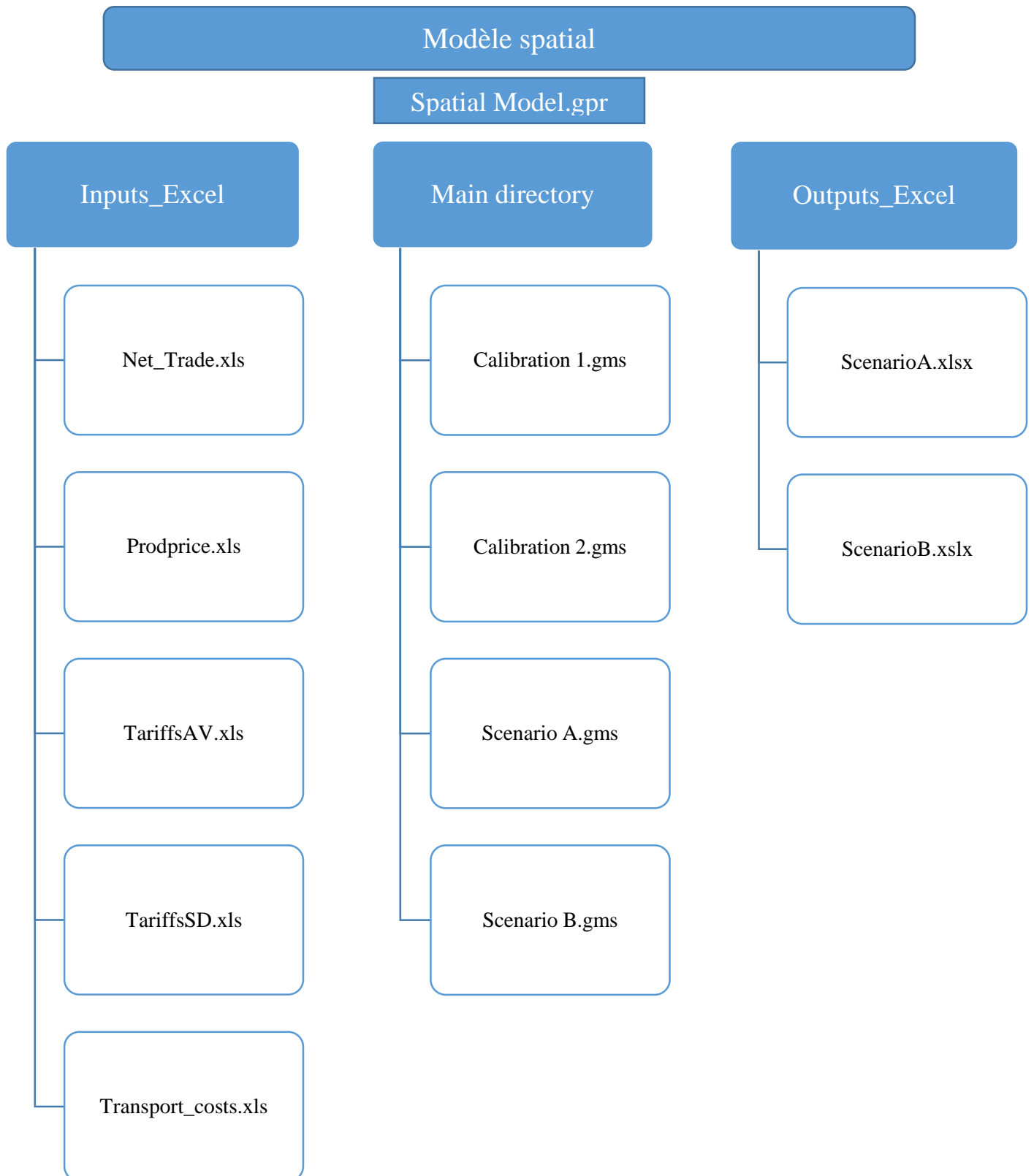


*Tableau 17 Sources des données*

| <b>Paramètres</b>           | <b>Années</b> | <b>Sources des données</b>                                  |
|-----------------------------|---------------|---|
| Production                  | 1995-2005     | FAOSTAT, UN Food and Agricultural Organization.             |
| Prix domestiques            | 1995-2005     | FAOSTAT, UN Food and Agricultural Organization.             |
| Prix des consommateurs      | 1995-2005     | FAOSTAT, UN Food and Agricultural Organization.             |
| Elasticités de l'offre      | 2001-2005     | IMPACT model, International Food Policy Research Institute. |
| Elasticités de la demande   | 2001-2005     | IMPACT model, International Food Policy Research Institute. |
| Flux commerciaux            | 1995-2005     | UN COMTRADE 1005 (HS-4) bilateral trade data.               |
| Coûts de transports         | 2004-2006     | Ocean freight rates from the International Grains Council.  |
| Droits de douane ad valorem | 2005          | MAcMap HS-6.  |

## 5. Fonctionnement du modèle

Figure 2 Fichiers GAMS



Les données sont situées dans cinq fichiers Excel, eux-mêmes situés dans le dossier nommé « Inputs\_Excel ».

- Net\_Trade.xls (inclut les flux de commerce entre les régions)
- Prodprice.xls (inclut les prix des producteurs dans chaque région)
- TariffsAV.xls (inclut les droits de douane ad valorem entre les régions)
- TariffsSD.xls (inclut les droits de douane spécifiques entre les régions)
- Transport\_costs.xls (inclut les coûts de transports entre les régions)

Le modèle spatial est écrit sous quatre fichiers GAMS. Deux d'entre eux concernent la calibration des données du modèle, et les deux autres présentent le modèle en lui-même ainsi qu'un scénario potentiel de politique commercial chacun.

- Calibration 1 (comprend le programme permettant de faire fonctionner la première étape de la calibration BLPP)
- Calibration 2 (comprend le programme permettant de faire fonctionner la seconde étape de la calibration BLPP, en utilisant les résultats de l'étape 1)
- Scenario A (comprend le programme permettant de faire fonctionner le Scénario A, présenté plus loin)
- Scenario B (comprend le programme permettant de faire fonctionner le Scénario B, présenté plus loin)

Enfin, les résultats sont présentés dans des fichiers Excel, un pour chaque scénario.

- ScenarioA.xlsx (collecte les résultats du Scénario A en termes de variables de commerce, de marché et de bien-être, pour chaque pays)
- ScenarioB.xlsx (collecte les résultats du Scénario B en termes de variables de commerce, de marché et de bien-être, pour chaque pays)

Afin de faire fonctionner la calibration du modèle en utilisant les données, il faut suivre les étapes suivantes:

- Créer un nouveau projet, appelé "Spatial Model.gpr" dans GAMS-IDE. Ce fichier doit impérativement être situé dans le même dossier que tous les autres fichiers GAMS.
- Ouvrir le programme "Calibration 1.gms". Appuyer sur le bouton avec la flèche rouge afin de le faire tourner. Certains résultats produits à partir de « Calibration 1.gms » seront utilisés comme données d'entrée dans d'autres programmes. Il faut ainsi les sauvegarder, en utilisant la commande "s=Calibration1" (Figure 3).
- Ouvrir le programme "Calibration 2.gms". Appuyer sur le bouton avec la flèche rouge afin de le faire tourner. Les résultats obtenus à partir du programme « Calibration 1.gms » sont retrouvés par le programme « Calibration 2.gms » grâce à la commande "r=Calibration1".

Les résultats du programme « Calibration 2.gms » sont sauvegardés en utilisant la commande “s=Calibration 2” (Figure 4).

Figure 3 Fichier “Calibration 1.gms”

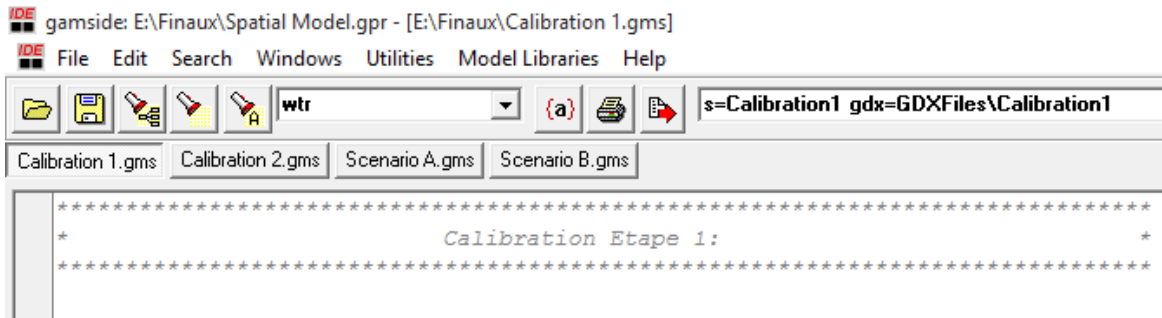
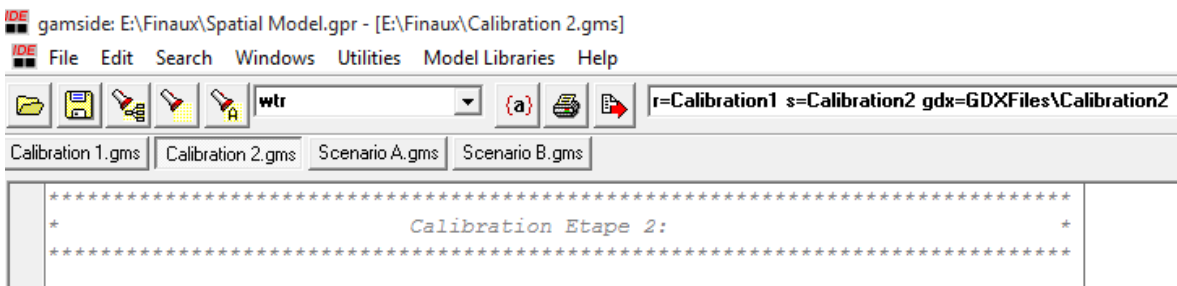


Figure 4 Fichier “Calibration 2.gms”



Les fichiers gdx créés par les programmes “Calibration 1.gms” et “Calibration 2.gms” respectivement nommés « Calibration1.gdx » et « Calibration2.gdx » permettent d’avoir une vue d’ensemble des résultats, et notamment de tous les paramètres et variables présents dans le modèle, et ce, pour chaque étape. Ces fichiers gdx sont automatiquement créés à partir de la commande “gdx=GDXFiles\Name”, où “GDXFiles” permet de sauvegarder tous les fichiers gdx dans un même dossier, nommé GDXFiles.

## 6. Résultats

Nous étudions donc deux scénarios, un de libéralisation commerciale, un d’augmentation des coûts de transport à partir d’un pays.

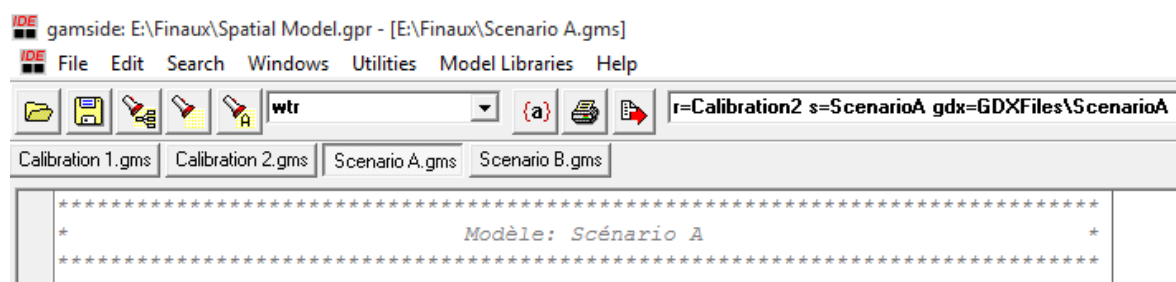
### 6.1 Scénario A

Le scénario A consiste en une annulation de tous les droits de douane.

Pour faire fonctionner le Scénario A sous GAMS:

1. Ouvrir le programme “Scenario A.gms”. Faire tourner le programme. De la même façon, les résultats obtenus à partir du fichier “Calibration 2.gms” sont retrouvés par le programme “Scenario A.gms”, grâce à la commande “r=Calibration 2”. Les résultats du programme “Scenario A.gms” sont sauvegardés par la commande “s=ScenarioA” (Figure 5).

Figure 5 Fichier “Scenario A.gms”



2. La commande “gdx=GDXFiles\ScenarioA” crée un fichier.gdx présentant les valeurs de tous les paramètres et variables incluent dans le modèle. A partir de ce fichier.gdx, un fichier Excel est complété, “ScenarioA.xlsx”, afin de résumer les résultats.

Nous obtenons les résultats obtenus à partir du Scénario A. Les matrices initiales et finales de commerce sont données par les Tableaux 18 et 19.

Tableau 18 Matrice des flux commerciaux – Modèle de base

| Matrice de flux commerciaux - Modèle de base |            |         |         |            |             |             |                    |
|--|------------|---------|---------|------------|-------------|-------------|--------------------|
|  | KEN        | TZA     | UGA     | ZMB        | ZWE         | Exports     |                    |
| KEN  | 15200000   | 0,00    | 0,00    | 0,00       | 0,00        | 0,00        |                    |
| TZA  | 0,00       | 2555000 | 0,00    | 1768611    | 0,00        | 1768611,00  |                    |
| UGA  | 6888259    | 0,00    | 1350000 | 3991906    | 0,00        | 10880165,00 |                    |
| ZMB  | 0,00       | 0,00    | 0,00    | 1250000    | 10885452    | 10885452,00 |                    |
| ZWE  | 0,00       | 0,00    | 0,00    | 0,00       | 0,00        | 0,00        |                    |
| Imports                                      | 6888259,00 | 0,00    | 0,00    | 5760517,00 | 10885452,00 | 23534228,00 |                    |
|  |            |         |         |            |             | 20355000,00 | Exports + Imports  |
|  |            |         |         |            |             | 43889228,00 | Sum of local sales |
|  |            |         |         |            |             |             | Total trade        |

Source : calculs des auteurs

Tableau 19 Matrice des flux commerciaux – Scénario A

| Matrice de flux commerciaux - Scénario A |          |         |         |         |          |          |                    |
|--|----------|---------|---------|---------|----------|----------|--------------------|
|  | KEN      | TZA     | UGA     | ZMB     | ZWE      | Exports  |                    |
| KEN                                      | 11904206 | 2545956 | 0       | 0       | 0        | 2545956  |                    |
| TZA                                      | 0        | 0       | 0       | 4670954 | 0        | 4670954  |                    |
| UGA                                      | 10278916 | 0       | 1349944 | 906296  | 0        | 11185212 |                    |
| ZMB                                      | 0        | 0       | 0       | 1432285 | 10885345 | 10885345 |                    |
| ZWE                                      | 0        | 0       | 0       | 0       | 0        | 0        |                    |
| Imports                                  | 10278916 | 2545956 | 0       | 5577250 | 10885345 | 29287467 |                    |
|  |          |         |         |         |          | 14686435 | Exports + Imports  |
|  |          |         |         |         |          | 43973902 | Sum of local sales |
|  |          |         |         |         |          |          | Total trade        |

Source : calculs des auteurs

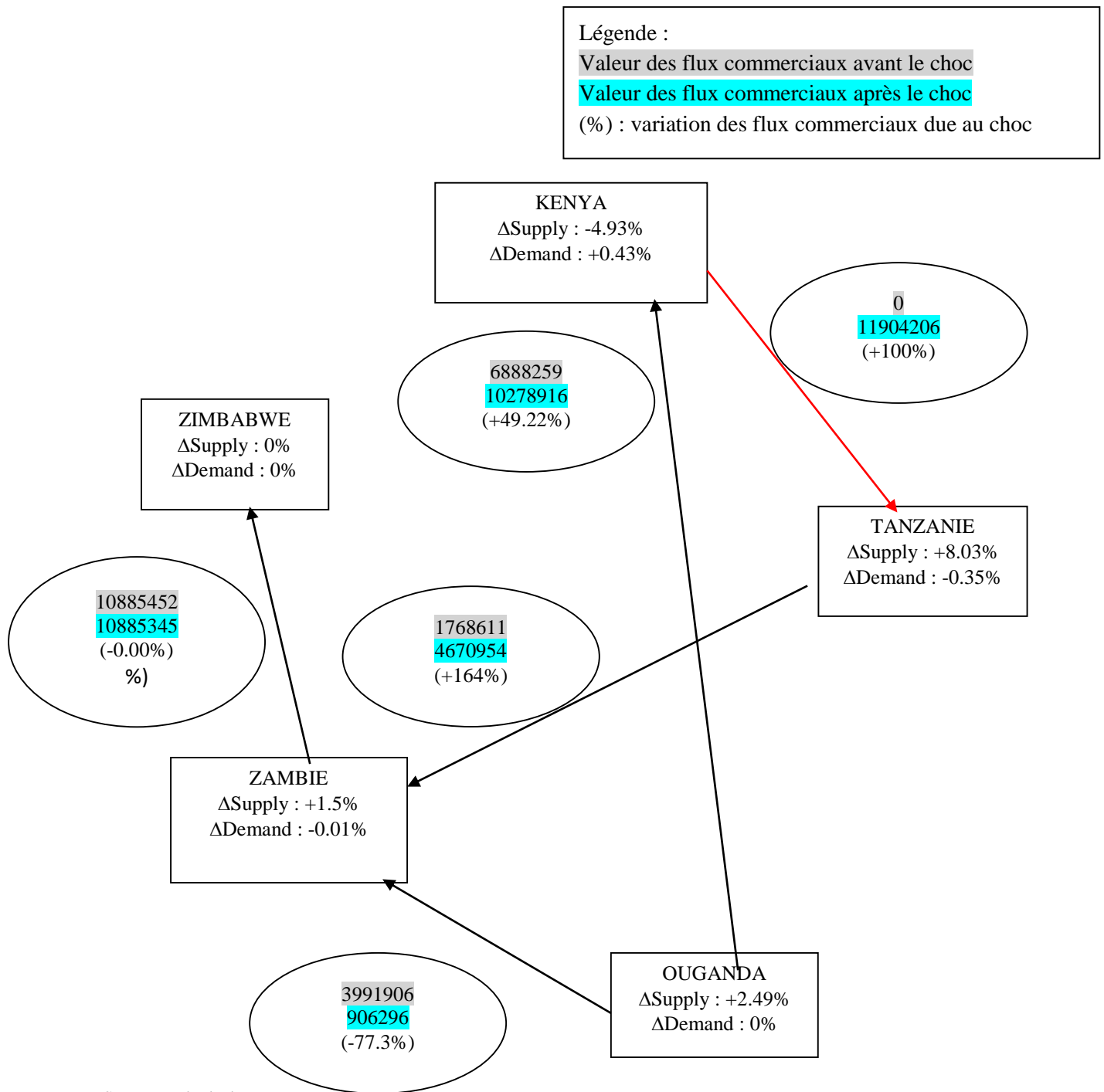
Le Tableau 20 indique les taux de variation des flux commerciaux sur chaque ligne possible.

Tableau 20 Variation des flux commerciaux: Modèle de base – Scénario A

| Variation des flux commerciaux: Modèle de base - Scénario A |         |          |       |         |       |         |   |
|---|---------|----------|-------|---------|-------|---------|---|
|   | KEN     | TZA      | UGA   | ZMB     | ZWE   | Exports |   |
| KEN   | -21,68% | 100,00%  | 0,00% | 0,00%   | 0,00% | 100%    |   |
| TZA   | 0,00%   | -100,00% | 0,00% | 164,10% | 0,00% | 164.1%  |   |
| UGA   | 49,22%  | 0,00%    | 0,00% | -77,30% | 0,00% | 2,80%   |   |
| ZMB   | 0,00%   | 0,00%    | 0,00% | 14,58%  | 0,00% | 0,00%   |   |
| ZWE   | 0,00%   | 0,00%    | 0,00% | 0,00%   | 0,00% | 0,00%   |   |
| Imports   | 49,22%  | 100,00%  | 0,00% | -3,18%  | 0,00% | 24,45%  | $\Delta(\text{Exports} + \text{Imports})$ |
|   |         |          |       |         |       | -27,85% | $\Delta(\text{Sum of local sales})$       |
|   |         |          |       |         |       | 0,19%   | $\Delta\text{Total trade}$                |

Source : calculs des auteurs

Figure 6 Variations des flux commerciaux: Modèle de base-Scénario A



Source : calculs des auteurs

Les tableaux 22 et 23 indiquent les valeurs des variables de marché, production, consommation et prix respectivement avant et après le choc.

Tableau 21 Variables de marché – Modèle de base

| Variables de marché - Modèle de base |          |                |                |          |
|--------------------------------------|----------|----------------|----------------|----------|
|                                      | Supply   | Consumer price | Producer price | Demand   |
| KEN                                  | 15200000 | 187,3722       | 187,3722       | 22088259 |
| TZA                                  | 4323611  | 178,2732       | 178,2732       | 2555000  |
| UGA                                  | 12230165 | 178,2311       | 178,2311       | 1350000  |
| ZMB                                  | 12135452 | 187,4143       | 187,4143       | 7010517  |
| ZWE                                  | 0        | 191,3399       | 196,0263       | 10885452 |
| Total/Avg                            | 43889228 | 185            | 185            | 43889228 |

Source : calculs des auteurs

Tableau 22 Variables de marché – Scénario A

| Variables de marché - Scénario A |          |           |           |           |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                                  | Supply   | Consprice | Prodprice | Demand    |
| KEN                              | 14450162 | 181,9349  | 181,9349  | 22183122  |
| TZA                              | 4670954  | 186,3639  | 189,29    | 2545955,5 |
| UGA                              | 12535156 | 181,9349  | 181,9349  | 1349943,9 |
| ZMB                              | 12317630 | 189,29    | 189,29    | 7009534,7 |
| ZWE                              | 0        | 193,2156  | 196,0263  | 10885345  |
| Total/Avg                        | 43973902 | 187       | 188       | 43973902  |

Source : calculs des auteurs

Le tableau 14 indique les taux de variations associées aux variables de marchés précédemment commentées.

Tableau 23 Variation des variables de marché: Modèle de base-Scénario A

| Variation des variables de marché: Modèle de base-Scénario A |        |                |                |        |
|--|--------|----------------|----------------|--------|
|  | Supply | Consumer price | Producer price | Demand |
| KEN  | -4.93% | -2.90%         | -2.90%         | 0.43%  |
| TZA  | 8.03%  | 4.54%          | 6.18%          | -0.35% |
| UGA  | 2.49%  | 2.08%          | 2.08%          | 0.00%  |
| ZMB  | 1.50%  | 1.00%          | 1.00%          | -0.01% |
| ZWE  | 0.00%  | 0.98%          | 0.00%          | 0.00%  |
| Total/Avg  | 0.19%  | 1.10%          | 1.20%          | 0.19%  |

Source : calculs des auteurs

A partir des variations de variables de marché et en considérant l'hypothèse de linéarité des fonctions de demande et d'offre on peut calculer des variations de surplus des consommateurs et des producteurs,



associées à cette réforme. Ces surplus, ainsi que les recettes publiques (recettes douanières) sont indiqués sur les Tableaux 25 (avant le choc) et 26 (après le choc).

Tableau 24 Variables de bien-être – Modèle de base

| Variables de bien-être - Modèle de base |             |            |          |             |
|---|-------------|------------|----------|-------------|
|   | CoS         | PrS        | PR       | Welfare     |
| KEN                                     | 13982180305 | 837663890  | 62966505 | 14882810700 |
| TZA                                     | 2919795270  | 296455396  | 0        | 3216250666  |
| UGA                                     | 60152979658 | 908247983  | 0        | 61061227642 |
| ZMB                                     | 46923981458 | 758119279  | 23465222 | 47705565960 |
| ZWE                                     | 1,04E+12    | 91716990   | 0        | 1,04E+12    |
| Total                                   | 1,16539E+12 | 2892203538 | 86431727 | 1,16828E+12 |

Source : calculs des auteurs

Tableau 25 Variables de bien-être – Scénario A

| Variables de bien-être - Scénario A |             |            |    |             |
|-------------------------------------|-------------|------------|----|-------------|
|                                     | CoS         | PrS        | PR | Welfare     |
| KEN                                 | 14102537802 | 757056076  | 0  | 14859593877 |
| TZA                                 | 2899160168  | 346000984  | 0  | 3245161152  |
| UGA                                 | 60147979531 | 954111814  | 0  | 61102091345 |
| ZMB                                 | 4,69E+10    | 781051971  | 0  | 47691885086 |
| ZWE                                 | 1,04E+12    | 91694058   | 0  | 1,04E+12    |
| Total                               | 1,16545E+12 | 2929914903 | 0  | 1,16829E+12 |

Source : calculs des auteurs

Le Tableau 27 indique les variations (en US\$) des surplus des consommateurs et des producteurs ainsi que les variations de recettes publiques. Finalement le taux de variation du welfare total est indiqué dans la dernière colonne, soit la somme des précédents éléments.

Tableau 26 Variation des variables de bien-être: Modèle de base-Scénario A

| Variation des variables de bien-être - Modèle de base-Scénario A |           |           |           |          |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|
|  | CoS       | PrS       | PR        | Welfare  |
| KEN  | 120357497 | -80607814 | -62966505 | -0.16%   |
| TZA  | -20635102 | 49545588  | 0         | 0.90%    |
| UGA  | -5000127  | 45863831  | 0         | 0.07%    |
| ZMB  | -13148343 | 22932692  | -23465222 | -0.03%   |
| ZWE  | -20417180 | -22932    | 0         | 0.00%    |
| Total  | 61156745  | 37711365  | -86431727 | 0.00107% |

Source : calculs des auteurs

L'annulation des droits de douane agit donc directement sur les échanges entre les pays. Effectivement, des créations et des détournements de commerce apparaissent (Figure 6). Par exemple, un flux

commercial apparaît entre le Kenya et la Tanzanie, alors que ces pays n'échangeaient pas avant le choc. Il y a donc création de commerce. Cela s'explique par des coûts de transports asymétriques. Le coût de transport sur les exportations en provenance de l'Ouganda vers le Kenya est nul alors que celui du Kenya vers l'Ouganda est positif. Le Kenya peu donc avoir intérêt à importer le maïs de l'Ouganda mais n'en exporte pas vers ce dernier. Le Kenya préfère exporter vers la Tanzanie car les coûts de transports du Kenya vers la Tanzanie sont nuls.

Autre phénomène observé, la Zambie, dont le partenaire principal avant le choc était l'Ouganda, réduit ses importations en provenance de l'Ouganda, en faveur d'importations en provenance de la Tanzanie. Ces dernières augmentent de 164% (Tableau 20). On observe également une augmentation des échanges entre l'Ouganda et le Kenya de 49.22% (Tableau 20). De manière globale, les échanges entre les pays augmentent de 0.19% grâce à cette nouvelle mesure. Cette réallocation des échanges va avoir un impact varié sur la production, sur la consommation, ainsi que sur les prix à la production et du consommateur dans chacun des pays.

Par exemple, bien que les exportations du Kenya augmentent, son offre diminue, de par la hausse de ses importations, principalement en provenance de l'Ouganda. Il en résulte une baisse des prix à la production et à la consommation, et une faible augmentation de la demande locale (Tableau 24). Les ventes locales diminuent de 21.68% (Tableau 20). Cela s'explique car les prix à la production en Ouganda sont égaux à ceux du consommateur au Kenya. De plus, les coûts de transports entre ces deux pays sont nuls et les droits de douanes ont également été annulés (Tableau 21). Ainsi, les consommateurs au Kenya sont indifférents entre acheter du maïs produit localement ou importé d'Ouganda.

Dans les autres pays, l'offre augmente, de par l'augmentation des exportations, résultant en une hausse des prix à la consommation et à la production. L'impact sur les ventes locales varie suivant les pays. En Tanzanie, les ventes locales deviennent nulles : toute la production est exportée vers la Zambie (Tableau 20). Les coûts de transports entre ces deux pays sont nuls et le prix à la consommation en Zambie est égal au prix à la production en Tanzanie (Tableaux 21 et 24). La Tanzanie importe son maïs du Kenya puisque les coûts de transports entre ces deux pays sont plus faibles que ceux entre la Tanzanie et les autres pays. De plus, le prix à la consommation en Tanzanie est égal au prix à la production au Kenya augmenté des coûts de transports entre les deux pays, alors qu'il est inférieur au prix à la production en Tanzanie. Les consommateurs en Tanzanie ont donc tout intérêt à acheter du maïs en provenance du Kenya. En Zambie, on observe une augmentation des ventes locales due à la réduction de ses importations (Tableau 20).

En termes de bien-être, le Kenya se distingue une fois de plus des autres pays. Il voit son surplus du consommateur augmenté, alors que son surplus du producteur chute. De par l'annulation des droits de douane, le revenu public du Kenya s'annule. Le bien-être du Kenya est réduit de 0.16% (Tableau 27). La Tanzanie, l'Ouganda et la Zambie voient leurs surplus du consommateur respectifs diminuer, et leurs

surplus du producteur respectifs augmenter, résultant pour les deux premiers pays en une augmentation du bien-être. La Zambie subit une diminution de son revenu public, résultant en une chute de bien-être. Enfin, la perte de surplus du consommateur au Zimbabwe compense les gains de surplus du producteur, résultant en un bien-être relativement constant (Tableau 27). Le bien-être global est très peu affecté, il augmente de 0.00107%, preuve que la mesure, en affectant différemment chaque pays, n'a que très peu d'impact sur le bien-être global de la région étudiée (Tableau 27).

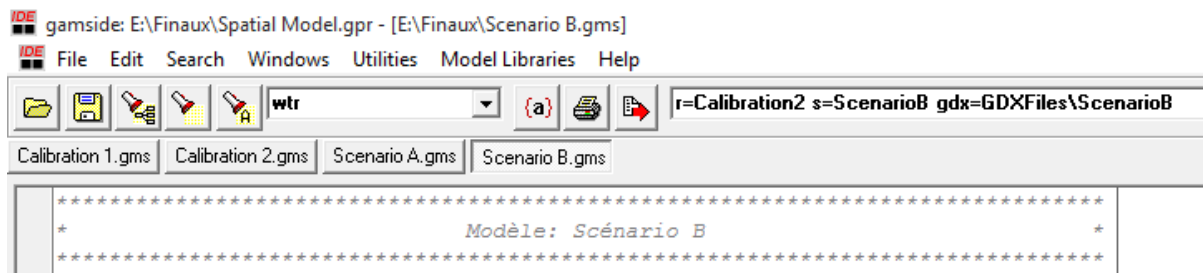
## 6.2 Scénario B

Le scénario B consiste en une augmentation du coût de transport sur les exportations de l'Ouganda vers tous ses partenaires commerciaux, de 0 à 50 USD par tonne.

Pour faire fonctionner le Scénario B sous GAMS:

1. Ouvrir le programme "Scenario B.gms". Faire tourner le programme. De la même façon, les résultats obtenus à partir du fichier "Calibration 2.gms" sont retrouvés par le programme "Scenario B.gms", grâce à la commande "r=Calibration2". Les résultats du programme "Scenario B.gms" sont sauvegardés par la commande "s=ScenarioB" (Figure 8).

Figure 7 Fichier "Scenario B.gms"



2. La commande "gdx=GDXFiles\ScenarioB" crée un fichier.gdx présentant les valeurs de tous les paramètres et variables inclus dans le modèle. A partir de ce fichier.gdx, un fichier Excel est complété, "ScenarioB.xlsx", afin de résumer les résultats.

Les résultats obtenus à partir du Scénario B sont présentés de la même façon que précédemment dans les Tableaux 28 à 33 et la Figure 7.

Tableau 27 Matrice des flux commerciaux – Scénario B

| Matrice de flux commerciaux - Scénario B |             |           |         |            |             |             |                    |
|--|-------------|-----------|---------|------------|-------------|-------------|--------------------|
|  | KEN         | TZA       | UGA     | ZMB        | ZWE         | Exports     |                    |
| KEN                                      | 16608108,78 | 0,00      | 0,00    | 0,00       | 0,00        | 0,00        |                    |
| TZA                                      | 0,00        | 2543585,7 | 0,00    | 2101948,78 | 0,00        | 2101948,78  |                    |
| UGA                                      | 5302007,986 | 0,00      | 1350603 | 2301144,49 | 0,00        | 7603152,48  |                    |
| ZMB                                      | 0,00        | 0,00      | 0,00    | 2602076,55 | 10525104,87 | 10525104,87 |                    |
| ZWE                                      | 0,00        | 0,00      | 0,00    | 0,00       | 359766,2447 | 0,00        |                    |
| Imports                                  | 5302007,99  | 0,00      | 0,00    | 4403093,28 | 10525104,87 | 20230206,13 | Exports + Imports  |
|  |             |           |         |            |             | 23464140,07 | Sum of local sales |
|  |             |           |         |            |             | 43694346,20 | Total trade        |

Source : calculs des auteurs

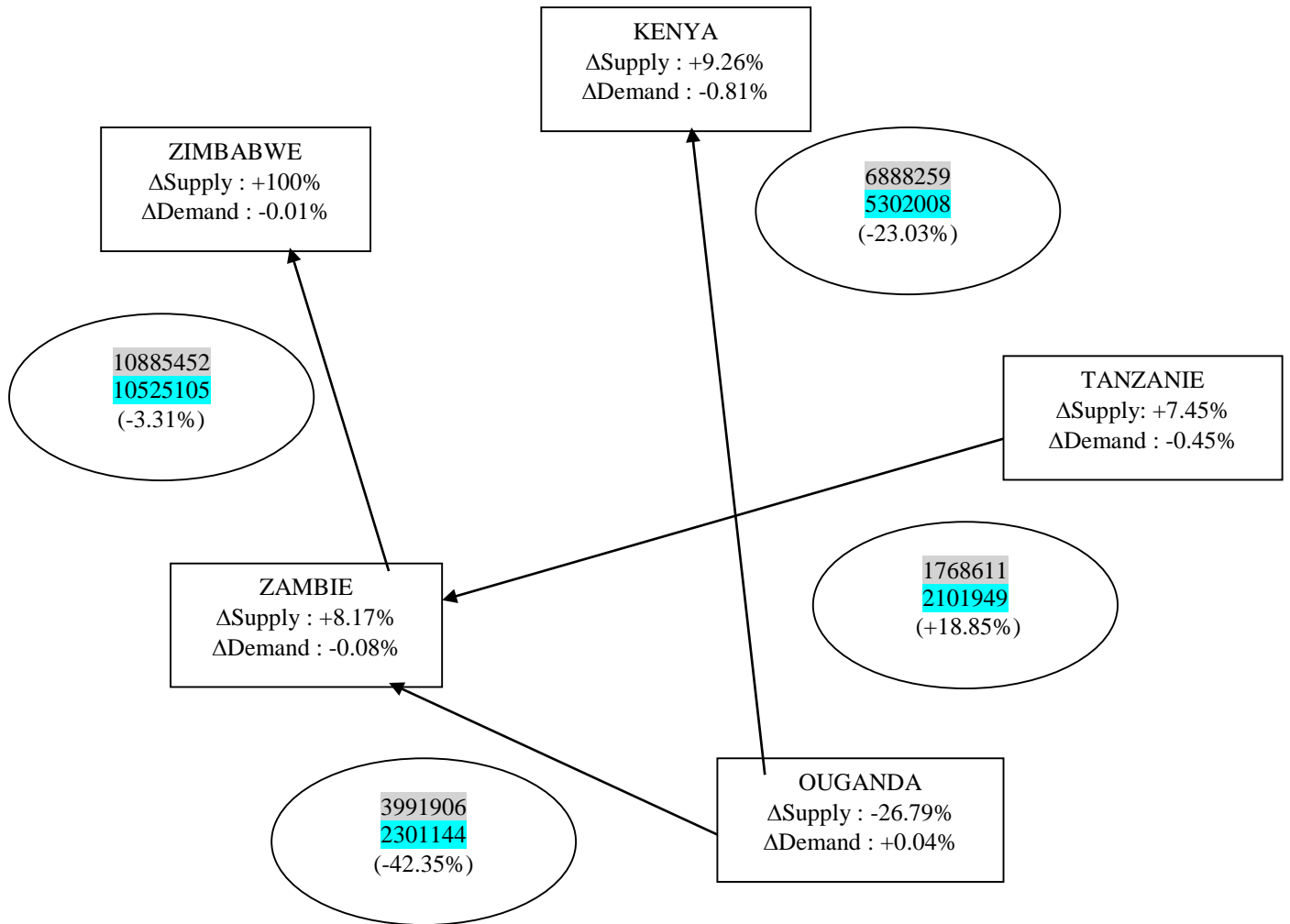
Tableau 28 Variation des flux commerciaux: Modèle de base – Scénario B

| Variation de flux commerciaux: Modèle de base - Scénario B |         |        |       |         |        |         |                                     |
|--|---------|--------|-------|---------|--------|---------|-------------------------------------|
|  | KEN     | TZA    | UGA   | ZMB     | ZWE    | Exports |                                     |
| KEN  | 9,26%   | 0,00%  | 0,00% | 0,00%   | 0,00%  | 0,00%   |                                     |
| TZA  | 0,00%   | -0,45% | 0,00% | 18,85%  | 0,00%  | 18,85%  |                                     |
| UGA  | -23,03% | 0,00%  | 0,04% | -42,35% | 0,00%  | -30,12% |                                     |
| ZMB  | 0,00%   | 0,00%  | 0,00% | 108,17% | -3,31% | -3,31%  |                                     |
| ZWE  | 0,0000% | 0,00%  | 0,00% | 0,00%   | 0,00%  | 0,00%   |                                     |
| Imports  | -23,03% | 0,00%  | 0,00% | -23,51% | -3,31% | -14,04% | $\Delta(\text{Exports+Imports})$    |
|  |         |        |       |         |        | 15,27%  | $\Delta(\text{Sum of local sales})$ |
|  |         |        |       |         |        | -0,44%  | $\Delta\text{Total trade}$          |

Source : calculs des auteurs

Figure 8 Variations des flux commerciaux: Modèle de base-Scénario B

Légende :  
 Valeur des flux commerciaux avant le choc  
 Valeurs des flux commerciaux après le choc  
 (%) : variation des flux commerciaux due au choc



Source : calculs des auteurs

Tableau 29 Variables de marché – Scénario B

| <b>Variables de marché - Scénario B</b> |                 |                       |                       |                 |
|---|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
|   | <b>Supply</b>   | <b>Consumer price</b> | <b>Producer price</b> | <b>Demand</b>   |
| KEN                                     | 16608109        | 197,5827              | 197,5827              | 21910117        |
| TZA                                     | 4645535         | 188,4838              | 188,4838              | 2543585,7       |
| UGA                                     | 8953755         | 138,4416              | 138,4416              | 1350602,8       |
| ZMB                                     | 13127181        | 197,6249              | 197,6249              | 7005169,8       |
| ZWE                                     | 359766          | 201,5505              | 201,5505              | 10884871        |
| <b>Total/Avg</b>                        | <b>43694346</b> | <b>185</b>            | <b>185</b>            | <b>43694346</b> |

Source : calculs des auteurs

Tableau 30 Variation des variables de marché: Modèle de base-Scénario B

| <b>Variation des variables de marché: Modèle de base-Scénario B</b> |               |                       |                       |               |
|---|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
|   | <b>Supply</b> | <b>Consumer price</b> | <b>Producer price</b> | <b>Demand</b> |
| KEN   | 9.26%         | 5.45%                 | 5.45%                 | -0.81%        |
| TZA   | 7.45%         | 5.73%                 | 5.73%                 | -0.45%        |
| UGA   | -26.79%       | -22.32%               | -22.32%               | 0.04%         |
| ZMB   | 8.17%         | 5.45%                 | 5.45%                 | -0.08%        |
| ZWE   | 100.00%       | 5.34%                 | 2.82%                 | -0.01%        |
| <b>Total/Avg</b>  | <b>-0.44%</b> | <b>0.11%</b>          | <b>-0.39%</b>         | <b>-0.44%</b> |

Source : calculs des auteurs

Tableau 31 Variables de bien-être – Scénario B

| <b>Variables de bien-être - Scénario B</b> |                         |                         |                        |                         |
|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
|  | <b>Consumer Surplus</b> | <b>Producer Surplus</b> | <b>Public revenues</b> | <b>Welfare</b>          |
| KEN  | 13757556659,00          | 1000052914,00           | 48466371,00            | 14806075944,00          |
| TZA  | 2893765607,00           | 342245317,00            | 0,00                   | 3236010924,00           |
| UGA  | 60206707418,00          | 486799638,00            | 0,00                   | 60693507056,00          |
| ZMB  | 46852427574,00          | 887091877,00            | 23421212,00            | 47762940663,00          |
| ZWE  | 1041299669080,00        | 993526,00               | 0,00                   | 1041300662600,00        |
| <b>Total</b>                               | <b>1165010126338,00</b> | <b>2717183272,00</b>    | <b>71887583,00</b>     | <b>1167799197187,00</b> |

Source : calculs des auteurs

Tableau 32 Variation des variables de bien-être: Baseline-Scénario B

| <b>Variation des variables de bien-être - Modèle de base-Scénario B</b> |                         |                         |                        |                |
|---|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|
|   | <b>Consumer Surplus</b> | <b>Producer Surplus</b> | <b>Public revenues</b> | <b>Welfare</b> |
| KEN   | -224623646              | 162389024               | -14500134              | -0.52%         |
| TZA   | -26029663               | 45789921                | 0                      | 0.61%          |
| UGA   | 53727760                | -421448345              | 0                      | -0.60%         |
| ZMB   | -71553884               | 128972598               | -44010                 | 0.12%          |
| ZWE   | -111143400              | -90723464               | 0                      | -0.01%         |
| Total   | -379622833              | -175020266              | -14544144              | -0.04087%      |

Source : calculs des auteurs

L'augmentation des coûts de transports sur les exportations de l'Ouganda vers tous ses partenaires modifie largement les échanges entre les pays. Les exportations de l'Ouganda diminuent de 23.03% vers le Kenya et de 42.35% vers la Zambie, d'où une chute des exportations totales de l'Ouganda de 30.12% (Tableau 28 et Figure 8). De ce fait, la production de l'Ouganda diminue, les prix producteur et consommateur baissent, et on conclut à une faible augmentation de la demande. Les ventes locales augmentent faiblement (+0.04%) (Tableau 29). Le surplus du consommateur augmente donc alors que celui du producteur diminue. Le dernier effet étant le plus important, le bien-être en Ouganda chute de 0.6% (Tableau 34).

Les autres pays sont également affectés par ce choc. Les importations du Kenya et de la Zambie diminuent respectivement de 23.03% et de 23.51% (Tableau 29). La Zambie préfère à présent importer son maïs en provenance de la Tanzanie. Les coûts de transports entre la Zambie et la Tanzanie ainsi qu'entre la Zambie et le Zimbabwe sont nuls (Tableau 30). La Zambie peut donc importer à moindre coût le maïs en provenance de ces deux pays. Or, le prix à la production en Tanzanie augmenté des droits de douane est égal au prix à la consommation en Zambie. Le prix à la production au Zimbabwe augmenté des droits de douane est quant à lui supérieur au prix à la consommation en Tanzanie (Tableau 32). La Tanzanie choisit donc d'augmenter ses importations en provenance de la Tanzanie et non du Zimbabwe.

La production augmente au Kenya (+9.26%), en Tanzanie (+7.45%), en Zambie (+8.17%) et plus particulièrement au Zimbabwe (+100%) où elle était inexistante avant le choc (Tableau 32). Cette hausse de la production résulte en une hausse des prix, et en une légère chute des différentes demandes locales (Tableau 32). Ainsi les ventes locales en Tanzanie diminuent très faiblement. Au contraire, au Kenya et en Zambie les ventes locales augmentent nettement dû à la réduction de leurs importations (Tableau 29). Enfin, les surplus du consommateur dans chaque pays (excepté l'Ouganda) diminuent. Les surplus des producteurs augmentent, sauf au Zimbabwe et en Ouganda. A noter également, la perte de revenu public du Kenya et de la Zambie, due à leurs plus faibles importations. Les résultats en termes de bien-être varient suivant les pays mais restent relativement faibles (Tableau 34).

De manière générale, les échanges entre les pays diminuent de 0.44% (Tableau 29). Les surplus du consommateur et du producteur globaux chutent également. Il en est de même pour le revenu public global (mené par ceux du Kenya et de l'Ouganda). Ces trois impacts ont pour effet de diminuer le bien-être global dans ces régions de 0.0409% (Tableau 32 et Figure 10).

Comme mentionné précédemment, ces résultats ne sont qu'à caractère pédagogique, et ne doivent pas être utilisés en tant qu'élément de réflexion pour une prise de décision politique. Cependant, ils permettent de montrer des usages potentiels d'un modèle spatial, et de comprendre les impacts que certaines mesures commerciales peuvent avoir sur des variables clés. Ces résultats mettent également en avant un des avantages principaux du modèle d'équilibre spatial : la possibilité de générer des créations ou des disparitions de flux commerciaux entre les pays.

## **7. Mise à jour du modèle à partir de nouvelles données**

Le modèle d'équilibre spatial développé dans cette note technique peut être utilisé afin d'étudier d'autres scénarios potentiels, d'autres pays, ou d'autres produits.

### *7.1 Appliquer le modèle à des équivalents tarifaires*

Le modèle présenté dans ce document emploie des droits de douane spécifiques. Cependant, en fonction des données disponibles, le modèle s'adapte à des droits de douane ad valorem. La modification pour passer d'un équivalent à l'autre est très simple.

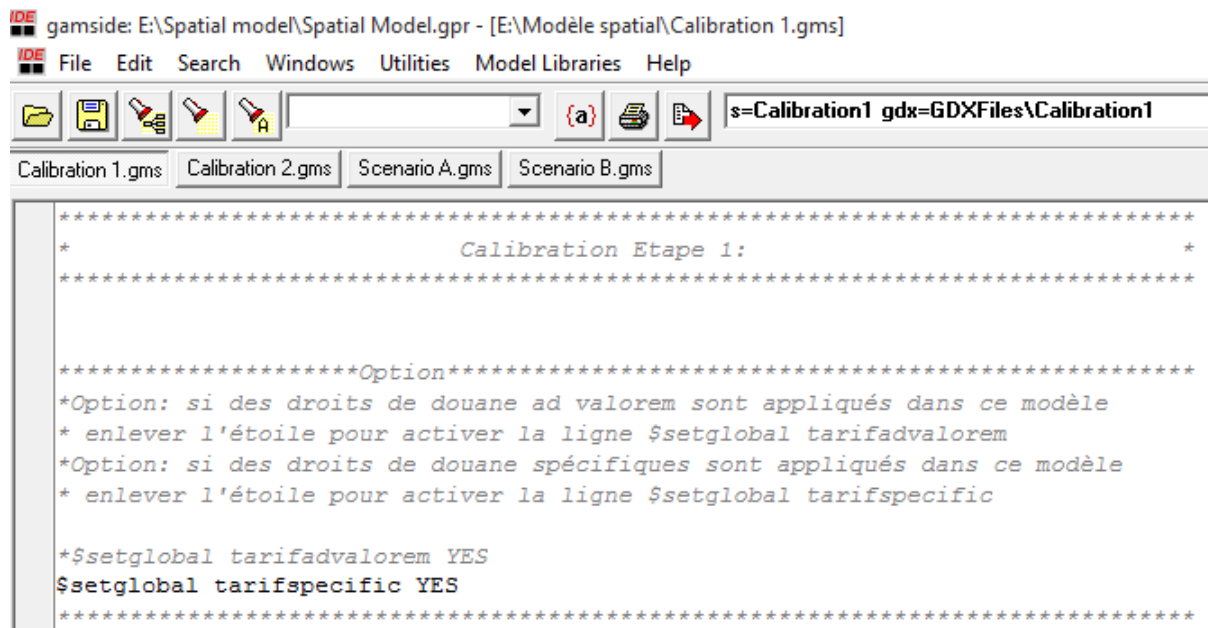
Dans la première étape de la calibration, un encadré a été créé à cet usage. En modifiant la position de l'étoile, et la plaçant d'une ligne à l'autre, on active soit la ligne « \$setglobal tarifspecific YES », soit la ligne « \$setglobal tarifadvalorem YES » (Figure 11). Une fois la ligne désirée activée, la calibration et donc le modèle ont été conçu pour s'adapter automatiquement aux données. Ainsi cette simple manipulation suffit pour passer d'une utilisation de tarifs ad valorem à une utilisation de tarifs spécifiques.

En activant les deux lignes on peut rendre compte de l'existence simultanée des deux types de tarifs.

La figure 11 présente les modifications à apporter au modèle sous GAMS afin de passer d'un équivalent tarifaire à l'autre.



Figure 9 Droits de douanes ad valorem versus droits de douane spécifiques- Calibration 1

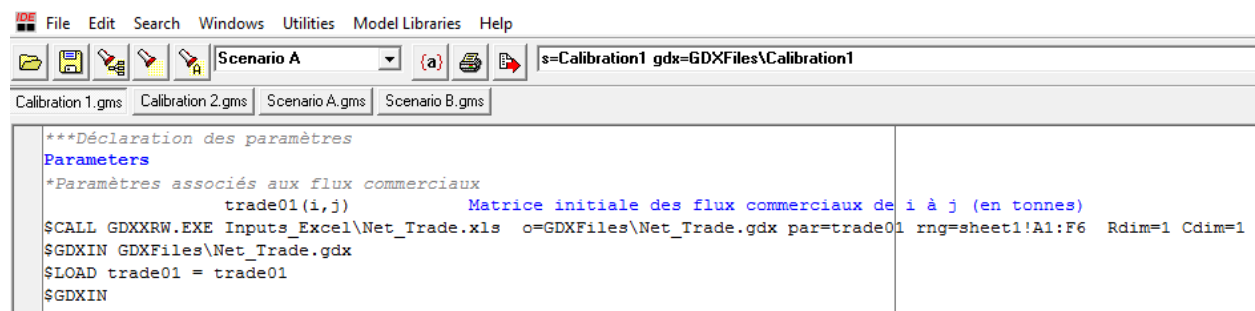


## 7.2 Appliquer le modèle à une autre base de données

Le modèle peut également être utilisé pour d'autres bases de données, incluant des régions ou des pays différents. Des données sur les flux commerciaux bilatéraux, la production, la consommation, les coûts de transports, les droits de douane, les prix à la production et les prix à la consommation sont nécessaires.

La seule modification à faire afin d'utiliser une nouvelle base de données est de la télécharger sous GAMS. Les fichiers de données Excel devront être situés dans le dossier Inputs\_Excel. Ils seront alors téléchargeables sous GAMS grâce à la commande présentée dans la Figure 12. La même démarche peut être répétée afin de télécharger de nouvelles matrices de coûts de transports, et de droits de douane.

Figure 10 Exemple de téléchargement d'une nouvelle matrice des flux commerciaux



## **8. Limites du modèle spatial**

Comme mentionné précédemment, le modèle d'équilibre spatial est un instrument utile et facile d'utilisation afin d'étudier les changements de flux commerciaux entre les pays dus à un choc de politique commerciale ou sur les coûts de transport, ou plus généralement une modification des coûts d'échange. Plus précisément, ce modèle permet d'étudier les potentielles créations et disparitions de flux commerciaux entre pays partenaires.

Cependant, il existe plusieurs limites à ce modèle. Premièrement, le modèle spatial est un modèle d'équilibre partiel. De ce fait, il ne prend pas en compte les effets d'interdépendance existants, tel que le ferait un modèle d'équilibre général. Le modèle d'équilibre spatial est donc limité à l'étude d'un secteur spécifique de l'économie.

Deuxièmement, l'estimation du modèle se base sur des hypothèses fortes, décrites dans la Section 2 de ce document, notamment sur l'hypothèse de produits homogènes. Troisièmement, le modèle d'équilibre spatial est uniquement performant pour des bases de données n'incluant que des pays frontaliers ou des zones géographiques proches. Il est plus difficile de justifier son utilisation lorsque les partenaires commerciaux sont géographiquement éloignés les uns des autres, car l'estimation des coûts de transport devient délicate, ce qui réduit son champ d'utilisation.

Cette dernière limite peut toutefois apparaître comme un avantage du modèle d'équilibre spatial. En effet, en nécessitant l'utilisation de données désagrégées, comme par exemple des données sur les coûts de transports entre différentes villes d'un même pays, le modèle obtient des résultats beaucoup plus précis que ceux pouvant provenir d'un modèle d'équilibre général. En outre, cette caractéristique, propre aux modèles d'équilibre spatial, permet plus de transparence quant à la modélisation de divers flux commerciaux. Enfin, les possibilités d'extension de ce type de modèle sont nombreuses. Il peut par exemple permettre d'étudier les effets de quotas tarifaires car ceux-ci peuvent être traités par un problème de complémentarité mixte.

Il est important de garder en mémoire ces limites et ces avantages, afin d'optimiser l'utilisation de ce type de modèle.

## Références

- Bouet, A., G. Gruere, and L. Leroy. 2013. Market effects of information requirements under the Biosafety Protocol. *International Economics*, 134, 15-28.
- Ferris, M. C., S. P. Dirkse, and A. Meeraus. 2002. *Mathematical programs with equilibrium constraints: automatic reformulation and solution via constrained optimization*. England, Oxford: Oxford University, computing laboratory report no. 02/11.
- Gruere, G., and M. Rosegrant. 2008. Assessing the implementation effects of the Biosafety Protocol's proposed stringent information requirements for genetically modified commodities in countries of the Asia Pacific Economic Cooperation. *Review of Agricultural Economics*, 30(2), 214-232.
- Jansson, T., and T. Heckelei. 2004. *Estimation of a transportation model using a mathematical program with equilibrium constraints*. Technical report 1501, Global Trade Analysis Project.
- \_\_\_\_\_. 2009. A new estimator for trade costs and its small sample properties. *Economic Modelling*, 26, 489-498.
- Mosnier, A. 2014. *Tracking indirect effects of climate change mitigation and adaptation strategies in agriculture and land use change with a bottom-up global partial equilibrium model*. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences.
- Samuelson, P. 1952. Spatial price equilibrium and linear programming. *American Economic Review*, 21, 283-303.