



ÉCOLE NATIONALE DES  
**PONTS**  
ET **CHAUSSÉES**



**IP PARIS**

# ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

2024-2025

PROJET DE FIN D'ÉTUDES  
Département Ville, Environnement, Transport

**Clara ROCH**  
Élève ingénieure

Master Économie de l'Environnement, de l'Énergie et des Transports  
Parcours Modélisation Prospective

## **Impact des politiques publiques sur les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur agricole au travers des échanges commerciaux**

Projet réalisé au sein de l'unité Paris-Saclay Applied Economics de l'INRAE  
22, place de l'Agronomie  
91120 Palaiseau  
du 1<sup>er</sup> mars au 31 août 2025.

Tuteur organisme : Christophe GOUEL  
Tuteur École : Franck LECOCQ

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Intuition</b>	<b>2</b>
2.1	Introduction d'un droit de douane dans le pays domestique . . . . .	3
2.2	Introduction d'une subvention à la production dans le pays importateur . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Model</b>	<b>5</b>
3.1	Setups . . . . .	5
3.2	Modèle en niveau . . . . .	5
3.3	Modèle en changement relatif . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Implémentation</b>	<b>9</b>
4.1	Tree-regions model . . . . .	9
4.2	Multi-countries model . . . . .	9
4.3	Data . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Résultats</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>11</b>
<b>A</b>	<b>Intuition</b>	<b>12</b>
A.1	Tariff . . . . .	12
A.2	Subvention . . . . .	13
<b>B</b>	<b>Intuition</b>	<b>14</b>

# List of Tables

# List of Figures

# Chapter 1

## Introduction

[Amorce]

Dans ce mémoire, nous allons étudier les effets de politiques publiques agricoles sur les émissions de gaz à effet de serres du secteur. Pour se faire nous nous intéresserons à un modèle de commerce de denrées agricoles. Les politiques que nous étudions sont celles des droits de douane.

[Biblio]

Pour réaliser cette étude, nous considérons les surfaces agricoles constantes, i.e. nous ne considérons pas les forêts, et la possibilité qu'elles changent de taille ici, c'est-à-dire que nous n'évaluons pas l'impact que l'agriculture peut avoir sur les couverts forestiers et donc sur les émissions de gaz à effet de serre liées à leur évolution.

Le reste du mémoire est organisé comme suit. Le chapitre 2 propose un modèle simple à deux pays et un produit, afin de comprendre comment l'implémentation de politiques agricoles affecte, par le biais des équilibres de marché, les émissions de gaz à effet de serre. Ensuite le chapitre suivant 3 présente quant à lui le modèle d'équilibre partiel utilisé pour mener notre étude, ce modèle inclus de nombreux pays et secteurs. Il se base sur celui présenté dans les papiers de Gouel et Laborde 2021 et Gouel 2025, en utilisant, à la place de fonctions de distribution de Fréchet pour capturer l'effet de l'hétérogénéité des cultures sur les rendements, et une fonction de gestion multilogit qui témoigne de l'augmentation des coûts associée à une trop forte ou trop faible spécialisation des cultures, et une fonction isoélastique pour les rendements suivant Galichon 2016. Le chapitre 4 décrit les données utilisées ainsi que leurs traitements pour intégration au modèle. Enfin, le chapitre 5 présente les résultats et donc les conclusions sur l'impact des politiques agricoles sur les émissions de gaz à effet de serre au travers du commerce en agriculture.

## Chapter 2

# Intuition

Cette section présente des premières intuitions sur comment les émissions de gaz à effet de serre (GES) réagissent à l'implémentation de deux politiques agricole : les droits de douanes et les subventions à la production.

Pour se faire considérons un marché à deux pays, avec un pays importateur  $H$  et un pays exportateur  $F$ .

Nous désignons les fonctions d'offre et de demande pour les deux pays, avec le pays  $i \in H, F$ , comme suit :

$$S_i = S_i^0 \left( 1 + \eta_i \frac{P_i - P_i^0}{P_i^0} \right), \quad D_i = D_i^0 \left( 1 + \epsilon_i \frac{P_i - P_i^0}{P_i^0} \right),$$

où  $S_i$  et  $D_i$  représentent respectivement les quantités produites et demandées par le pays  $i$ ,  $P_i$  est le prix dans le pays  $i$ , et  $\eta_i$  ainsi que  $\epsilon_i$  sont les élasticités de l'offre et de la demande dans le pays  $i$ . Ici,  $X^0$  désigne la valeur initiale de  $X$ .

Étant donné que les pays constituent l'entière de l'économie, la différence entre la demande et la production dans un pays est égale à la différence à l'inverse de celle du pays extérieur, ainsi :

$$D_H - S_H = S_F - D_F.$$

Pour simplifier la suite des calculs, nous introduisons les élasticités agrégées suivantes :

- Élasticité de demande totale

$$\epsilon = \frac{\partial D}{\partial P_F} \frac{P_F^0}{D^0} = \left( \epsilon_H \frac{D_H^0}{P_H^0} + \epsilon_F \frac{D_F^0}{P_F^0} \right) \frac{P_F^0}{D^0} < 0,$$

- Élasticité d'offre totale

$$\eta = \frac{\partial S}{\partial P_F} \frac{P_F^0}{S^0} = \left( \eta_H \frac{S_H^0}{P_H^0} + \eta_F \frac{S_F^0}{P_F^0} \right) \frac{P_F^0}{S^0} > 0,$$

- Élasticité de la demande d'importation domestique

$$\mu_H = \frac{\partial(D_H - S_H)}{\partial P_H} \frac{P_H^0}{M_H^0} = \frac{\epsilon_H D_H^0 - \eta_H S_H^0}{M_H^0} < 0,$$

- Élasticité de l'offre à l'exportation étrangère

$$\chi_F = \frac{\partial(S_F - D_F)}{\partial P_F} \frac{P_F^0}{X_F^0} = \frac{\eta_F S_F^0 - \epsilon_F D_F^0}{X_F^0} > 0.$$

Pour chaque politique on examine ses effets sur les émissions totales à travers leur impact sur les prix internationaux (prix du pays  $F$ ) et sur la production totale.

## 2.1 Introduction d'un droit de douane dans le pays domestique

Considérons une première politique, où le pays  $H$  met en place un droit de douane à l'importation  $t$ . Cela implique les relations suivantes :

$$P_H = P_F + t.$$

Sous la politique douanière, les prix dans le pays exportateur deviennent

$$\frac{P_F}{P_F^0} = -\frac{\mu_H(1 - t/P_H^0) - \chi_F}{\eta - \epsilon} \frac{X_F^0}{D^0},$$

et varient négativement selon  $t$  :

$$\frac{\partial P_F}{\partial t} = \frac{\mu_H}{\eta - \epsilon} \frac{X_F^0}{D^0} \frac{P_F^0}{P_H^0} < 0.$$

La production totale des deux pays est donnée par

$$Q = S_H^0 + S_F^0 + \frac{(P_H^0 - P_F^0 - t)(S_H^0 \eta_H \chi_F + S_F^0 \eta_F \mu_H)}{P_F^0 \mu_H - P_H^0 \chi_F},$$

et varie selon

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{S_H^0 \eta_H \chi_F + S_F^0 \eta_F \mu_H}{P_F^0 \mu_H - P_H^0 \chi_F}.$$

Le signe de ce changement est déterminé par  $S_H^0 \eta_H \chi_F + S_F^0 \eta_F \mu_H$ . Il n'y a donc pas d'effet clair des tarifs douaniers sur la production totale : un premier effet (direct) augmente la production dans le pays  $H$ , tandis qu'un second (indirect) réduit la production totale par la baisse des prix extérieurs.

Concernant les émissions totales  $E$ , si on considère que les émissions évoluent linéairement avec la production, on obtient :

$$E = E^0 + \frac{(P_H^0 - P_F^0 - t)(E_H^0 \eta_H \chi_F + E_F^0 \eta_F \mu_H)}{P_F^0 \mu_H - P_H^0 \chi_F},$$

et donc

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{E_H^0 \eta_H \chi_F + E_F^0 \eta_F \mu_H}{P_F^0 \mu_H - P_H^0 \chi_F}.$$

Ici, le signe est le même que celui de  $E_H^0 \eta_H \chi_F + E_F^0 \eta_F \mu_H$ . Autrement dit, l'effet de l'augmentation des tarifs douaniers sur les émissions totales est ambigu ; des émissions nationales plus importantes  $E_H^0$  augmentent la probabilité que l'augmentation des droits de douanes augmente les émissions globales.

Voir annexe A.1 pour le détail des calculs et pour des cas particuliers.

## 2.2 Introduction d'une subvention à la production dans le pays importateur

Dans cette section, on considère l'introduction d'une subvention à la production dans le pays  $H$ . Cela change nos fonctions d'offre, comme suit :

$$S_F = S_F^0 \left( 1 + \eta_F \frac{P_F - P_F^0}{P_F^0} \right),$$

et avec la subvention  $s$ ,

$$S_H = S_H^0 \left( 1 + \eta_H \frac{P_H + s - P_H^0}{P_H^0} \right).$$

Pour simplifier, on assume  $P_H = P_F = P$ .

Introduire une subvention conduit aux fonctions de prix et à leur dérivé suivantes :

$$\frac{P}{P^0} = 1 + \frac{\eta_H}{\mu_H - \chi_F} \frac{s S_H^0}{P^0 X_F^0},$$

$$\frac{\partial P}{\partial s} = \frac{\eta_H}{\mu_H - \chi_F} \frac{S_H^0}{X_F^0} < 0.$$

Nous pouvons donc dire que l'introduction d'une aide à la production dans le pays domestique réduira les prix dans l'ensemble des pays faisant partis du marché. La production total devient :

$$S = S^0 + \eta_H \frac{s S_H^0}{P^0} \left[ 1 - \frac{\eta}{\chi_F - \mu_H} \frac{S^0}{X_F^0} \right],$$

et sa dérivée

$$\frac{\partial S}{\partial s} = \frac{\eta_H S_H^0}{P^0} \left[ 1 - \frac{\eta}{\chi_F - \mu_H} \frac{S^0}{X_F^0} \right].$$

Étant donné que  $X_F^0(\chi_F - \mu_H) = \eta S^0 - \epsilon D^0$  et  $\epsilon < 0$ , on a

$$1 > \frac{\eta}{\chi_F - \mu_H} \frac{S^0}{X_F^0},$$

ce qui implique qu'une subvention augmentera la production totale.

En maintenant notre hypothèse de linéarité entre les émissions et la production, on a :

$$E = E^0 + \eta_H \frac{s}{P^0} \left[ E_H^0 - \frac{\eta_H E_H^0 + \eta_F E_F^0}{\chi_F - \mu_H} \frac{S_H^0}{X_F^0} \right],$$

et donc

$$\frac{\partial E}{\partial s} = \frac{\eta_H}{P^0} \left[ E_H^0 - \frac{\eta_H E_H^0 + \eta_F E_F^0}{\chi_F - \mu_H} \frac{S_H^0}{X_F^0} \right].$$

Dans ce cas, le signe de la dérivée est ambigu ; il dépend de la relation entre  $(\eta - \epsilon)E_H^0 S^0$  et  $(\eta_H E_H^0 + \eta_F E_F^0)S_H^0$ , si le premier est plus grand que le second, alors la subvention augmentera les émissions totales.

Voir annexe A.2 pour plus de détails.



# Chapter 3

## Model

Cette section présente le modèle de commerce agricole en équilibre partiel utilisé pour analyser l'impact des politiques sur les émissions de GES. Le modèle est basé sur Gouel et Laborde (2021), avec des fonctions multilogit remplaçant les fonctions de rendement de Fréchet initialement employées, comme décrit dans Gouel et al. (202?). Alors que l'approche de Fréchet suppose une qualité des terrains hétérogène, entraînant des rendements suivant une distribution de Fréchet par rapport aux taux de spécialisation, l'approche multilogit considère les terrains comme homogènes. À la place, une fonction de gestion — dans laquelle les coûts varient en fonction des différents niveaux de spécialisation — permet d'incorporer l'hétérogénéité.

### 3.1 Setups

Les pays sont indexés par  $i$  or  $j \in \mathcal{J}$ , les biens par  $k \in \mathcal{K}$ , avec  $k = 0$  le bien non-agricole jouant le rôle de numéraire,  $k = l$  les produits de l'élevage,  $k = g$  l'herbe,  $k \in \mathcal{K}^c$  les cultures ( $\mathcal{K}^c \in \mathcal{K}$ ), et  $k_{nc} \in \mathcal{K}^{nc}$  les produits agricoles non issus de la culture, c'est-à-dire les produits résultants d'un processus agro-industriel ( $\mathcal{K}^{nc} \subset \mathcal{K}$ ). On note  $\mathcal{K}^a = \mathcal{K}^c \cup \mathcal{K}^p \cup l$  l'ensemble représentant l'ensemble des biens agricoles qui peuvent être exportés, l'herbe n'étant pas exportable, elle ne fait pas partie de cet ensemble, elle n'est utilisée que pour l'alimentation de l'élevage. Les prix de production sont notés en minuscule, tandis que les prix de consommation le sont en majuscule.

Pour plus de clarté, l'annexe B, référence tous les noms des variables et paramètres utilisés dans cette étude.

### 3.2 Modèle en niveau

#### 3.2.1 Consommation

On considère que l'utilité des ménages dans le pays  $j$   $U_j$ , suit une relation quasi-linéaire avec la consommation de bien non-agricole  $C_j^0$

$$U_j = C_j^0 + \beta_j^{1/\epsilon} \ln C_j, \quad (3.1)$$

avec  $\epsilon > 0$  l'élasticité de prix de demande pour le panier de biens agricoles inverse,  $\beta_j > 0$  est un paramètre décrivant la demande pour les biens agricoles.

Considérons une demande pour les biens agricoles non-élastique aux revenus<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>cf e (Comin et al., 2021). La quantité de nourriture consommée étant plafonnée par des besoins physiologiques, mais elle peut aussi être réduite significativement si les revenus ne sont trop faible pour se procurer suffisamment de nourriture. Cette hypothèse est donc quelque peu hasardeuse dans les pays à bas revenus, dans ces pays une baisse des revenus peut

On note la consommation de l'ensemble du panier de biens agricoles dans le pays  $j$ ,  $C_j$ , qui s'exprime comme une CES des différents biens agricoles,

$$C_j = \left[ \sum_{k \in \mathcal{K}^a} (\beta_j^k)^{1/\kappa} (C_j^k)^{(\kappa-1)/\kappa} \right]^{\kappa/(\kappa-1)}, \quad (3.2)$$

avec  $\kappa > 0$  l'élasticité de substitution entre biens agricoles, on considère sa valeur identique dans chaque pays,  $C_j^k$  représente la consommation pour le produit  $k$ , et  $\beta_j^k$  est un paramètre exogène de préférence pour le bien  $k$  dans le pays  $j$ .

Étant donné l'utilité des ménages de l'équation 3.1, la maximisation de la demande implique la relation suivante :

$$C_j = \beta_j (P_j)^{-\epsilon}, \quad (3.3)$$

avec  $P_j$  le prix du panier de biens agricoles dans le pays  $j$ , tel que

$$P_j = \left[ \sum_{k \in \mathcal{K}^a} \beta_j^k (P_j^k)^{1-\kappa} \right]^{1/(1-\kappa)}, \quad (3.4)$$

où  $P_j^k$  représente le prix du bien  $k$  dans le pays  $j$ .

Les équations 3.4 et 3.2 donnent permettent d'exprimer la demande pour le bien agricole  $k$  :

$$C_j^k = \beta_j^k \left( \frac{P_j^k}{P_j} \right)^{-\kappa} C_j. \quad (3.5)$$

La demande pour le bien extérieur découle de l'ensemble des consommations  $E_j$ , ce qui donne :

$$P_j^0 C_j^0 = E_j - P_j C_j. \quad (3.6)$$

### 3.2.2 Échange

Pour les échanges entre pays, on considère une hypothèse de préférences des biens locaux d'Armington, avec l'élasticité associée  $\sigma > 0$  et  $\neq$ . Seuls les échanges inter-pays sont considérés, les transports sont supposés sans frictions à l'intérieur même des pays. On note les coûts iceberg du transport du bien  $k$  du pays  $i$  vers le pays  $j$   $\tau_{ij}^k$ , ainsi le prix dans le pays  $j$  du bien  $k$  produit dans le pays  $i$  est  $\tau_{ij}^k P_i^k$ , et le prix total du bien  $k$  dans le  $j$  est données par une CES des prix d'importations :

$$P_j^k = \left[ \sum_{k \in \mathcal{J}} \beta_{ij}^k (\tau_{ij}^k P_i^k)^{1-\sigma} \right]^{1/(1-\sigma)}. \quad (3.7)$$

La quantité totale importée de biens  $k$  dans le pays  $j$ ,  $X_j^k$  est donc égale à la somme des consommations finales  $C_j^k$  et intermédiaires  $x_j^k$  de  $k$  dans le pays (par soucis de simplicité, on considère que les consommations nationales dans les imports, i.e. si le pays est en autarcie,  $C_j + x_j = X_j = X_{jj}$ ) :

$$X_i^k = C_j^k + x_j^k. \quad (3.8)$$

---

conduire à une baisse de la consommation alimentaire, alors que dans les pays à plus haut revenus, les revenus resteront majoritairement suffisants pour couvrir les besoins alimentaires

La condition de zéro profit [how?] permet d'exprimer la quantité de bien importé depuis chaque pays  $i$  :

$$X_{ij}^k = \beta_{ij}^k \left( \frac{\tau_{ij}^k p_i^k}{P_j^k} \right)^{-\sigma} X_j^k. \quad (3.9)$$

Les imports sont néanmoins contraints par la capacité à payer ces imports, l'ensemble des dépenses du pays étant égales à l'ensemble des revenus :

$$E_j = w_j N_j + r_j L_j + B_j, \quad (3.10)$$

avec  $w_j$  les salaires,  $N_j$  la quantité de travailleurs,  $r_j$  le loyer des terres agricoles,  $L_i$  la quantité totale de celles-ci, et  $b_j$  la balance commerciale.

### 3.2.3 Production

On considère séparément les productions issues du sol, les cultures, de l'agriculture, les produits animaliers et d'autres processus agro-industriels, les produits transformés d'origine végétale. Seules les cultures utilisent de la terre, l'espace utilisé par l'élevage est compté au travers de l'alimentation des animaux.

#### Bien extérieur

Le bien extérieur utilise donc pas de terres, et n'utilisant pas de biens agricoles nous considérons qu'il est produit uniquement à partir de travail, et ce, toujours avec le même rendement, que nous notons  $A_i^0$ , ce qui donne  $Q_i^0 = A_i^0 N_i^0$ , et donc que le salaire vaut  $W_i = A_i^0 p_i^0$ , étant donné que le bien extérieur et numéraire on écrit  $W_i = A_i^0$ .

#### Cultures

Nous considérons dans chaque pays un seul champ, de qualité homogène et de surface constante, avec des cultures différentes. Pour chaque culture, on représente les rendements  $Y_i^k$  par isoélastique qui dépend de la surface allouée  $s_i^k L_i$  et de la quantité d'entrant apportée :

$$Y_i^k = y_i^k \left( \frac{F_i^k}{s_i^k L_i} \right)^{\zeta_i^k / (1 + \zeta_i^k)}, \quad (3.11)$$

avec  $\zeta_i^k > 0$  l'élasticité de rendement, et  $y_i^k$  un paramètre de niveau de rendements.

Parallèlement, pour représenter l'hétérogénéité des cultures et d'éviter une spécialisation totale, nous utilisons une fonction de coût de production multilogit  $f$  permet de traduire les coûts importants d'une trop faible ou trop importante spécialisation (risque de perte d'une culture qui représente l'ensemble des revenus, travail de trop de terres concentré sur un moment trop court nécessitant un nombre élevé d'ouvriers agricoles et de machines, ou à l'inverse trop de cultures différentes avec leurs particularités et leur calendrier différent), en affectant le profit par hectare  $\pi_i^k$  d'un coût de gestion en plus de celui des entrants  $F_i^k$  :

$$\pi_i^k = \sum_{k \in \mathcal{K}^c} [p_i^k Y_i^k - p_i^0 F_i^k / (s_i^k L_i)] s_i^k - W_i f(s_i^k), \quad (3.12)$$

avec  $f(s_i^k) = \sum_{k \in \mathcal{K}^c} c_i^k s_i^k + a^{-1} \sum_{k \in \mathcal{K}^c} s_i^k \ln s_i^k$ , où  $c_i^k$  est un paramètre qui permet de reproduire la répartition initiale des cultures  $s_i^k$ , et  $a > 0$  est un paramètre de comportement qui régit l'élasticité des surfaces cultivées.

On obtient ensuite l'expression des  $s_i^k$ , en dérivant 3.11 sous condition de  $\sum_{k \in \mathcal{K}^c} s_i^k = 1$  :

$$s_i^k = \frac{\exp(a \tilde{\pi}_i^k)}{\sum_{l \in \mathcal{K}^c} \exp(a \tilde{\pi}_i^l)}, \quad (3.13)$$

avec  $\tilde{\pi}_i^k = [p_i^k Y_i^k - p_i^0 F_i^k / (s_i^k L_i) - W_i c_i^k] / W_i$ .

En posant  $\phi_i = \log \sum_{k \in \mathcal{K}^c} \exp(a \tilde{\pi}_i^k)$ , on peut simplifier 3.13 en :

$$s_i^k = \exp(a \tilde{\pi}_i^k - \phi_i). \quad (3.14)$$

On obtient la demande totale en entrant, en maximisant les profits sous condition de (??), , ce qui donne :

$$F_i^k = s_i^k L_i \left( \frac{s_i^k}{1 + \varsigma_i^k} \right)^{1 + \varsigma_i^k} \left( \frac{p_i^k y_i^k}{p_i^0} \right)^{1 + \varsigma_i^k}, \quad (3.15)$$

et nous permet de réécrire l'expression du profit réel  $\pi_i^k$ , comme :

$$\tilde{\pi}_i^k = \frac{(\varsigma_i^k)^{\varsigma_i^k}}{(p_i^0)^{\varsigma_i^k} W_i} \left( \frac{p_i^k y_i^k}{1 + \varsigma_i^k} \right)^{1 + \varsigma_i^k} - c_i^k. \quad (3.16)$$

### Produits transformés

Dans cette section, nous n'abordons que les biens issus exclusivement d'un processus ou métabolique (?) ou agro-industriel, plusieurs secteurs d'activité peuvent produire un même bien, ainsi la production totale d'un bien est la somme de ses productions dans chaque activité  $a$  :

$$Q_i^k = \sum_{\{a | k \in \mathcal{O}(a)\}} Q_i^{ak}, \quad (3.17)$$

avec  $\mathcal{O}(a)$  désigne l'ensemble des biens produits par l'activité  $a$ .

**Produits d'origine animale** La production de produits animales est régit par une fonction Léontief, du travail nécessaire  $N_i^{\text{livestock}}$ , de son efficacité  $A_i^{\text{livestock}}$  et de la quantité de nourriture nécessaire pour l'alimentation des animaux  $x_i^{\text{feed}}$  et d'un paramètre d'assimilation par l'organisme (??)  $\mu_i^{\text{feed}}$  :

$$Q_i^{\text{livestock}} = \min \left( \frac{x_i^{\text{feed}}}{\mu_i^{\text{feed}}}, \frac{N_i^{\text{livestock}}}{A_i^{\text{livestock}}} \right), \quad (3.18)$$

$x_i^{\text{feed}}$  est composé comme une CES des produits que les animaux peuvent manger, comme suit

$$x_i^{\text{feed}} = \left[ \sum_{k \in \mathcal{O}(\text{feed})} (\beta_i^{k, \text{feed}})^{1/\kappa_{\text{feed}}} (x_i^k)^{(\kappa_{\text{feed}} - 1)/\kappa_{\text{feed}}} \right]^{\kappa_{\text{feed}}/(\kappa_{\text{feed}} - 1)}. \quad (3.19)$$

Ce qui conduit au prix de production suivant, en l'absence de profit :

$$p_i^{\text{livestock}} = A_i^{\text{livestock}} W_i + \mu_i^{\text{feed}} P_i^{\text{feed}}. \quad (3.20)$$

### Produits d'origine végétale

## 3.3 Modèle en changement relatif

Nous adoptons le système d'équation précédent en changement relatif, en posant  $\hat{x} = \text{primex}/x$ , le changement relatif de la variable  $x$  entre son état à l'équilibre de référence  $x$ , et celui dans le scénario contractuel  $\text{primex}$ . Considérer les changements relatifs plutôt que les valeurs en niveau permet de se débarrasser de nombreux paramètres compliqués à paramétrer, ainsi nous n'avons pas besoin de calibrer des paramètres comme ceux de préférences  $\beta$ , car les préférences sont considérées identiques entre les situations de référence et contractuelles. L'implication directe d'une calibration en variation, et que si  $x = 0$ , alors  $\text{tx} = 0$ .

## Chapter 4

# Implémentation

- tidy\_faostat (récupération données, agrégation + nettoyage)
- tidy\_fabio (agrégation, nettoyage des losses, et process)
- valeur arbitraire choisit en fonction des autres papiers ou de la plouf (du coup la plouf pour le share cost labor et land )

### 4.1 Tree-regions model

In order to simplify the model, we first run it with two countries and one regions: China, United State of America, and a region Rest Of the World (RoW); the production and consumption values of China and the United State are around zero and two order of magnitude smaller then the values associated to the region RoW (e.g. cereals consumption in RoW is evaluated at 4.01e11, while China's and USA's are respectively at 1.35e11 and 4.28e10; for sugar we have in the same order 1.17e11, 3.72e10, and 6.99e9), this allows us to consider this tree regions in parallel.

### 4.2 Multi-countries model

In the multicountry model, we consider a wider range of countries and agricultural products.

### 4.3 Data

#### 4.3.1 Data for initial equilibrium

To calibrate the model, we use prices from FAOSTAT, and production and consumption from FABIO. Our prices are

## Chapter 5

## Résultats

## Chapter 6

## Conclusion

# Appendix A

## Intuition

### A.1 Tariff

First, we express  $P_F$  as a function of  $t$  and the elasticities.

Starting from the equation

$$D_H - S_H = S_F - D_F,$$

and using the definitions of demand and supply, we obtain:

$$D_H^0 \left( 1 + \epsilon_H \frac{P_H - P_H^0}{P_H^0} \right) - S_H^0 \left( 1 + \eta_H \frac{P_H - P_H^0}{P_H^0} \right) = S_F^0 \left( 1 + \eta_F \frac{P_F - P_F^0}{P_F^0} \right) - D_F^0 \left( 1 + \epsilon_F \frac{P_F - P_F^0}{P_F^0} \right).$$

We then factorize by  $\frac{P_i - P_i^0}{P_i^0}$  for  $i = H, F$ :

$$\frac{P_H - P_H^0}{P_H^0} [D_H^0 \epsilon_H - S_H^0 \eta_H] + D_H^0 - S_H^0 = \frac{P_F - P_F^0}{P_F^0} [S_F^0 \eta_F - D_F^0 \epsilon_F] + S_F^0 - D_F^0.$$

Noting that  $D_H^0 - S_H^0 = S_F^0 - D_F^0$ , we obtain:

$$\frac{P_H - P_H^0}{P_H^0} [D_H^0 \epsilon_H - S_H^0 \eta_H] = \frac{P_F - P_F^0}{P_F^0} [S_F^0 \eta_F - D_F^0 \epsilon_F].$$

Using the aggregated elasticities defined in Chapter 2.1, we have

$$\frac{P_F}{P_F^0} = - \frac{\mu_H (1 - t/P_H^0) - \chi_F}{\eta - \epsilon} \frac{X_F^0}{D^0}.$$

Multiplying both sides by  $P_F^0$ , a straightforward derivation yields:

$$\frac{\partial P_F}{\partial t} = \frac{\mu_H}{\eta - \epsilon} \frac{X_F^0}{D^0} \frac{P_F^0}{P_H^0} < 0.$$

Assuming an initial tariff of zero, i.e.  $P_F^0 = P_H^0$ , we have:

$$\frac{P_F}{P_F^0} = - \frac{(1 - t/P_H^0) \mu_H - \chi_F}{\chi_F - \mu_H} = 1 + \frac{\mu_H}{\chi_F - \mu_H} \frac{t}{P_H^0}.$$



Assuming an initial tariff of zero and uniform elasticities across countries, the price and its derivative are given by:

$$P_F = P_F^0 + t \frac{\mu_H}{\eta_i - \epsilon_i} \frac{X_F^0}{D^0},$$

$$\frac{\partial P_F}{\partial t} = \frac{\mu_H}{\eta_i - \epsilon_i} \frac{X_F^0}{D^0} < 0.$$

Regarding total production  $Q$ , with an initial tariff of zero we have:

$$Q = Q^0 + \frac{-\frac{t}{P_H^0} \eta_i (S_H^0 \chi_F + S_F^0 \mu_H)}{\mu_H - \chi_F},$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \eta_i \frac{S_H^0 \chi_F + S_F^0 \mu_H}{\chi_F - \mu_H} \frac{1}{P_H^0}.$$

For emissions, using  $E_i = e_i S_i$ , we obtain the results presented in Section 2.1. In addition, assuming an initial tariff of zero and equal elasticities (i.e.,  $\eta_H = \eta_F = \eta_i$  and  $\epsilon_H = \epsilon_F = \epsilon_i$ ), we have:

$$E = E^0 + \frac{\frac{t}{P_H^0} \eta_i (E_H^0 \chi_F + E_F^0 \mu_H)}{\chi_F - \mu_H},$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \eta_i \frac{E_H^0 \chi_F + E_F^0 \mu_H}{\chi_F - \mu_H} \frac{1}{P_H^0}.$$

## A.2 Subvention

By rewriting the equilibrium equation with the new supply functions,

$$D_H^0 \left( 1 + \epsilon_H \frac{P - P^0}{P^0} \right) - S_H^0 \left( 1 + \eta_H \frac{P + s - P^0}{P^0} \right) = S_F^0 \left( 1 + \eta_F \frac{P - P^0}{P^0} \right) - D_F^0 \left( 1 + \epsilon_F \frac{P - P^0}{P^0} \right),$$

we obtain the price and its derivative as presented in Section 2.2.

When elasticities are uniform across countries, so that  $\epsilon_i = \epsilon$  and  $\eta_i = \eta$ , we have:

$$\frac{P}{P^0} = 1 + \frac{\eta}{\mu_H - \chi_F} \frac{s S_H^0}{P^0 X_F^0},$$

$$\frac{\partial P}{\partial s} = -\frac{\eta}{\chi_F - \mu_H} \frac{S_H^0}{X_F^0} < 0.$$

With regard to supply, we have:

$$S = S_F + S_H = S^0 + S^0 \eta \frac{P - P^0}{P^0} + S_H \eta_H \frac{s}{P^0},$$

which yields the results in Section 2.2.

For emissions, using again  $E = e_H S_H + e_F S_F$ , in the case of uniform elasticities the introduction of the subsidy results in higher emissions only if

$$\frac{E_H^0}{\eta S_H^0} > \frac{E^0}{(\eta - \epsilon) S^0}.$$

# Appendix B

## Intuition

One can find here a list of the variables used in the model from chapter 3, for more clarity.

Name	Description	Type
$\beta_{..}^k \geq 0$	preference parameter	param
$\kappa > 0 \neq 1$	elasticity of substitution between agr product	param
$\kappa_{\text{feed}} > 0$	elasticity of substitution between various feed crops	param
$\sigma > 0 \neq 1$	Armington elasticity of substitution	param
$\epsilon > 0$	opposite of price elasticity of demand for the agricultural bundle	param
$p_j^k$ and $P_j^k$	producer and composite price of imports of good $k$ in country $j$	variables
$\tau_{ij}^k \geq 1$	iceberg cost from $i$ to $j$ for $k$ , here = 1	param
$C_j^0$	final consumption of non-agr product, $P_j^0 = 1$	variable
$C_j^k$	final consumption of product $k$ in $j$	variable
$x_{\lambda}^{k,j}$	content of $k$ in process $\lambda$ or livestock feed in country $j$	variable
$\mu_{\lambda,i}^k$	conversion ratio of $k$ in process $\lambda$ or of livestock feed	param
$\nu_i^k$	unit of labor required per unit of land	param
$A_i^0 > 0$	labor productivity (in money), equal to wages $A_i^0 = w_i$	param
$N_i^0$	labor demand for no-agr good in country $i$	param
$L_i^k$	surface of field dedicated to $k$ in country $i = s_i^k L_i$	variable
$r_i^k$ and $R_i^k$	per hectare and total land rents ( $R_i^k = r_i^k L_i^k$ )	variables
$s_i^k$	share of field in country $i$ allocated to $k$	variable
$Q_i^k$	total output of $k$ in $i$ ( $Q_i^k = s_i^k L_i^k Y_i^k$ )	variable
$Q_i^{l\lambda}$	qtt of output $l$ in the process $\lambda$	variable
$Q_i^\lambda = \sum Q_i^{l\lambda}$	total qtt of output in the process $\lambda$	variable
$v_i^{\lambda l\lambda} = Q_i^{l\lambda} / Q_i^\lambda$	mass proportion of output $l_\lambda$ in the process $\lambda$	parameter
$m_i^{\lambda k\lambda} = x_{\lambda,i}^{k\lambda} / x_i^\lambda$	mass proportion of input $k_\lambda$ in process $\lambda$	parameter
$y_i^k$ and $Y_i^k$	average and total yields of $k$ in $i$	param, variable
$\varsigma_i^k > 0$	yield elasticity	param
$X_i^k$	quantity of inputs that intensify land	variables
$P_i^X$	price of $X$ in country $i$	param
$P_i^Z$	price of non-land-intensifying input	param
$\alpha_i > 0$	behavioral parameter that governs the acreage elasticity	param
$X_{v,ij}^k$	volume of bilateral export between $i$ and $j$ for good $k$	variable
$B_i$	trade balance/deficits of country $i$	variable
$E_i$	expenditures	variable