



HAL
open science

Adaptation du modèle MATSIM-LUCA pour l'intégration d'une agriculture sans pesticides en France et dans l'Union Européenne

Fabrice Levert, Charlotte Chemarin, Chantal Le Mouél

► **To cite this version:**

Fabrice Levert, Charlotte Chemarin, Chantal Le Mouél. Adaptation du modèle MATSIM-LUCA pour l'intégration d'une agriculture sans pesticides en France et dans l'Union Européenne. INRAE. 2024, 128 p. hal-04564238

HAL Id: hal-04564238

<https://hal.inrae.fr/hal-04564238>

Submitted on 30 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Adaptation du modèle MATSIM-LUCA pour l'intégration d'une agriculture sans pesticides en France et dans l'Union Européenne

Fabrice Levert, Charlotte Chemarin, Chantal Le Mouël

INRAE, UMR INRAE-IARA SMART, F-35 000 Rennes, France

Délivrables D341-2-3 [Rapports d'étape] Adaptation d'un modèle mondial de marchés et d'échanges agricoles pour simuler les impacts de scénarios de transition vers des pratiques culturales sans pesticides (D341-Adaptation de l'offre ; D342-Adaptation de la demande ; D343-Adaptation des échanges)

Projet FAST Faciliter l'action publique pour sortir des pesticides
Programme Prioritaire de Recherche (PPR) Cultiver et protéger autrement

Table des matières

1	Introduction.....	6
2	Les adaptations du modèle MATSIM-LUCA.....	8
2.1	Comparaison synthétique des deux versions.....	8
2.2	Spécifications du modèle MATSIM-B	8
2.2.1	Technologies de productions agricoles végétales.....	8
2.2.2	Les marchés des facteurs de production agricole	10
2.2.2.1	Le nid terre et engrais	10
2.2.2.1.1	Le marché de l'azote	12
2.2.2.1.2	L'offre de terre agricole.....	13
2.2.2.2	Le nid des pesticides, du travail salarié et des autres facteurs et moyens de production agricole	18
2.2.3	Technologies de productions agricoles animales.....	20
2.2.3.1	La demande et l'offre d'autres facteurs et intrants	22
2.2.3.2	La demande alimentaire des animaux	23
2.2.4	Cas particulier de la production du son.....	27
2.2.5	Technologie des secteurs de transformation.....	27
2.2.6	Technologie de la demande alimentaire en produits issus de l'agriculture biologique	28
2.2.7	Règles de bouclage du modèle.....	30
3	Les données pour la modélisation d'une agriculture européenne sans pesticides	32
3.1	Les données de surface et de production	32
3.1.1	Surfaces et productions : en bref :	32
3.1.2	Sources de données mobilisées :	32
3.1.3	Surfaces : méthodologie.....	32
3.1.4	Le prix de la terre.....	33
3.1.5	Rendements et productions : méthodologie	34
3.1.6	surfaces : Données finales.....	36
3.2	Les données sur les autres facteurs et intrants de production.....	36
3.2.1	L'intrant pesticide.....	36
3.2.1.1	Les pesticides : en bref	36
3.2.1.2	Les pesticides : sources de données mobilisables.....	36
3.2.1.3	Prix des pesticides : méthodologie.....	37
3.2.1.4	Intensité d'application des pesticides : méthodologie.....	38
3.2.1.4.1	Intensité d'application des pesticides en France	38
3.2.1.4.2	Intensité d'application des pesticides dans la zone ROFUE	41
3.2.1.5	Les pesticides : Données finales	43

3.2.1.5.1	Prix des pesticides	43
3.2.1.5.2	Quantité de pesticides utilisés par ha	44
3.2.2	L'intrant azote	44
3.2.2.1	L'azote : en bref.....	44
3.2.2.2	L'azote : les sources de données mobilisables	45
3.2.2.3	Taux de fertilisation : méthodologie pour MATSIM_B.....	46
3.2.2.3.1	Calculs des quantités d'azote déduites de GlobAgri	46
3.2.2.3.2	Hypothèses nécessaires pour répartir les quantités d'azote entre systèmes de production conventionnel et biologique.....	47
3.2.2.3.3	Prix de l'azote : méthodologie pour MATSIM_B.....	47
3.2.2.3.4	L'azote : Données finales.....	49
3.2.1	L'intrant travail salarié.....	50
3.2.1.1	Le travail : en bref.....	50
3.2.1.2	Le travail : sources de données mobilisables	51
3.2.1.3	Le travail en agriculture biologique vs. conventionnelle	51
3.2.1.4	Quantité de travail : Méthodologie pour MATSIM_B	53
3.2.1.4.1	Temps de travail dans le système conventionnel	53
1.2.3.4.1.	Temps de travail en bio	54
1.2.3.5.	Salaires : méthodologie pour MATSIM_B.....	55
3.2.1.5	Le travail : Données finales.....	55
3.2.1.5.1	Prix du travail salarié	55
3.2.1.5.2	Quantité de travail salarié	56
3.3	Les données de production animale	57
3.3.1	La production animale : En bref	57
3.3.2	La production animale : Sources de données mobilisables	58
3.3.3	Information sur les productions animales et les écarts de productivité.....	59
3.3.3.1	Estimations des productions à partir des données existantes.....	59
3.3.3.2	Estimation des productions à partir d'une méta-analyse	60
3.3.3.3	Estimation des productions à partir des informations d'instituts techniques.....	60
3.3.4	La production animale : Les calculs.....	61
3.3.4.1	Les cheptels	62
3.3.4.1.1	Les cheptels : en bref.....	62
3.3.4.1.2	Les cheptels : Sources de données mobilisables.....	62
3.3.4.1.3	Les cheptels : méthodologie	62
3.3.4.1.4	Les cheptels : Données finales	63
3.3.4.2	Calculs de la productivité des élevages bio et conventionnels	63

3.3.4.3	Calcul de la production des élevages bio et conventionnels	64
3.3.5	La production animale : La coproduction d'azote organique	65
3.4	La production animale : Données finales	67
3.5	Les rations alimentaires animales	69
3.5.1	Les rations : en bref	69
3.5.2	Les rations : Les sources de données mobilisables	70
3.5.3	Les rations : les coefficients IO	71
3.5.3.1	Ecart des coefficients IO entre élevages bio et conventionnels	71
3.5.3.2	Calcul des IO pour chaque système	73
3.5.3.3	Coefficients IO obtenus à partir des calculs	74
3.5.4	Les rations : Composition par catégorie d'aliments	74
3.5.4.1	Composition par catégorie d'aliments dans MATSIM-LUCA	74
3.5.4.2	Réglementation en AB	75
3.5.4.3	Catégories d'aliments selon les systèmes	76
3.5.4.3.1	Chez les granivores :	76
3.5.4.3.2	Chez les petits ruminants :	76
3.5.4.3.3	Chez les bovins :	77
3.5.4.4	Composition par catégorie d'aliments à partir des calculs	78
3.5.5	Les rations : Composition par produit au sein des aliments concentrés	79
3.5.5.1	Composition par produit des rations dans MATSIM-LUCA	79
3.5.5.2	Méthode d'allocation des produits entre les rations des systèmes conventionnels et biologiques	81
3.5.6	Les rations : Données finales	82
3.6	Désagrégation des bilans d'approvisionnement	83
3.6.1	Bilans d'approvisionnement du secteur végétal	83
3.6.1.1	Bilans d'approvisionnement : en bref	83
3.6.1.2	Les bilans : Sources de données mobilisables	85
3.6.1.3	Les bilans : Calculs pour les cultures	86
3.6.1.3.1	Bilans : Calculs pour les produits couverts par FranceAgrimer (France)	86
3.6.1.3.2	Bilans : Calcul pour les produits non concernés par les bilans FranceAgriMer ...	89
3.6.1.3.3	Bilans d'approvisionnements pour la zone ROFUE	92
3.6.1.4	Les bilans : Calculs pour les huiles, les tourteaux et le son	94
3.6.1.4.1	Détermination des coefficients de conversion pour la trituration	94
3.6.1.4.2	Bilans tourteaux et huiles	94
3.6.1.4.3	Bilans pour le son	95
3.6.1.5	Bilans d'approvisionnement des produits végétaux : Données finales	96

3.6.1.5.1	Bilans des cultures.....	96
3.6.1.5.2	Bilans des huiles, tourteaux et son.....	99
3.6.2	Bilans d’approvisionnement du secteur animal.....	100
3.6.2.1	Bilans d’approvisionnement des produits animaux : Calculs.....	100
3.6.2.2	Bilans d’approvisionnement des produits animaux : Données finales	100
3.7	Les prix, recettes et marges	101
3.7.1	Les prix des produits agricoles en bref :	101
3.7.2	Les prix des produits végétaux	102
3.7.2.1	Les prix des produits végétaux : Données mobilisables.....	102
3.7.2.2	Les prix des produits végétaux : Méthodologie	102
3.7.3	Les prix des produits animaux.....	103
3.7.3.1	Les prix des produits animaux : Données mobilisables.....	103
3.7.3.2	Les prix des produits animaux : Méthodologie	103
3.7.1	Le prix des produits agricoles : Données finales	105
4	Calibrage du modèle.....	107
4.1	Les marges dans les secteurs de la production végétale	107
4.2	Les marges dans les secteurs de la production animale	111
4.3	Valeurs pré-attribuées à certaines élasticités pour le calibrage	113
5	Validation : première étape	115
5.1	Les scénarios simulés	115
5.2	Analyse des résultats de simulations	118
5.3	Quelques enseignements des exercices de simulations	121
6	Annexes	122
6.1	Ecarts de rendements entre les systèmes bio et conventionnels pour différentes cultures selon Seufert et al. (2012) et Ponisio et al. (2015).....	122
6.2	Ecarts de productivité et d’efficacité alimentaire entre les systèmes animaux bio et conventionnels selon Gaudaré et al. (2021)	124
6.3	Le marché alimentaire bio en 2018, AgenceBio, estimation des échanges extérieurs en valeur	125
7	Bibliographie.....	127

1 Introduction

Le modèle MATSIM-LUCA (Market And Trade SIMulation model for Land-Use Change Analysis) est un modèle de marchés et d'échanges agricoles mondiaux. C'est un modèle d'équilibre partiel qui permet de simuler les impacts de chocs exogènes résultant de changements de contexte ou de politique dans une ou plusieurs zones du monde sur les équilibres de marchés : production, consommation (humaine, animale et autre), échanges et prix, dans chaque zone considérée et au niveau mondial.

La première version du modèle était centrée sur les grandes cultures et a été développée dans le cadre d'une étude réalisée pour le compte de l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) entre 2012 et 2013. Cette étude avait été commandée dans le contexte du débat sur la durabilité des biocarburants de première génération, et dans la suite de la directive européenne 'Renewable Energy Directive' (RED) adoptée en 2009. L'objectif de l'étude était d'évaluer les changements d'usage des terres induits par le développement des biocarburants en France et en dans l'Union européenne (UE) depuis 2009. Le changement d'usage des terres ayant un rôle central, MATSIM-LUCA a été développé en mettant l'accent sur la représentation de l'usage des terres en agriculture. Ainsi la particularité de MATSIM-LUCA est de représenter explicitement les technologies de production agricole et les marchés des facteurs de production (dont la terre), à l'image de ce qui se fait usuellement dans les modèles d'équilibre général, mais plus rarement dans les modèles d'équilibre partiel. Cette première version du modèle est décrite en détail dans Forslund et al. (2013 a et b). Les résultats de simulations obtenus sont analysés dans Forslund et al. (2013c). Par ailleurs, c'est cette même version du modèle qui a été utilisée dans Gohin, Levert and Forslund (2017) qui propose une évaluation des impacts pour l'UE de la politique argentine de taxation de ses exportations.

Le modèle initial a été étendu à l'élevage et aux marchés des produits animaux dans le cadre d'une seconde étude commandée également par l'ADEME et réalisée entre 2015 et 2016. Cette étude (CLAC-LUC pour Crop-Livestock Land Competition : Land-Use Change and greenhouse gas emissions) avait pour objectif d'évaluer les impacts sur les marchés, en termes de changements d'usage des terres et d'émissions de gaz à effet de serre (GES) de scénarios d'évolution alternative des systèmes de production ou de la consommation de produits animaux dans différentes régions du monde. Un module de calcul des émissions de GES induites par le changement d'usage des terres a donc été ajouté dans cette deuxième version du modèle. Les spécifications des technologies de production animale, l'élargissement de la demande humaine aux produits animaux ainsi que l'ensemble des données utilisées pour calibrer la nouvelle version du modèle sont décrits respectivement dans Levert et al. (2017) et Hercule et al. (2017). Le scénario de référence et les résultats de simulation des scénarios alternatifs sont analysés dans Forslund et al. (2017). Cette deuxième version du modèle a été utilisée et adaptée dans le cadre de la thèse de Thibault Salou, qui visait à coupler la méthode de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) à un modèle économique pour développer un modèle d'Analyse du Cycle de Vie Conséquentielle (ACVC) permettant d'étudier les impacts environnementaux (via les changements d'usage des terres notamment) d'un changement de système de production, dans notre cas, provoqué par un changement de politique publique. L'application portait sur le secteur laitier français (Salou 2017). La version de MATSIM-LUCA utilisée et adaptée pour cette thèse est décrite dans Salou et al. (2017).

C'est la deuxième version du modèle MATSIM-LUCA qui est le point de départ de ce rapport qui rassemble trois livrables de la tâche 3.4 du projet FAST (D341, D342 et D343). L'objectif de ce rapport est de décrire comment cette deuxième version du modèle a été adaptée pour être en mesure, tel que prévu dans cette tâche 3.4, de simuler les impacts sur les équilibres de marchés

de scénarios de transition vers des pratiques culturales sans pesticides¹ en France et dans le reste de l'UE. Du côté de l'offre, l'idée de départ est, pour chaque produit agricole considéré, d'introduire à côté de la technologie de production conventionnelle une technologie de production alternative sans pesticides, les deux technologies étant en concurrence pour différents facteurs de production dont la terre. Du côté de la demande, il s'agit d'élargir la fonction d'utilité du consommateur afin qu'il considère produits conventionnels et produits sans pesticides dans ses arbitrages. Enfin, du côté des échanges mondiaux, l'idée est dans un premier temps de considérer des échanges de produits sans pesticides uniquement à l'intérieur de l'UE, l'extension du modèle à des marchés mondiaux de produits sans pesticides (i.e., la modélisation de l'offre et de la demande de produits sans pesticides dans toutes les régions du monde) étant au-delà du périmètre du projet FAST.

Que ce soit du côté de l'offre ou de la demande, les données observées concernant les produits sans pesticides en France et dans le reste de l'UE sont quasi-inexistantes. En revanche, nous pouvons disposer d'un jeu quasi-complet de données observées permettant de calibrer le modèle pour les produits issus de l'agriculture biologique. C'est donc cette technologie de production et les produits biologiques que nous avons introduits pour la France et le reste de l'UE dans cette nouvelle version de MATSIM-LUCA (que nous appellerons dans la suite MATSIM-B). L'agriculture biologique est un type d'agriculture sans pesticides (de synthèse). C'est néanmoins un type assez particulier en ce sens qu'il implique également la non-utilisation d'engrais minéraux. D'autres types d'agriculture sans pesticides pourraient émerger qui ne banniraient pas nécessairement les engrais minéraux (voir par exemple Mora et al. (2023)). La nouvelle version du modèle que nous présentons ici pourra évidemment intégrer de telles technologies alternatives dès lors que nous serons capables de les calibrer à partir de données de référence sur la ou les combinaisons d'intrants types qu'elles impliquent et leurs performances en termes de rendement à l'hectare.

Nous présentons d'abord les adaptations du modèle du côté des équations (section 2), puis du côté des données complémentaires nécessaires pour calibrer cette nouvelle version (section 0). Nous terminons par une présentation des données résultats du calibrage du modèle (section 4) et par quelques simulations permettant d'illustrer les capacités de MATSIM-B (section 0).

¹ Dans ce rapport, le terme pesticide est utilisé de manière privilégiée à tout autres termes (produits phytosanitaires, produits de protection des cultures...); il désigne de manière général, l'ensemble des pesticides ou produits de synthèses autorisés en agriculture conventionnelle et interdit en agriculture biologique (herbicides, insecticides, fongicides, molluscicides, rodenticides, régulateurs de croissances,...)

2 Les adaptations du modèle MATSIM-LUCA

2.1 Comparaison synthétique des deux versions

Les principales adaptations à la version existante du modèle MATSIM-LUCA concernent :

- Du côté de l'offre, l'introduction de deux systèmes de production, conventionnel ou biologique en France et dans le reste de l'Union Européenne. Ceci implique une modélisation plus détaillée des secteurs de production végétale avec la désagrégation de l'agrégat de facteur capital et autres intrants (nommé X) utilisé jusqu'à présent, de façon à pouvoir distinguer les intrants et facteurs spécifiques aux systèmes conventionnels (pesticides et engrais chimiques) et les intrants et facteurs importants pour la représentation des systèmes biologiques, bien qu'utilisés par les deux systèmes (engrais organiques et travail salarié). Ceci implique également la représentation de systèmes de production animale conventionnels et biologiques sur les bases d'une alimentation animale conventionnelle ou strictement biologique.
- Du côté de la demande humaine, l'introduction des produits biologiques dans l'arbre de préférence des consommateurs.
- Du côté des échanges, la modélisation d'un marché de produits biologiques propre à l'Union Européenne, fonctionnant en interaction avec un marché mondial de produits standards ou conventionnels. Du fait de la complexité de l'accès aux informations nécessaires, nous ne considérons pas les marchés des produits biologiques dans les autres régions du monde. C'est une limite sur laquelle nous reviendrons dans ce rapport.

Par ailleurs, par rapport aux versions précédentes, le modèle intègre à présent les fruits et légumes, ainsi que les protéines végétales en distinguant le pois des autres protéagineux.

2.2 Spécifications du modèle MATSIM-B

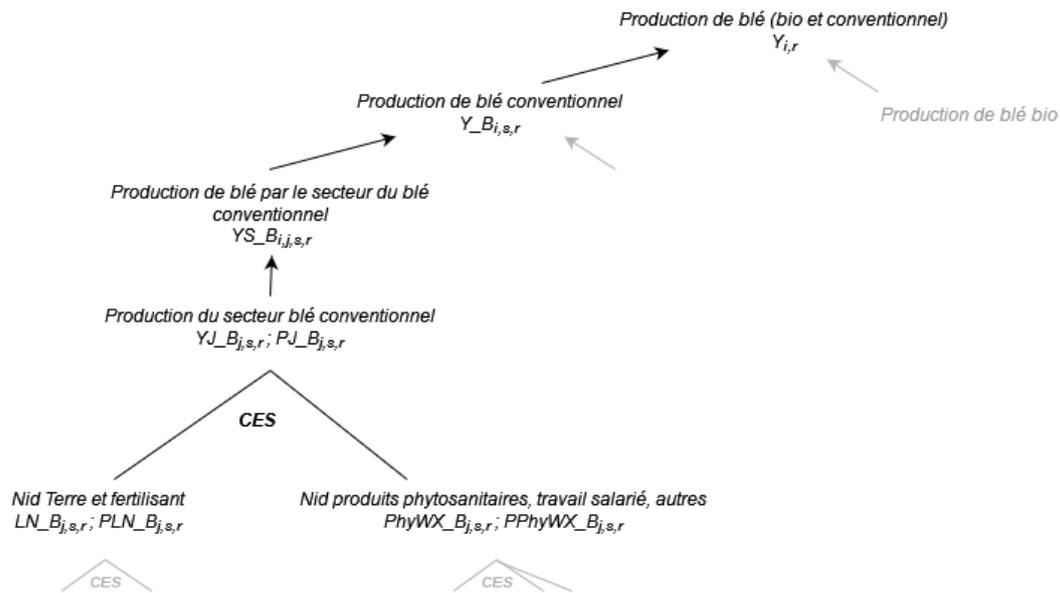
2.2.1 Technologies de productions agricoles végétales

Que ce soit en systèmes de production conventionnels ou biologiques, les équations du modèle résultent de la résolution d'un programme des agriculteurs qui cherchent à maximiser leur profit sous contrainte de leur technologie. Dans les deux cas, la forme fonctionnelle utilisée pour représenter la technologie de production est une fonction CES (constant elasticity of substitution) emboîtée, c'est-à-dire une fonction CES de sous-fonctions CES pour un nid terre et engrais d'une part, et un nid autres facteurs et entrants, distinguant produits pesticides, travail salarié et autres facteurs (dont le capital) d'autre part.

Les paramètres de la fonction CES sont l'élasticité de substitution (σ), le paramètre d'efficacité (α) et les paramètres de distribution (γ). Pour calibrer de telles fonctions, nous disposons des données initiales (quantités produites, quantités utilisées des différents facteurs et prix), et il suffit de donner une valeur à l'élasticité de substitution pour pouvoir calculer tous les autres paramètres Forslund et al. (2013b), page 38.

Ainsi, même si la même forme fonctionnelle CES est utilisée pour les technologies conventionnelles et biologiques, celles-ci présentent au final des paramètres différents selon leur orientation conventionnelle ou biologique puisque les données initiales de calibrage sont différentes.

Figure 1 : Technologie de production agricole végétale (ex : blé tendre conventionnel)



Les paramètres de la fonction CES sont l'élasticité de substitution (σ), le paramètre d'efficacité (α) et les paramètres de distribution (γ). Pour calibrer de telles fonctions, nous disposons des données initiales (quantités produites, quantités utilisées des différents facteurs et prix), et il suffit de donner une valeur à l'élasticité de substitution pour pouvoir calculer tous les autres paramètres Forslund et al. (2013b), page 38.

Ainsi, même si la même forme fonctionnelle CES est utilisée pour les technologies conventionnelles et biologiques, celles-ci présentent au final des paramètres différents selon leur orientation conventionnelle ou biologique puisque les données initiales de calibrage sont différentes.

Figure 1 représente la technologie de production du blé tendre en système conventionnel. Nous la décrivons de haut en bas, en détaillant les équations du modèle à chaque étage, que nous écrivons sous leur forme générale applicable à l'ensemble des cultures végétales et aux deux systèmes de production.

A l'échelle d'une région r , la production ($Y_{i,r}$) de blé (de la culture i) est la somme des productions de blé ($Y_{B_{i,s,r}}$) bio et conventionnel (des systèmes $s = \text{bio ou conventionnel}$) :

$$Y_{i,r} = \sum_s Y_{B_{i,s,r}}$$

La production de blé ($Y_{B_{i,s,r}}$) du système s (i.e., conventionnel ou biologique) est la somme des productions de blé du système s issues des différents secteurs (j) produisant potentiellement du blé ($Y_{S_{B_{i,j,s,r}}}$)².

² Un secteur j dans le modèle correspond à une activité utilisant des facteurs de production pour produire un ou plusieurs produits. Dans le secteur de la production végétale, les secteurs ne produisent qu'un seul produit (le secteur du blé bio, ne produit que du blé bio) et chaque produit agricole n'est produit que par un seul secteur (seul le secteur du blé bio produit du blé bio). Ce n'est pas le cas dans pour les secteurs de transformation ou les secteurs de la production animale dans lesquels la viande bovine par exemple peut être produit à la fois par les secteurs bovins viande et bovins lait, d'où l'équation générique mentionnée ici pour le calcul d'une production de i par un ou plusieurs secteurs j .

$$Y_{-B_{i,s,r}} = \sum_j YS_{-B_{i,j,s,r}}$$

Dans chaque secteur j , la quantité de blé produite est une part fixe ($\overline{IOT_{-B_{i,j,s,r}}}$) de la production totale du secteur ($YJ_{-B_{j,s,r}}$) :

$$YS_{-B_{i,j,s,r}} = \overline{IOT_{-B_{i,j,s,r}}} * YJ_{-B_{j,s,r}}$$

Ainsi la recette totale du secteur j produisant du blé tendre, c'est-à-dire le prix agrégé du secteur j ($PJ_{-B_{j,s,r}}$) multiplié par la production totale du secteur, est égale à la somme des recettes perçues sur chaque produit i fabriqué par le secteur j , ces dernières étant égales aux prix des produits perçus par les producteurs ($PB_{-B_{i,s,r}}$) éventuellement augmentés d'une subvention à la production ($\overline{SUBO_{i,r}}$) multipliés par les quantité produites :

$$PJ_{-B_{j,s,r}} * YJ_{-B_{j,s,r}} = \sum_i (PB_{-B_{i,s,r}} + \overline{SUBO_{i,r}}) * YS_{-B_{i,j,s,r}}$$

Il est à noter que chaque secteur j de production de cultures végétales ne produit qu'un seul produit i (que le système soit bio ou conventionnel). Les équations ci-dessus de production d'un produit par un secteur et de recette totale d'un secteur ne s'appliquent donc que dans le cas des secteurs de transformation produisant plusieurs produits i .

Nos technologies de production étant par hypothèse à rendement d'échelle constant, à l'équilibre la recette totale d'un secteur est égale à son coût total. Ce dernier est la somme des deux postes de charges considérés : celui du nid lié à la terre et aux fertilisants d'une part et celui du nid lié aux autres facteurs et intrants d'autre part :

$$PJ_{-B_{j,s,r}} * YJ_{-B_{j,s,r}} = LN_{-B_{j,s,r}} * PLN_{-B_{j,s,r}} + PhyWX_{-B_{j,s,r}} * PPhyWX_{j,s,r}$$

où, $LN_{-B_{j,s,r}}$ représente la quantité de l'agrégat de terre et d'azote et $PLN_{-B_{j,s,r}}$ le prix de cet agrégat composite. De même, $PhyWX_{-B_{j,s,r}}$ représente la quantité de l'agrégat de pesticides, de travail salarié, et d'autres facteurs et intrants et $PPhyWX_{j,s,r}$ le prix de cet agrégat composite. Notons que dans le cas d'un produit biologique, $LN_{-B_{j,s,r}}$ n'intègre que de l'engrais d'origine organique et que $PhyWX_{-B_{j,s,r}}$ n'intègre pas de pesticides

Les équations suivantes expriment les demandes dérivées des agrégats terre et engrais et autres facteurs et intrants :

$$LN_{-B_{j,s,r}} = YJ_{-B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{suby})^{(\sigma_{j,s,r}^{suby} - 1)} * (\gamma_{j,s,r}^{suby} * PJ_{-B_{j,s,r}} / PLN_{-B_{j,s,r}})^{\sigma_{j,s,r}^{suby}}$$

$$PhyWX_{-B_{j,s,r}} = YJ_{-B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{suby})^{(\sigma_{j,s,r}^{suby} - 1)} * ((1 - \gamma_{j,s,r}^{suby}) * PJ_{-B_{j,s,r}} / PPhyWX_{-B_{j,s,r}})^{\sigma_{j,s,r}^{suby}}$$

Il y a donc 5 intrants et facteurs de productions agricoles modélisés, la terre, les engrais (que nous limitons à leur partie azotée), les pesticides, le travail salarié et un agrégat des autres facteurs et intrants. Nous considérons dans le paragraphe suivant la manière dont ils sont modélisés.

2.2.2 Les marchés des facteurs de production agricole

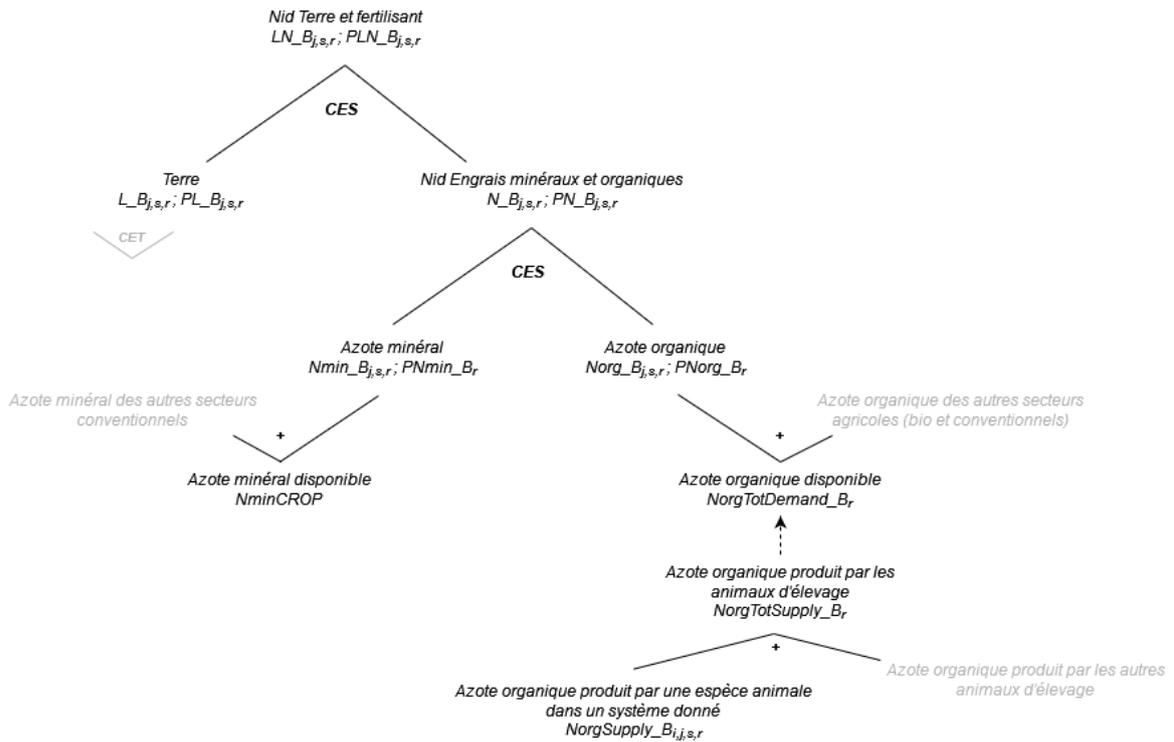
2.2.2.1 Le nid terre et engrais

Ce nid correspond à la terre agricole et aux moyens d'améliorer la fertilité du sol. Nous considérons à ce niveau une substitution entre la terre et les engrais azotés pour figurer l'ajustement à la marge

extensive, en utilisant plus de terre, ou à la marge intensive, en utilisant d'avantage d'engrais par hectare, pour accroître le niveau de production.

La **Erreur ! Référence non valide pour un signet.** représente la structure de la demande de terre et d'engrais et détaille l'offre et la demande d'engrais. Nous la décrivons depuis le haut vers le bas en détaillant les équations du modèle à chaque étape et en décrivant les particularités de chaque système, conventionnel et biologique.

Figure 2 : Demande de terre et d'engrais et marchés de l'azote minéral et organique (systèmes conventionnels)



Le coût du nid « terre et fertilisant » correspond à la somme des coûts des deux types de facteurs représentés :

$$LN_{B_{j,s,r}} * PLN_{B_{j,s,r}} = N_{B_{j,s,r}} * PN_{B_{j,s,r}} + L_{B_{j,s,r}} * PL_{B_{j,s,r}}$$

avec $N_{B_{j,s,r}}$ la quantité d'azote organique et minéral utilisée (en quantité d'azote unitaire), $PN_{B_{j,s,r}}$ le prix de l'azote, $L_{B_{j,s,r}}$ la surface consacrée à la culture (plus précisément, la superficie récoltée) et $PL_{B_{j,s,r}}$ le coût d'utilisation de la terre (ou fermage).

Les demandes dérivées de terre et d'engrais s'expriment donc comme :

$$L_{B_{j,s,r}} = LN_{B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subtn})^{(\sigma_{j,s,r}^{subtn}-1)} * \left((1 - \gamma_{j,s,r}^{subtn}) * \frac{PLN_{B_{j,s,r}}}{PL_{B_{j,s,r}}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subtn}}$$

$$N_{B_{j,s,r}} = LN_{B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subtn})^{(\sigma_{j,s,r}^{subtn}-1)} * \left(\gamma_{j,s,r}^{subtn} * \frac{PLN_{B_{j,s,r}}}{PN_{B_{j,s,r}}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subtn}}$$

2.2.2.1.1 Le marché de l'azote

Dans le modèle, le marché des engrais est un marché de l'azote, les quantités y étant exprimées en unités d'azote, sous l'hypothèse d'une valeur fertilisante équivalente que l'azote soit d'origine minérale ou organique.

Un producteur en système conventionnel dispose de la possibilité de substituer de l'azote minéral à de l'azote organique. Nous représentons cette possibilité de substitution à l'aide d'une fonction CES s'appliquant à un nid azote, le coût agrégé de ce nid étant égal à la somme des coûts des deux origines d'azote :

$$N_{B_{j,s,r}} * PN_{B_{j,s,r}} = Nmin_{B_{j,s,r}} * PNmin_{B_r} + Norg_{B_{j,s,r}} * PNorg_{B_r}$$

Où $Nmin_{B_{j,s,r}}$ et $PNmin_{B_r}$ et $Norg_{B_{j,s,r}}$ et $PNorg_{B_r}$ sont les quantités utilisées et les prix de l'unité d'azote minéral et organique, respectivement³.

Les demandes dérivées d'azote minéral et organique s'écrivent par conséquent :

$$Nmin_{B_{j,s,r}} = N_{B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subn})^{(\sigma_{j,s,r}^{subn}-1)} * \left(\gamma_{j,s,r}^{subn} * \frac{PN_{B_{j,s,r}}}{PNmin_{B_r}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subn}}$$

$$Norg_{B_{j,s,r}} = N_{B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subn})^{(\sigma_{j,s,r}^{subn}-1)} * \left((1 - \gamma_{j,s,r}^{subn}) * \frac{PN_{B_{j,s,r}}}{PNorg_{B_r}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subn}}$$

Pour les producteurs en systèmes biologiques, le recours à l'azote minéral n'est pas possible. L'équation de demande d'azote minéral devient par conséquent :

$$Nmin_{B_{j,s,r}} = 0 \text{ pour } s = bio$$

Tandis que l'équation de demande d'azote organique est inchangée mais ses paramètres prennent les valeurs $\alpha_{j,s,r}^{subn} = 1$ et $\gamma_{j,s,r}^{subn} = 0$ pour $s = biologique$, à l'issue de la phase de calibrage.

Nous faisons l'hypothèse que l'azote d'origine minéral est un bien non rare et que son marché mondial est en concurrence pure et parfaite. Par ailleurs, nous considérons que la France et le reste de l'UE sont des petits pays sur le marché mondial de l'azote minéral. Il en résulte que le prix de l'azote minéral est exogène au modèle.

L'azote d'origine organique est quant à lui considéré comme un bien non échangeable. En France et dans le reste de l'UE, la demande totale d'azote organique ($NorgTotDemand_{B_r}$) correspond à la somme des demandes d'azote organique de tous les secteurs agricoles, qu'ils soient en systèmes biologiques ou conventionnels ($Norg_{B_{j,s,r}}$) :

$$NorgTotDemand_{B_r} = \sum_s \sum_j Norg_{B_{j,s,r}}$$

L'offre totale d'azote organique ($NorgTotSupply_{B_r}$) correspond à l'ensemble de l'azote produit par les animaux d'élevage du modèle, toutes espèces, tous secteurs, tous modes de production ($NorgSupply_{B_{iani,jani,s,r}}$) :

$$NorgTotSupply_{B_r} = \sum_{iani} \sum_{jani} \sum_s NorgSupply_{B_{iani,jani,s,r}}$$

³ Les prix de l'unité d'azote sont identiques dans les données d'initialisation du modèle mais ils varient dans les simulations en fonction des disponibilités de l'azote organique produit par les animaux.

Où $NorgSupply_{B_{iani,jani,s,r}}$ est la quantité d'azote associée à la production d'un produit animal $iani$, produit par un système d'élevage $jani$ et potentiellement disponible pour les cultures. Cette quantité est une part fixe ($\overline{Norg_coef_KgperKg}_{iani,s,r}$) de la production animale ($YS_{B_{iani,jani,s,r}}$) de chaque système de production⁴ :

$$NorgSupply_{B_{iani,jani,s,r}} = \overline{Norg_coef_KgperKg}_{iani,s,r} * YS_{B_{iani,jani,s,r}}$$

L'équilibre du marché de l'azote organique permet de déterminer le prix de l'azote organique ($PNorg_{B_r}$). Cet équilibre s'écrit :

$$NorgTotDemand_{B_r} = \overline{NUEorg}_r * NorgTotSupply_{B_r}$$

Où \overline{NUEorg}_r est un coefficient d'efficacité de l'utilisation de l'azote organique (Nitrogen Use Efficiency). Ce coefficient est exogène au modèle. Il est calculé pour l'année de référence, à partir des données observées, ces dernières révélant un déséquilibre entre la demande et l'offre observées d'azote organique qui traduit le fait que cette ressource n'est pas utilisée de manière optimale (voir page 65).

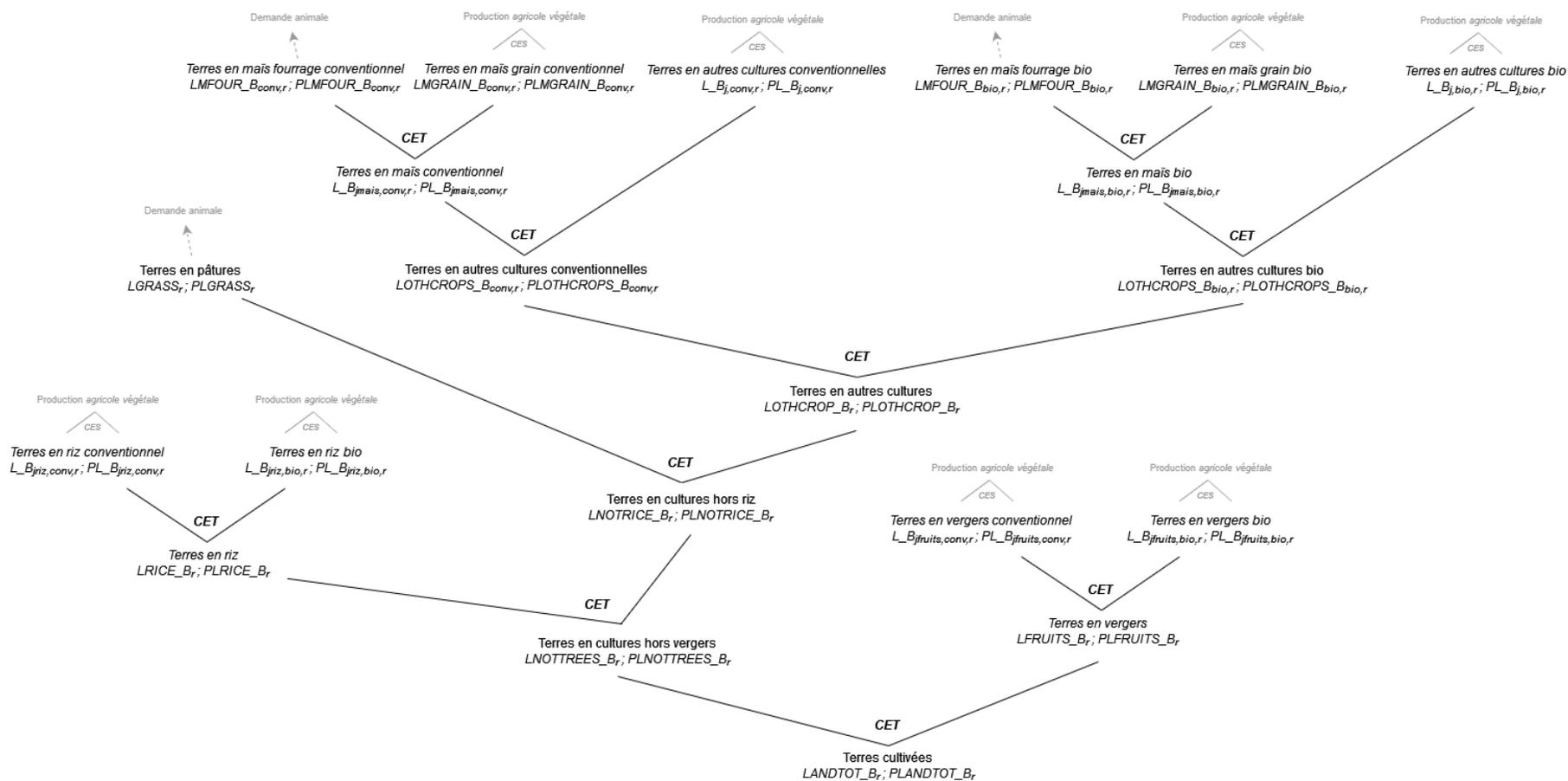
2.2.2.1.2 L'offre de terre agricole

Dans MATSIM_B, le marché de la terre est modélisé comme dans MATSIM-LUCA : la demande de terre émanant des différents secteurs et systèmes de production agricoles est confrontée à une offre de terre qui se présente sous la forme d'un arbre de décision du propriétaire des terres qui va allouer la surface totale dont il dispose entre les différents usages possibles de façon à maximiser ses recettes. Nous considérons un seul arbre de décision pour une région donnée dans lequel les arbitrages entre cultures et entre modes de productions bio ou conventionnels interviennent à différents niveaux. La terre étant supposée non-homogène, les arbitrages effectués par le propriétaire sont régis par des fonctions CET (constant elasticity of transformation) imbriquées, la valeur de chaque élasticité de transformation (élasticités inter et intra-nids) traduisant la mobilité plus ou moins grande entre les usages concernés.

L'arbre de décision du propriétaire des terres est représenté en Figure 3 . Nous le parcourons du bas vers le haut en décrivant les décisions successives et en détaillant les équations correspondantes.

⁴ Voir le paragraphe 3.3.5 page 46 pour la définition de la coproduction d'azote organique.

Figure 3 : Représentation de l'arbre de décision du propriétaire des terres dans MATSIM_B



Nous supposons donc qu'il existe un stock de terres agricoles ($LANDTOT_{B_r}$) pour chaque région r . Ce stock est endogène et la surface totale disponible pour l'agriculture répond positivement au prix agrégé de la terre agricole. Ainsi, le fait de pouvoir accroître ou réduire la superficie agricole utilisée est représenté par une élasticité d'expansion de la terre agricole σ_r^{expand} :

$$LANDTOT_{B_r} = \overline{LANDTOT0_{B_r}} * \left(\frac{PLANDTOT_{B_r}}{\overline{PLANDTOT0_{B_r}}} \right)^{\sigma_r^{expand}}$$

Avec $LANDTOT_{B_r}$ et $PLANDTOT_{B_r}$, respectivement la surfaces en terres agricoles de la région r (cultures considérées dans le modèle + pâtures) et le prix composite du fermage annuel à l'hectare, et $\overline{LANDTOT0_{B_r}}$ et $\overline{PLANDTOT0_{B_r}}$ les valeurs respectives correspondantes dans la situation de référence.

Le premier niveau de décision se fait entre cultures annuelles et pérennes. Les offre de terres pour les cultures pérennes (vergers à fruit, $LFRUITS_{B_r}$) et pour les autres cultures ($LNOTTREES_{B_r}$) sont déterminées en fonction des rapports de prix correspondants et des paramètres de la fonction CET :

$$LFRUITS_{B_r} = LANDTOT_{B_r} * (\alpha_r^{mltrees})^{\left(\frac{\rho_r^{mltrees}}{1-\rho_r^{mltrees}} \right)} * \left(\frac{PLFRUITS_{B_r} / \gamma_{jfruits,r}^{mltrees}}{PLANDTOT_{B_r}} \right)^{\sigma_r^{mltrees}}$$

$$LNOTTREES_{B_r} = LANDTOT_{B_r} * (\alpha_r^{mltrees})^{\left(\frac{\rho_r^{mltrees}}{1-\rho_r^{mltrees}} \right)} * \left(\frac{PLNOTTREES_{B_r} / \gamma_{nofruits,r}^{mltrees}}{PLANDTOT_{B_r}} \right)^{\sigma_r^{mltrees}}$$

L'hypothèse d'homogénéité de degré 1 de la fonction CET garantissant un profit nul, le détenteur de la terre égalise ses recettes et ses dépenses :

$$LANDTOT_{B_r} * PLANDTOT_{B_r} = LNOTTREES_{B_r} * PLNOTTREES_{B_r} + LFRUITS_{B_r} * PLFRUITS_{B_r}$$

Sur la branche des cultures fruitières, l'arbitrage se fait ensuite entre vergers bio et conventionnels selon une nouvelle fonction CET. Les offres s'expriment respectivement sous les formes suivantes :

$$L_{B_{jfruits,bio,r}} = LFRUITS_{B_r} * (\alpha_r^{mlfruits})^{\left(\frac{\rho_r^{mlfruits}}{1-\rho_r^{mlfruits}} \right)} * \left(\frac{PL_{B_{jfruits,bio,r}} / (1 - \gamma_r^{mlfruits})}{PLFRUITS_{B_r}} \right)^{\sigma_r^{mlfruits}}$$

$$L_{B_{jfruits,conv,r}} = LFRUITS_{B_r} * (\alpha_r^{mlfruits})^{\left(\frac{\rho_r^{mlfruits}}{1-\rho_r^{mlfruits}} \right)} * \left(\frac{PL_{B_{jfruits,conv,r}} / \gamma_r^{mlfruits}}{PLFRUITS_{B_r}} \right)^{\sigma_r^{mlfruits}}$$

Avec l'hypothèse de profit nul au niveau du nid pour chaque système $s = \text{bio ou conventionnel}$:

$$LFRUITS_{B_r} * PLFRUITS_{B_r} = \sum_s L_{B_{jfruits,s,r}} * PL_{B_{jfruits,s,r}}$$

Sur la branche des cultures hors vergers, un nouvel arbitrage s'effectue entre les rizières nécessitant des terrains aux caractéristiques hydrologiques particulières et les autres cultures. Les offres de terres en riz ($LRICE_{B_r}$) et autres cultures ($LNOTRICE_{B_r}$) s'expriment respectivement sous les formes suivantes :

$$LRICE_{B_r} = LNOTTREES_{B_r} * (\alpha_r^{mlrice})^{\left(\frac{\rho_r^{mlrice}}{1-\rho_r^{mlrice}} \right)} * \left(\frac{PLRICE_{B_r} / (1 - \gamma_r^{mlrice})}{PLNOTTREES_{B_r}} \right)^{\sigma_r^{mlrice}}$$

$$LNOTRICE_{B_r} = LNOTTREES_{B_r} * (\alpha_r^{mlrice})^{\left(\frac{\rho_r^{mlrice}}{1-\rho_r^{mlrice}} \right)} * \left(\frac{PLNOTRICE_{B_r} / \gamma_r^{mlrice}}{PLNOTTREES_{B_r}} \right)^{\sigma_r^{mlrice}}$$

Avec l'hypothèse de profit nul au niveau du nid :

$$LNOTTREES_{B_r} * PLNOTTREES_{B_r} = LRICE_{B_r} * PLRICE_{B_r} + LNOTRICE_{B_r} * PLNOTRICE_{B_r}$$

Sur la branche de la culture du riz, l'arbitrage se fait ensuite entre riz bio et conventionnel selon une autre fonction CET. Comme dans le cas des vergers, les offres de terre s'expriment sous les formes suivantes :

$$L_{B_{jrice,bio,r}} = LRICE_{B_r} * (\alpha_r^{mtricesys})^{\left(\frac{\rho_r^{mtricesys}}{1-\rho_r^{mtricesys}}\right)} * \left(\frac{PL_{B_{jrice,bio,r}}/(1-\gamma_r^{mtricesys})}{PLRICE_{B_r}}\right)^{\sigma_r^{mtricesys}}$$

$$L_{B_{jrice,conv,r}} = LRICE_{B_r} * (\alpha_r^{mtricesys})^{\left(\frac{\rho_r^{mtricesys}}{1-\rho_r^{mtricesys}}\right)} * \left(\frac{PL_{B_{jrice,conv,r}}/\gamma_r^{mtricesys}}{PLRICE_{B_r}}\right)^{\sigma_r^{mtricesys}}$$

où $L_{B_{jrice,bio,r}}$ et $PL_{B_{jrice,bio,r}}$ sont les surfaces allouées et le prix des fermages des rizières en systèmes *bio*. Respectivement en systèmes conventionnels avec l'indice *conv*.

Avec l'hypothèse de profit nul au niveau du nid :

$$LRICE_{B_r} * PLRICE_{B_r} = \sum_s L_{B_{jrice,s,r}} * PL_{B_{jrice,s,r}}$$

Sur la branche des cultures autres que rizières et vergers, l'arbitrage s'effectue ensuite entre terres en pâtures (prairies en herbes temporaires ou permanentes) et terres en autres cultures (ou terres arables, $LOTHCROP_{B_r}$). Une fonction CET permet également de déterminer l'offre de ces dernières :

$$LOTHCROP_{B_r} = LNOTRICE_{B_r} * (\alpha_r^{mlgrass})^{\left(\frac{\rho_r^{mlgrass}}{1-\rho_r^{mlgrass}}\right)} * \left(\frac{PLOTHCROP_{B_r}/(1-\gamma_r^{mlgrass})}{PLNOTRICE_{B_r}}\right)^{\sigma_r^{mlgrass}}$$

Pour l'offre de terres aux pâtures nous choisissons de ne pas utiliser cette fonction. Le choix de spécifier l'offre de terre à chaque secteur de production agricole à l'aide de fonctions CET imbriquées présente l'inconvénient majeur de ne pas être cohérent en termes de surface totale. Plus précisément, si la fonction CET assure que la somme des valeurs des surfaces allouées à chaque usage est égale à la valeur de la surface totale, ceci n'est plus vérifié lorsque l'on passe aux surfaces en hectares. En d'autres termes, sans autre ajustement, rien n'assure que la somme des hectares alloués à chaque production est égale au final à la surface agricole totale. Ceci n'a rien d'étonnant puisque la terre étant non homogène, la simple addition d'hectares dans ce contexte n'a pas vraiment de sens. En pratique néanmoins cette égalité doit être vérifiée. Afin de s'assurer de l'intégrité des surfaces dans notre spécification, nous faisons le choix de déterminer une culture résiduelle dans le modèle qui permette de garantir que la somme des surfaces allouées à chaque production soit égale à la surface agricole totale. Par commodité nous choisissons donc les pâtures comme culture résiduelle dans l'arbre des terres car il s'agit de la culture la plus importante en terme de surface et également la plus incertaine en terme de données sources. L'offre de terres en pâture ($LGRASS_{B_r}$) s'exprime donc comme le solde du stock total de terres agricoles réduit de la somme des surfaces allouées à toutes les productions de l'arbre (figurées par $L_{B_{jcrop,s,r}}$ dans l'équation ci-dessous) :

$$LGRASS_{B_r} = LANDTOT_{B_r} - \sum_{jcrop} \sum_s L_{B_{jcrop,s,r}}$$

Nous retrouvons une équation de profit nul au niveau du nid :

$$LNOTRICE_{B_r} * PLNOTRICE_{B_r} = LGRASS_{B_r} * PLGRASS_{B_r} + LOTHCROP_{B_r} * PLOTHCROP_{B_r}$$

Sur la branche des pâtures, nous rappelons que nous ne modélisons pas l'herbe comme les autres produits agricoles. Nous ne faisons pas non plus de distinction entre les pâtures et leur herbe bio ou conventionnelles. L'offre de pâtures ci-dessus est donc confrontée à une demande de pâture égale à

la consommation d'herbe par l'ensemble des animaux du modèle ($\sum_{jani} \sum_s QfeedGrass_{B_{jani,s,r}}$) divisée par le rendement herbager à l'hectare en tonne de matière brute ($\overline{YIELDGrass0_{B_r}}$) calculé à partir des données de référence et considéré comme exogène au modèle :

$$LGRASS_{B_r} = \frac{\sum_{jani} \sum_s QfeedGrass_{B_{jani,s,r}}}{\overline{YIELDGrass0_{B_r}}}$$

L'équation de profit nul précédente et la demande de pâture ci-dessus permet de déterminer le prix des pâtures de la région ($PLGRASS_{B_r}$).

Sur la branche des autres cultures (non pérennes, non riz et non herbagères), nous pouvons désormais considérer que les cultures sont assez aisément substituables entre elles. Le frein principal nous semblant être la durée et les contraintes de conversion à l'agriculture biologique, nous faisons l'hypothèse que le propriétaire des terres arbitre d'abord l'allocation de la terre restante entre cultures biologiques et cultures conventionnelles, puis au sein de chaque orientation, l'allocation de la terre entre les différentes cultures. Ces arbitrages sont représentés à partir de deux nouvelles fonctions CET imbriquées. Les offres de terres aux autres cultures biologiques et aux autres cultures conventionnelles s'écrivent respectivement :

$$LOTHCROPS_{B_{bio,r}} = LOTHCROP_{B_r} * (\alpha_r^{mCropS})^{\left(\frac{\rho_r^{mCropS}}{1-\rho_r^{mCropS}}\right)} * \left(\frac{PLOTHCROPS_{B_{bio,r}}/(1-\gamma_r^{mCropS})}{PLOTHCROP_{B_r}}\right)^{\sigma_r^{mCropS}}$$

$$LOTHCROPS_{B_{conv,r}} = LOTHCROP_{B_r} * (\alpha_r^{mCropS})^{\left(\frac{\rho_r^{mCropS}}{1-\rho_r^{mCropS}}\right)} * \left(\frac{PLOTHCROPS_{B_{conv,r}}/\gamma_r^{mCropS}}{PLOTHCROP_{B_r}}\right)^{\sigma_r^{mCropS}}$$

Où $LOTHCROPS_{B_{bio,r}}$ est la surface en grandes cultures, hors riz, en système bio, de la région r et $PLOTHCROPS_{B_{bio,r}}$ le prix moyen des fermages de ces cultures en systèmes *bio*. Respectivement en systèmes conventionnels avec l'indice *conv*

Avec l'hypothèse de profit nul au niveau du nid :

$$LOTHCROP_{B_r} * PLOTHCROP_{B_r} = \sum_s LOTHCROPS_{B_{s,r}} * PLOTHCROPS_{B_{s,r}}$$

La modélisation des offres de terres à chaque culture est ensuite identique que l'on soit sur la branche des autres cultures biologiques ou sur celle des autres cultures conventionnelles. Les fonctions d'offre de terre aux différentes cultures dans chaque nid prennent donc la forme suivante :

$$L_{B_{jothcrop,s,r}} = LOTHCROPS_{B_{s,r}} * (\alpha_r^{mCrop})^{\left(\frac{\rho_r^{mCrop}}{1-\rho_r^{mCrop}}\right)} * \left(\frac{PL_{B_{jothcrop,s,r}}/\gamma_r^{mCrop}}{PLOTHCROPS_{B_r}}\right)^{\sigma_r^{mCrop}}$$

Avec l'hypothèse de profit nul au niveau du nid :

$$LOTHCROPS_{B_{s,r}} * PLOTHCROPS_{B_{s,r}} = \sum_{jothcrop} L_{B_{jothcrop,s,r}} * PL_{B_{jothcrop,s,r}}$$

Enfin, nous introduisons un dernier arbitrage pour offrir la possibilité d'orienter la surface consacrée au maïs à la production de maïs grain ou de maïs fourrage. Une nouvelle fonction CET au niveau de ce dernier nid conduit aux offres de terre au maïs grain ($LMGRAIN_{B_{s,r}}$) et au maïs fourrages ($LMFOUR_{B_{s,r}}$) suivantes :

$$LMGRAIN_{B_{s,r}} = L_{B_{jmais,s,r}} * (\alpha_r^{mCorn})^{\left(\frac{\rho_{s,r}^{mCorn}}{1-\rho_{s,r}^{mCorn}}\right)} * \left(\frac{PLMGRAIN_{B_{s,r}}/\gamma_{s,r}^{mCorn}}{PL_{B_{jmais,s,r}}}\right)^{\sigma_{s,r}^{mCorn}}$$

$$LMFOUR_{B_{s,r}} = L_{B_{jmais,s,r}} * (\alpha_r^{mCorn})^{\left(\frac{\rho_{s,r}^{mCorn}}{1-\rho_{s,r}^{mCorn}}\right)} * \left(\frac{PLMFOUR_{B_{s,r}}/(1-\gamma_{s,r}^{mCorn})}{PL_{B_{jmais,s,r}}}\right)^{\sigma_{s,r}^{mCorn}}$$

Avec l'hypothèse de profit nul au niveau du nid :

$$L_{B_{j\text{maï}s,s,r}} * PL_{B_{j\text{maï}s,s,r}} = LMGRAIN_{B_{s,r}} * PLMGRAIN_{B_{s,r}} + LMFOUR_{B_{s,r}} * PLMFOUR_{B_{s,r}}$$

La demande de terre en maïs grain est ainsi déterminée par les fonctions de production de maïs grain. La demande de terre en maïs fourrage est pour sa part déterminée par la consommation de maïs fourrage par les animaux du modèle multipliée par un coefficient égal à l'inverse du rendement du maïs fourrage (calculé à partir des données de référence et considéré comme fixe dans le modèle). Cette nouvelle écriture de la surface en maïs fourrage permet de déterminer le prix des terres en maïs fourrage ($PLMFOUR_{B_{s,r}}$):

$$LMFOUR_{B_{s,r}} = \frac{\sum_{j\text{ani}} QfeedMfour_{B_{j\text{ani},s,r}}}{YIELDMFour0_{B_{s,r}}}$$

2.2.2.2 *Le nid des pesticides, du travail salarié et des autres facteurs et moyens de production agricole*

Ce nid regroupe l'ensemble des autres moyens de production moins directement liés à la terre. Par rapport aux spécifications de MATIM-LUCA, nous avons choisi de distinguer 2 facteurs essentiels pour analyser une agriculture sans pesticides : les pesticides et le travail salarié. Les pesticides considérés ici sont les pesticides de synthèse interdits en agriculture biologique. Leur utilisation est donc nulle pour les systèmes biologiques et nous utilisons de nouveau une spécification CES pour illustrer la substitution possible des pesticides par d'avantage de recours au travail ou à la mécanisation par exemple en systèmes conventionnels.

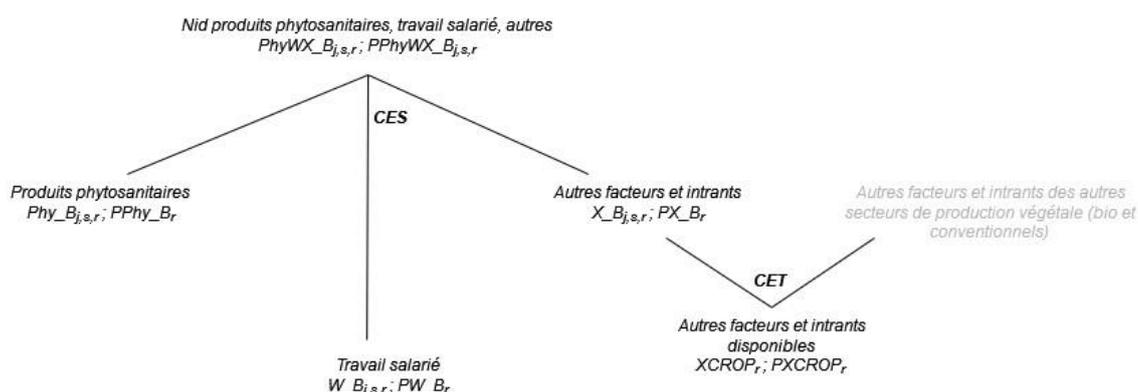
Nous conservons également un troisième moyen de production représentant un agrégat de l'ensemble des autres moyens de productions agricoles et permettant de compléter l'ensemble des charges de l'activité de production agricole avec l'hypothèse de profit nul (autres intrants variables, ensembles des charges fixes, rémunération du travail non salarié...).

La Ce nid correspond à la terre agricole et aux moyens d'améliorer la fertilité du sol. Nous considérons à ce niveau une substitution entre la terre et les engrais azotés pour figurer l'ajustement à la marge extensive, en utilisant plus de terre, ou à la marge intensive, en utilisant d'avantage d'engrais par hectare, pour accroître le niveau de production.

La **Erreur ! Référence non valide pour un signet.** représente la structure de la demande de terre et d'engrais et détaille l'offre et la demande d'engrais. Nous la décrivons depuis le haut vers le bas en détaillant les équations du modèle à chaque étape et en décrivant les particularités de chaque système, conventionnel et biologique.

Figure 2 représente la structure de la demande de ces trois types de facteurs.

Figure 4 : Demandes de pesticides, de travail salarié et d'autres facteurs de production



La valeur de ce nid correspond à la somme des valeurs des trois types de facteurs représentés :

$$PhyWX_{B_{j,s,r}} * PPhyWX_{B_{j,s,r}} = Phy_{B_{j,s,r}} * \overline{PPhy_{B_r}} + W_{B_{j,s,r}} * \overline{PW_{B_r}} + X_{B_{j,s,r}} * \overline{PX_{B_{j,s,r}}}$$

Avec $Phy_{B_{j,s,r}}$ la quantité de pesticide utilisée (en tonnage) , $PPhy_{B_r}$ le prix associé, $W_{B_{j,s,r}}$ la quantité de travail salarié consacrée à la culture en UTA, $\overline{PW_{B_r}}$ le coût annuel du travail salarié hors charges patronales, $X_{B_{j,s,r}}$ la quantité fictive d'autres intrant et $PX_{B_{j,s,r}}$ le prix de cet agrégat. Dans la situation de référence $PX_{B_{j,s,r}}$ est normalisé à 100 et la quantité $X_{B_{j,s,r}}$ est calculée par différence pour garantir l'équilibre des charges et des recettes des producteurs.

Les demandes dérivées de pesticides, de travail et d'autres facteurs s'expriment à partir des paramètres de la fonction CES :

$$Phy_{B_{j,s,r}} = PhyWX_{B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subpwx})^{(\sigma_{j,s,r}^{subpwx}-1)} * (\gamma_{phy,j,s,r}^{subpwx} * PPhyWX_{B_{j,s,r}} / \overline{PPhy_{B_{j,s,r}}})^{\sigma_{j,s,r}^{subpwx}}$$

$$W_{B_{j,s,r}} = PhyWX_{B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subpwx})^{(\sigma_{j,s,r}^{subpwx}-1)} * (\gamma_{W,j,s,r}^{subpwx} * PPhyWX_{B_{j,s,r}} / \overline{PW_{B_r}})^{\sigma_{j,s,r}^{subpwx}}$$

$$X_{B_{j,s,r}} = PhyWX_{B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subpwx})^{(\sigma_{j,s,r}^{subpwx}-1)} * (\gamma_{X,j,s,r}^{subpwx} * PPhyWX_{B_{j,s,r}} / \overline{PX_{B_{j,s,r}}})^{\sigma_{j,s,r}^{subpwx}}$$

La demande de pesticides

Pour les producteurs en systèmes biologiques, la demande de pesticide est égale à zéro et l'équation correspondante est donc égale à zéro.

En systèmes conventionnels nous faisons l'hypothèse d'un marché mondial des pesticides en concurrence pure et parfaite. Producteurs français et européens subissent donc un prix des pesticides exogène

La demande de travail salarié

Le travail salarié est considéré comme non spécifique. L'hypothèse sous-jacente, qui est discutable, est que le travail salarié est parfaitement mobile, entre le secteur agricole et le reste de l'économie, au sein de l'agriculture entre le secteur des productions végétales et le secteur des productions animales, au sein des productions végétales entre les différentes productions, et au sein de chaque production entre les systèmes bio et conventionnel. Nous considérons que le marché du travail salarié est en concurrence pure et parfaite et que le secteur des productions végétales agricoles représente

un petit secteur sur ce marché. Il en résulte que le prix du travail salarié est déterminé en-dehors du secteur agricole et s'impose aux producteurs agricoles. Le prix du travail salarié est donc fixe et exogène au modèle.

Le marché des autres facteurs et intrants

Les autres facteurs et intrants sont un agrégat divers constitué de capital (bâtiments, matériels, outils, etc.), travail non salarié et autres intrants variables (énergie, entretiens, etc.). Nous considérons que ces autres facteurs et intrants sont spécifiques au secteur des productions végétales mais mobiles entre productions végétales et entre systèmes bio et conventionnel au sein de chaque production. Nous modélisons donc l'offre de cet agrégat d'autres facteurs et intrants au secteur des productions végétales à l'aide d'une spécification CET.

Au premier étage, il existe un stock d'autres facteurs et intrants propre au secteur des productions végétales $XCROP_r$ pour une région r donnée. Le fait de pouvoir accroître ce stock en attirant ces autres facteurs et intrants du reste de l'agriculture et du reste de l'économie est représenté par une élasticité d'expansion au prix agrégé de ces autres facteurs et intrants σ_r^{xcrop} dans l'équation ci-dessous :

$$XCROP_r = \overline{XCROP0}_r * \left(\frac{PXCROP_r}{\overline{PXCROP0}_r} \right)^{\sigma_r^{xcrop}}$$

Avec $XCROP_r$ et $PXCROP_r$, respectivement le stocks d'autres facteurs et intrants de la région et le prix correspondant, $\overline{XCROP0}_r$ et $\overline{PXCROP0}_r$ les valeurs respectives dans la situation de référence.

A l'étage supérieur, le stock d'autres facteurs et intrants est alloué par son propriétaire entre les différentes productions végétales ($X_{B_{j,s,r}}$) en fonction de leurs profitabilités relatives :

$$X_{B_{j,s,r}} = XCROP_r * \alpha_r^{mobxc} \left(\frac{\rho_r^{mobxc}}{(1-\rho_r^{mobxc})} \right) * \left(\frac{PX_{B_{j,s,r}}/Y_{j,s,r}^{mobxc}}{PXCROP_r} \right)^{\sigma_r^{mobxc}}$$

Le prix agrégé des autres facteurs et intrants ($PXCROP_r$) s'exprime comme une fonction des prix des autres facteurs et intrants utilisés dans chaque production et dans chaque système ($PX_{B_{j,s,r}}$) et des paramètres de la CET:

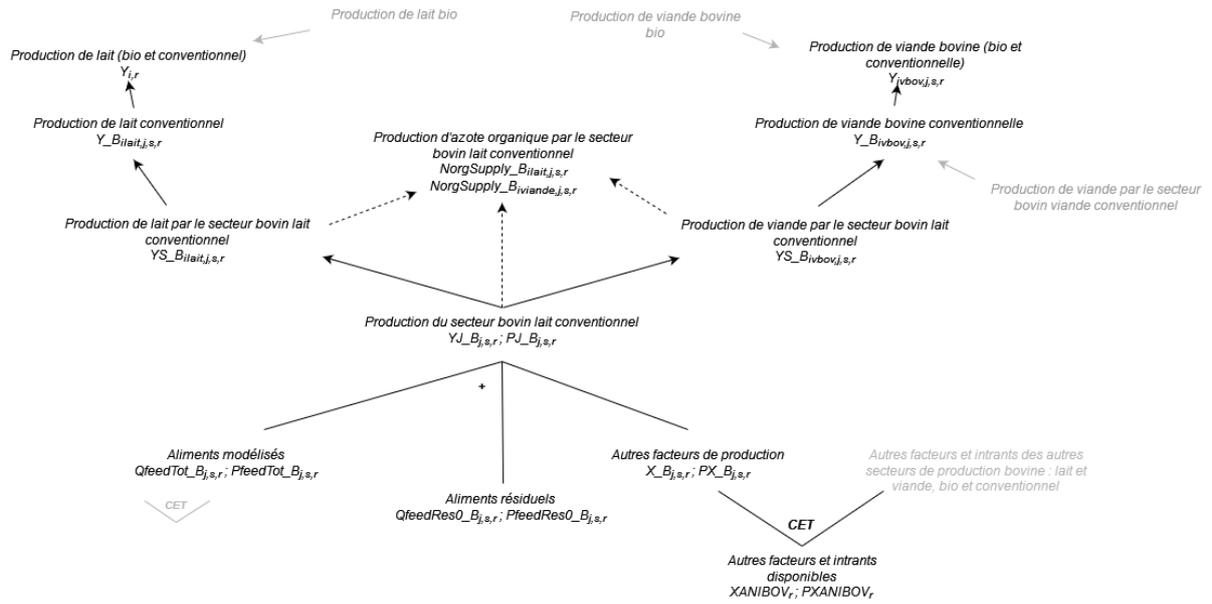
$$PXCROP_r = 1/\alpha_r^{mobxc} * \left(\sum_j \sum_s \left((Y_r^{mobxc})^{-\sigma_r^{mobxc}} * (PX_{B_{j,s,r}})^{\rho_r^{mobxc}/(\rho_r^{mobxc}-1)} \right) \right)^{(1-1/\rho_r^{mobxc})}$$

2.2.3 Technologies de productions agricoles animales

La modélisation de la production animale de MATSIM_B est proche de celle de MATSIM-LUCA. Les différences sont que nous distinguons, pour chacune des 5 production animale, des secteurs de production strictement biologique et des systèmes de production strictement conventionnels. Les systèmes bio ne consomment que des aliments bio et les systèmes conventionnels que des aliments conventionnels. Les animaux produisent également, en plus de la viande, des oeufs ou du lait, de l'azote organique qui constitue un intrant pour les secteurs de production végétale.

Nous illustrons la technologie de production animale sur l'exemple du lait conventionnel dans la Figure 5. Le schéma et la description des équations sont directement adaptables aux secteurs ne produisant que de la viande et aux secteurs animaux en systèmes biologiques.

Figure 5 : Technologie de la production animale (ex : bovin lait conventionnel)



En partant du haut du diagramme, les équations rencontrées sont les suivantes.

La production totale d'un produit animal (lait ou viande, $Y_{i,r}$) est la somme des productions de ce produit dans les systèmes (s) bio et conventionnel ($Y_{B_{i,s,r}}$) :

$$Y_{i,r} = \sum_s Y_{B_{i,s,r}}$$

La production d'un produit animal (lait ou viande, bio ou conventionnel) est la somme des productions de ce produit par les différents secteurs le produisant ($Y_{S_{B_{i,j,s,r}}}$) :

$$Y_{B_{i,s,r}} = \sum_j Y_{S_{B_{i,j,s,r}}}$$

La quantité produite de lait ou de viande est une part fixe ($\overline{IOT_{B_{i,j,s,r}}}$) de la production totale du secteur bovin lait conventionnel ($Y_{J_{B_{j,s,r}}}$) :

$$Y_{S_{B_{i,j,s,r}}} = \overline{IOT_{B_{i,j,s,r}}} * Y_{J_{B_{j,s,r}}}$$

La quantité d'azote organique associée à un produit animal produit par un secteur avec un certain système ($NorgSupply_{B_{i,j,s,r}}$) est une part fixe ($\overline{Norg_coef_KgperKg_{i,j,s,r}}$) de la quantité correspondante de produit animal ($Y_{S_{B_{i,j,s,r}}}$). Dans le cas présent, pour le secteur bovin lait, il y a une production d'azote associée à la production de lait et une associée à la production de viande :

$$NorgSupply_{B_{i,j,s,r}} = \overline{Norg_coef_KgperKg_{i,j,s,r}} * Y_{S_{B_{i,j,s,r}}}$$

Comme pour les productions végétales, à l'équilibre, les coûts épuisent les recettes, ce qui conduit aux équations suivantes. La production en valeur du secteur ($PJ_{B_{j,s,r}} * Y_{J_{B_{j,s,r}}}$) est égale à la somme des recettes des ventes des différents produits du secteur ($PB_{B_{i,s,r}} * Y_{S_{B_{i,j,s,r}}}$), éventuellement gratifiées d'une subvention à la production ($\overline{SUBO_{i,r}}$), y compris l'azote organique ($PNorg_{B_r} * NorgSupply_{B_{i,j,s,r}}$) :

$$PJ_{B_{j,s,r}} * Y_{J_{B_{j,s,r}}} = \sum_i ((PB_{B_{i,s,r}} + \overline{SUBO_{i,r}}) * Y_{S_{B_{i,j,s,r}}}) + \sum_i (PNorg_{B_r} * NorgSupply_{B_{i,j,s,r}})$$

Le total des coûts est constitué de la somme des dépenses que nous considérons dans le modèle, à savoir les dépenses en aliments du bétail dont la production est modélisée ($QFeedTot_{B_{j,s,r}} * PFeedTot_{B_{j,s,r}}$), les dépenses en aliments résiduels non modélisés ($\overline{QFeedRes0_{B_{j,s,r}}} * \overline{PFeedRes0_{B_{j,s,r}}}$) et les autres charges de production animales (cheptels, bâtiments, matériels, intrants, etc.) ($X_{B_{j,s,r}} * PX_{B_{j,s,r}}$) :

$$PJ_{B_{j,s,r}} * YJ_{B_{j,s,r}} = X_{B_{j,s,r}} * PX_{B_{j,s,r}} + QFeedTot_{B_{j,s,r}} * PFeedTot_{B_{j,s,r}} + \overline{QFeedRes0_{B_{j,s,r}}} * \overline{PFeedRes0_{B_{j,s,r}}}$$

Il y a donc 3 types de facteurs de production animale.

La consommation d'aliments résiduelle est exogène au modèle. Elle est calibrée pour la situation initiale et sa valeur est considérée comme fixe dans les simulations. Pour les aliments et les autres facteurs et intrants, nous considérons qu'il n'y a pas de substitution possible et qu'ils sont complémentaires entre eux. La fonction de production sous-jacente et les demandes dérivées de ces facteurs sont donc de type Leontief.

2.2.3.1 La demande et l'offre d'autres facteurs et intrants

La demande d'autres facteurs et intrants de chaque secteur de production animale j utilisant le système s dans la région r ($X_{B_{j,s,r}}$) est une proportion fixe du niveau de production du secteur concerné :

$$X_{B_{j,s,r}} = YJ_{B_{j,s,r}} * \frac{\overline{X0_{B_{j,s,r}}}}{\overline{YJ0_{B_{j,s,r}}}}$$

Où $\overline{X0_{B_{j,s,r}}}$ et $\overline{YJ0_{B_{j,s,r}}}$ sont respectivement la demande d'autres facteurs et intrants et la production totale du secteur considérés dans la situation de référence.

L'offre globale d'autres facteurs et intrants à chaque secteur de production animale est représentée par l'équation suivante :

$$X_{B_{j,s,r}} = \overline{X0_{B_{j,s,r}}} * \left(\frac{PX_{B_{j,s,r}}}{\overline{PX0_{B_{j,s,r}}}} \right)^{\sigma_{j,r}^{xother}}$$

Avec $X_{B_{j,s,r}}$ l'offre d'autres facteurs et intrants au secteur de production animale j et $PX_{B_{j,s,r}}$ le prix correspondant et $\overline{X0_{B_{j,s,r}}}$ et $\overline{PX0_{B_{j,s,r}}}$ les variables correspondantes dans la situation de référence.

L'équation ci-dessus ne s'applique pas aux secteurs des bovins viande et des bovins lait. Nous considérons en effet que ces deux secteurs partagent le même stock d'autres facteurs et intrants que la production soit réalisée en système bio ou en système conventionnel. Les autres facteurs et intrants sont donc supposés mobiles entre ces secteurs et à l'intérieur de chaque secteur, entre systèmes. L'équation du stock d'autres facteurs et intrants à disposition des secteurs bovins ($XANIBOV_r$) s'écrit :

$$XANIBOV_r = \overline{XANIBOV0_r} * \left(\frac{PXANIBOV_r}{\overline{PXANIBOV0_r}} \right)^{\sigma_r^{xbov}}$$

La mobilité de ce stock entre secteurs et systèmes est représentée au travers d'une fonction CET, si bien que l'offre d'autres facteurs et intrants à chaque secteur et système ($X_{B_{j,s,r}}$) s'écrit :

$$X_{B_{j,s,r}} = XANIBOV_r * \alpha_r^{mobxb} \left(\frac{\rho_r^{mobxb}}{(1-\rho_r^{mobxb})} \right) * \left(\frac{PX_{B_{j,s,r}} / \gamma_{j,s,r}^{mobxb}}{PXANIBOV_r} \right)^{\sigma_r^{mobxb}}$$

Finalement, le prix agrégé des autres facteurs et intrants à destination des secteurs bovins ($PXANIBOV$) s'exprime comme une fonction des prix de ces autres facteurs et intrants dans chaque secteur et système de production bovine ($PX_{j,s,r}$) et des paramètres de la CET :

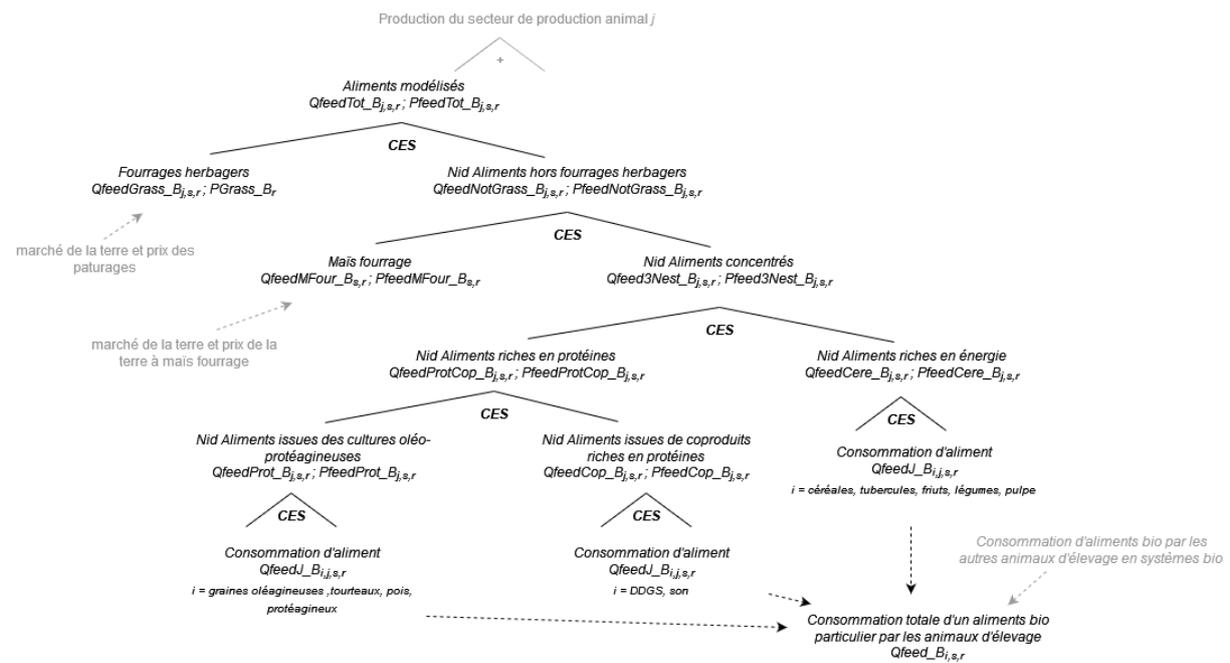
$$PXANIBOV_r = 1/\alpha_r^{mobxb} * \left(\sum_j \sum_s \left((\gamma_r^{mobxb})^{-\sigma_r^{mobxb}} * (PX_{j,s,r})^{\rho_r^{mobxb}/(\rho_r^{mobxb}-1)} \right) \right)^{(1-1/\rho_r^{mobxb})}$$

2.2.3.2 La demande alimentaire des animaux

La demande d'alimentation des animaux d'élevage concerne ici les aliments dont la production est modélisée soit en tant que produit agricole (céréales, graines oléagineuses, protéagineux, fruits, légumes) ou bien en tant que produit ou coproduit de transformation (tourteaux, drêches, pulpes, sons). Elle intègre également la consommation de fourrage herbagé et de maïs fourrage.

Comme dans MATSIM-LUCA, la représentation choisie dans le modèle est une spécification en CES imbriquées avec des substitutions par nids selon les types d'ingrédients considérés. Nous représentons en Figure 6 la technologie de la demande alimentaire d'un système animal herbager en système bio. Cette technologie est identique en systèmes conventionnels en considérant tous les ingrédients comme issues de systèmes conventionnels. Elle est adaptable aux système granivores en sautant les étapes associées à la consommation de maïs fourrage, sans objet, et d'herbe que nous ne considérons pas ici dans les rations des porcs ou des volailles.

Figure 6 : Technologie de la demande alimentaire des animaux (cas des herbivores)



A partir du sommet du diagramme, nous retrouvons, pour le secteur de production animale concerné, la demande globale d'aliments issue de la technologie de production Leontief. La quantité totale d'aliments demandée ($QfeedTot_{B_{j,s,r}}$) est donc égale à sa part initiale dans la production totale du secteur ($QfeedTot0_{B_{j,s,r}}/YJ0_{B_{j,s,r}}$) multipliée par la production totale courante du secteur ($YJ_{B_{j,s,r}}$) :

$$QfeedTot_{B_{j,s,r}} = (QfeedTot0_{B_{j,s,r}}/YJ0_{B_{j,s,r}}) * YJ_{B_{j,s,r}}$$

La quantité globale d'aliment ainsi que de chacun des aliments consommés est exprimé dans les équations en tonnages réels au taux d'humidité standard. Il convient d'effectuer la conversion en

matière sèche pour déterminer des coefficients d'efficacité alimentaire issus du calibrage du modèle et des simulations réalisées.

Substitution herbe vs. Autres aliments

Le premier niveau de substitution pour les herbivores, s'effectue entre l'herbe issue des pâtures et un nid regroupant les autres aliments. Le prix synthétique des aliments ($P_{feedTot_B_{j,s,r}}$) est donc une fonction des prix de l'herbe (P_{Grass_r}), du prix agrégé du nid des autres aliments ($P_{FeedNotGrass_B_{j,s,r}}$) et des paramètres de la première CES :

$$P_{feedTot_B_{j,s,r}} = 1/\alpha_{j,s,r}^{subtot} * \left[\left(\gamma_{j,s,r}^{subtot} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subtot}} * \left(P_{FeedNotGrass_B_{j,s,r}} \right)^{1-\sigma_{j,s,r}^{subtot}} \right]^{\left(1+1/\rho_{j,s,r}^{subtot} \right)} + \left(1-\gamma_{j,s,r}^{subtot} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subtot}} * \left(P_{Grass_r} \right)^{1-\sigma_{j,s,r}^{subtot}}$$

Les niveaux de demandes d'herbe ($Q_{feedgrass_B_{j,s,r}}$) et des autres aliments ($Q_{feedNotGrass_B_{j,s,r}}$) s'expriment à partir des coefficients de cette première CES :

$$Q_{feedgrass_B_{j,s,r}} = Q_{feedTot_B_{j,s,r}} * \left(\alpha_{j,s,r}^{subtot} \right)^{\left(\sigma_{j,s,r}^{subtot}-1 \right)} * \left(\left(1-\gamma_{j,s,r}^{subtot} \right) * P_{feedTot_B_{j,s,r}} / P_{Grass_B_r} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subtot}}$$

$$Q_{feedNotGrass_B_{j,s,r}} = Q_{feedTot_B_{j,s,r}} * \left(\alpha_{j,s,r}^{subtot} \right)^{\left(\sigma_{j,s,r}^{subtot}-1 \right)} * \left(\gamma_{j,s,r}^{subtot} * P_{feedTot_B_{j,s,r}} / P_{feedNotGrass_B_{j,s,r}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subtot}}$$

La demande d'herbe concerne aussi bien le foin de prairie que l'herbe pâturée au champ. Nous ne modélisons pas la production d'herbe et considérons qu'il n'y a pas de distinction entre l'herbe bio et conventionnelle. L'offre de terre en prairie étant représentée dans le modèle, nous dérivons le prix de l'herbe ($P_{Grass_B_r}$) du prix des pâtures ($P_{Lgrass_B_r}$) corrigé d'un rendement en herbe que nous considérons fixe et exogène au modèle ($YieldGrass0_r$) :

$$P_{Grass_B_r} = P_{Lgrass_B_r} / YieldGrass0_r$$

Substitution Maïs fourrage vs. Aliments concentrés

Concernant le nid des autres aliments, pour les herbivores, nous introduisons un second niveau de substitution entre le maïs fourrage et un nid des aliments concentrés. L'expression du prix synthétique du nid des aliments excluant les fourrages herbagers est la suivante :

$$P_{feedNotGrass_B_{j,s,r}} = 1/\alpha_{j,s,r}^{subnotgrass} * \left[\left(\gamma_{j,s,r}^{subnotgrass} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}} * \left(P_{Feed3Nest_B_{j,s,r}} \right)^{1-\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}} \right]^{\left(1+1/\rho_{j,s,r}^{subnotgrass} \right)} + \left(1-\gamma_{j,s,r}^{subnotgrass} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}} * \left(P_{FeedMFour_B_{j,s,r}} \right)^{1-\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}}$$

Où $P_{Feed3Nest_B_{j,s,r}}$ est le prix agrégés des concentrés consommés par les animaux du secteur j du système de production s et $P_{FeedMFour_B_{j,s,r}}$ le prix du maïs fourrage produit en système s .

Les niveaux de demande de maïs fourrage ($Q_{feedMFour_B_{j,s,r}}$) et d'aliments concentrés ($Q_{feed3Nest_B_{j,s,r}}$) s'expriment à partir des paramètres de la deuxième fonction CES :

$$Q_{feedMFour_B_{j,s,r}} = Q_{feedNotGrass_B_{j,s,r}} * \left(\alpha_{j,s,r}^{subnotgrass} \right)^{\left(\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}-1 \right)} * \left(\left(1-\gamma_{j,s,r}^{subnotgrass} \right) * P_{feedNotGrass_B_{j,s,r}} / P_{feedMFour_B_{j,s,r}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}}$$

$$Q_{feed3Nest_B_{j,s,r}} = Q_{feedNotGrass_B_{j,s,r}} * \left(\alpha_{j,s,r}^{subnotgrass} \right)^{\left(\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}-1 \right)} * \left(\gamma_{j,s,r}^{subnotgrass} * P_{feedNotGrass_B_{j,s,r}} / P_{feed3Nest_B_{j,s,r}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}}$$

Le maïs fourrage est une culture dont la production n'est pas modélisée mais dont nous modélisons l'offre de terre en distinguant une production bio et une production conventionnelle. Nous dérivons donc les prix du maïs fourrage bio et conventionnel directement du prix des terres en maïs fourrage correspondant ($PLM_{Four_B_{s,r}}$) en conservant un ratio entre prix du produit et prix de la terre ayant servi à le produire, calculé à partir des données de référence ($\overline{PriceratioM_{Four0_B_{s,r}}}$):

$$P_{FeedM_{Four_B_{s,r}}} = PLM_{Four_B_{s,r}} / \overline{PriceratioM_{Four0_B_{s,r}}}$$

Substitutions des aliments riches en protéines vs. aliments riches en énergie

Le niveau de substitution suivant se situe au niveau des aliments concentrés. Il représente la possibilité de substituer les aliments riches en protéines et les aliments riches en énergie. Notons qu'il s'agit du premier niveau de substitution pour les animaux granivores qui ne sont pas concernés par les équations précédentes. Nous avons donc classé les aliments en deux nids distincts selon leur richesse relative en énergie ou en protéines. Les données initiales ont été calibrées pour respecter les rations des animaux dans le cadre de contraintes nutritionnelles moyennes des catégories représentées. La modélisation en nids distincts permet de représenter en simulation les possibilités de substitution différentes entre nids et à l'intérieur des nids, tout en respectant au mieux les contraintes nutritionnelles des animaux.

Le prix du nid des aliments concentrés s'exprime comme une fonction du prix des aliments riches en protéines ($P_{FeedprotCop_B_{j,s,r}}$) et du prix des aliments riches en énergie ($P_{FeedCere_B_{j,s,r}}$) et des paramètres de la troisième CES :

$$P_{feed3Nest_B_{j,s,r}} = 1 / \alpha_{j,s,r}^{sub3nest} * \left[\begin{array}{l} (\gamma_{j,s,r}^{sub3nest})^{\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}} * (P_{FeedprotCop_B_{j,s,r}})^{1-\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}} \\ + (1 - \gamma_{j,s,r}^{sub3nest})^{\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}} * (P_{FeedCere_B_{j,s,r}})^{1-\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}} \end{array} \right]^{(1+1/\rho_{j,s,r}^{sub3nest})}$$

Les niveaux de demandes d'aliments riches en protéines ($Q_{feedProtCop_B_{j,s,r}}$) et d'aliments riches en énergie ($Q_{feedCere_B_{j,s,r}}$) s'expriment de la manière suivante :

$$Q_{feedProtCop_B_{j,s,r}} = Q_{feed3Nest_B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{sub3nest})^{(\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}-1)} * (\gamma_{j,s,r}^{sub3nest} * P_{feed3Nest_B_{j,s,r}} / P_{feedProtCop_B_{j,s,r}})^{\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}}$$

$$Q_{feedCere_B_{j,s,r}} = Q_{feed3Nest_B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{sub3nest})^{(\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}-1)} * ((1 - \gamma_{j,s,r}^{sub3nest}) * P_{feed3Nest_B_{j,s,r}} / P_{feedCere_B_{j,s,r}})^{\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}}$$

Substitution des aliments riches en protéines issus d'oléo-protéagineux vs. autres coproduits

Nous traitons à ce niveau les deux nids d'aliments de manières distinctes. En premier lieu, parmi les aliments riches en protéines, nous introduisons un autre niveau de substitution pour distinguer les aliments issus des cultures oléo-protéagineuses et de leur transformation, des autres coproduits riches en protéines issue de la transformation d'autres cultures. Le prix synthétique des aliments riches en protéines s'exprime donc comme une fonction des prix synthétiques des deux nids ($P_{FeedCop_B_{j,s,r}}$ et $P_{FeedProt_B_{j,s,r}}$) et des paramètres de la quatrième CES :

$$P_{feedProdCop_B_{j,s,r}} = 1 / \alpha_{j,s,r}^{subprotcop} * \left[\begin{array}{l} (\gamma_{j,s,r}^{subprotcop})^{\sigma_{j,s,r}^{subprotcop}} * (P_{FeedCop_B_{j,s,r}})^{1-\sigma_{j,s,r}^{subprotcop}} \\ + (1 - \gamma_{j,s,r}^{subprotcop})^{\sigma_{j,s,r}^{subprotcop}} * (P_{FeedProt_B_{j,s,r}})^{1-\sigma_{j,s,r}^{subprotcop}} \end{array} \right]^{(1+1/\rho_{j,s,r}^{subprotcop})}$$

Les niveaux de demande des produits issus des cultures oléo-protéagineuses ($Q_{feedProt_B_{j,s,r}}$) et des autres coproduits riches en protéines ($Q_{feedCoproduct_B_{j,s,r}}$) s'expriment comme :

$$Q_{feedProt_B_{j,s,r}} = Q_{feedProtCoproduct_B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subprotcop})^{(\sigma_{j,s,r}^{subprotcop} - 1)} * \left((1 - \gamma_{i,j,s,r}^{subprotcop}) * P_{feedProtCoproduct_B_{j,s,r}} / P_{feedProt_B_{j,s,r}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subprotcop}}$$

$$Q_{feedCoproduct_B_{j,s,r}} = Q_{feedProtCoproduct_B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subprotcop})^{(\sigma_{j,s,r}^{subprotcop} - 1)} * \left(\gamma_{i,j,s,r}^{subprotcop} * P_{feedProtCoproduct_B_{j,s,r}} / P_{feedCoproduct_B_{j,s,r}} \right)^{\sigma_{j,s,r}^{subprotcop}}$$

Substitution entre aliments riches en protéines issus d'oléo-protéagineux

De nouveau, nous traitons de manière distincte les aliments issus des cultures oléo-protéagineuses et de leur transformation pour représenter les possibilités de substitution entre elles via une cinquième fonction CES. Dans ce nid, on retrouve les différentes graines oléagineuses, les tourteaux associés, le pois et les autres graines protéagineuses. Ces aliments proviennent exclusivement de systèmes de production bio ou conventionnel selon le système de production animal considéré. Le prix du nid est une fonction des prix de ces produits ($P_{B_B_{iprot,s,r}}$) et des paramètres de la sixième CES :

$$P_{FeedProt_B_{j,s,r}} = 1 / \alpha_{j,s,r}^{subprot} * \left(\sum_{iprot} \left((\gamma_{i,j,s,r}^{subprot})^{\sigma_{j,s,r}^{subprot}} * (P_{B_B_{iprot,s,r}})^{1 - \sigma_{j,s,r}^{subprot}} \right) \right)^{\left(1 + 1 / \rho_{j,s,r}^{subprot} \right)}$$

La demande des différents produits concernés s'exprime par l'équation :

$$Q_{feedJ_B_{i,j,s,r}} = Q_{feedProt_B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subprot})^{(\sigma_{j,s,r}^{subprot} - 1)} * (\gamma_{i,j,s,r}^{subprot} * P_{feedProt_B_{j,s,r}} / P_{B_{i,s,r}})^{\sigma_{j,s,r}^{subprot}} \text{ pour } i \in iprot$$

Où $Q_{feedJ_B_{i,j,s,r}}$ est la consommation d'un produit i , par les animaux d'un secteur j d'un système de production s dans une région r .

Substitution entre autres coproduits riches en protéines

Le fonctionnement est le même sur la branche des autres coproduits riches en protéines représentés par le son et les drêches de céréales (DDGS) issues de la fabrication de l'éthanol. Pour les systèmes de productions animales en conventionnel le prix synthétique de l'agrégat est :

$$P_{feedCoproduct_B_{j,s,r}} = 1 / \alpha_{j,s,r}^{subcop} * \left(\sum_{icoproduct} \left((\gamma_{i,j,s,r}^{subcop})^{\sigma_{j,s,r}^{subcop}} * (P_{B_{icoproduct,s,r}})^{1 - \sigma_{j,s,r}^{subcop}} \right) \right)^{\left(1 + 1 / \rho_{j,s,r}^{subcop} \right)}$$

Avec $P_{B_{icoproduct,s,r}}$ le prix de marché du coproduit $icoproduct$ (DDGS ou son), issu d'un système de production s

La demande dérivée de son et de DDGS est :

$$Q_{feedJ_B_{i,j,s,r}} = Q_{feedCoproduct_B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subcop})^{(\sigma_{j,s,r}^{subcop} - 1)} * (\gamma_{i,j,s,r}^{subcop} * P_{feedCoproduct_B_{j,s,r}} / P_{B_{i,s,r}})^{\sigma_{j,s,r}^{subcop}} \text{ pour } i \in icoproduct$$

En système de production animale biologique, il n'y a pas de consommation de DDGS car nous supposons que l'industrie de transformation de l'éthanol à partir de céréales ne consomme que des céréales conventionnelles. En revanche il y a bien une consommation de son, issue de la transformation de céréales ou de graines protéagineuses biologiques destinées à l'alimentation humaine. Les équations du nid des autres coproduits riches en protéines sont donc sans objet dans le cas des systèmes animaux bio et le son devient alors un substitut direct au nid des coproduits issus des cultures oléo-protéagineuses.

Substitution entre aliments riches en énergie

Finalement, en remontant au niveau du nid des aliments riches en énergie, nous considérons à ce niveau des possibilités de substitution entre les différentes céréales, les tubercules, les fruits, les légumes et la pulpe de betterave. De la même manière, le prix synthétique des aliments riches en énergie ($P_{FeedCere_B_{j,s,r}}$) est une fonction des prix de ces différents aliments ($P_{B_icere,s,r}$) et des paramètres de la CES correspondante :

$$P_{FeedCere_B_{j,s,r}} = 1/\alpha_{j,s,r}^{subcere} * \left(\sum_{icere} \left((\gamma_{i,j,s,r}^{subcere})^{\sigma_{j,s,r}^{subcere}} * (P_{B_icere,s,r})^{1-\sigma_{j,s,r}^{subcere}} \right) \right)^{\left(1+1/\rho_{j,s,r}^{subcere}\right)}$$

La demande dérivée de chacun des aliments s'exprime comme :

$$Q_{feedJ_B_{i,j,s,r}} = Q_{feedCere_B_{j,s,r}} * (\alpha_{j,s,r}^{subcere})^{\left(\sigma_{j,s,r}^{subcere}-1\right)} * (\gamma_{i,j,s,r}^{subcere} * P_{feedCere_B_{j,s,r}}/P_{B_i,s,r})^{\sigma_{j,s,r}^{subcere}} \text{ pour } i \in icere$$

Demandes alimentaire agrégée des animaux

En dernière étape, on peut donc calculer pour chacun des aliments et pour chacun des systèmes bio ou conventionnel la demande par l'ensemble des animaux du modèle ($Q_{feed_B_{i,s,r}}$) :

$$Q_{feed_B_{i,s,r}} = \sum_j Q_{feedJ_B_{i,j,s,r}} \text{ pour } i \in \text{aliments modélisés}$$

Certains aliments disposent de données de consommation alimentaire dans les bilans d'approvisionnement mais ne sont pas considérés dans les rations des animaux du modèle, Nous considérons alors cette consommation par l'ensemble des animaux comme fixe dans les simulations.

$$Q_{feed_B_{i,s,r}} = \overline{Q_{feed0_B_{i,s,r}}} \text{ pour } i \in \text{aliments non modélisés}$$

2.2.4 Cas particulier de la production du son

Le son est un ingrédient important dans l'alimentation des animaux. D'origines diverses, il s'agit d'un coproduit de la transformation des différentes céréales et des graines protéagineuses. Nous calculons sa production dans le modèle comme une part fixe ($\overline{Tecratebran_{s,r}}$) de la somme des consommations humaines ($Q_{FOOD_B_{i,s,r}}$) des différentes céréales, du pois et des autres protéagineux. Cette part fixe est considérée comme exogène au modèle et fixe. Elle est calibrée sur la base des données de référence.

$$Y_{B_{i,s,r}} = \overline{Tecratebran_{s,r}} * \left(\sum_{icere} Q_{FOOD_B_{icere,s,r}} + Q_{FOOD_B_{peas,s,r}} + Q_{FOOD_B_{pulses,s,r}} \right)$$

Nous conservons ainsi la distinction d'un son d'origine bio ou conventionnel destiné à l'alimentation des animaux des systèmes correspondants.

2.2.5 Technologie des secteurs de transformation

Nous ne détaillons pas dans ce rapport la partie concernant la transformation intermédiaire des produits agricoles qui est identique à la modélisation proposée dans le modèle MATSIM-LUCA et décrite en détail dans Forslund et al. (2013b).

Rappelons qu'il s'agit des secteurs suivants :

Les secteurs de trituration de graines oléagineuses :

Ils expriment une demande des graines oléagineuses pour produire des huiles et tourteaux d'oléagineux. Le modèle considère des secteurs de transformation distincts qui sont alimentés par des graines d'origines biologique ou conventionnelle. La spécificité bio ou conventionnelle est transmise aux produits fabriqués. Il y a donc une production d'huiles et de tourteaux bio. Les premières sont utilisées en alimentation humaine et valorisée en bio, les seconds sont utilisés en alimentation animale par les animaux des systèmes de production bio.

Les secteurs de production du sucre :

En France et dans le reste de l'Union européenne (ROFUE), il s'agit des secteurs utilisant de la betterave pour produire du sucre et un coproduit correspondant à la pulpe de betterave déshydratée. Nous distinguons les secteurs de production de sucre bio et conventionnel qui utilisent de la betterave, respectivement, bio et conventionnelle. Tandis qu'il y a deux types de sucre produits, nous considérons que la pulpe déshydratée n'est pas valorisée en tant que produit bio et que toute la pulpe produite est considérée comme un produit conventionnel, consommée uniquement par les animaux des systèmes conventionnels.

Les secteurs des biocarburants :

Il s'agit d'une part des secteurs de production du biodiésel, qui consomment entre autre des huiles végétales, et des secteurs de fabrication de l'éthanol carburant qui consomment des céréales et de la betterave. Dans le premier cas, les coproduits de la production d'éthanol carburant sont les drêches, dans le second cas c'est la pulpe déshydratée. Nous posons comme hypothèse que ces secteurs n'utilisent pas de produits issus de systèmes de production biologique. Les biocarburants produits ainsi que les différents coproduits sont donc tous considérés comme des produits conventionnels.

2.2.6 Technologie de la demande alimentaire en produits issus de l'agriculture biologique

Dans le modèle, la consommation finale des produits est constituée pour l'essentiel de la consommation humaine. Par rapport à la version précédente de MATSIM-LUCA, nous sommes en mesure à présent de distinguer la consommation de produits bio et conventionnels qu'ils soient d'origine végétale ou animale pour la France et pour le ROFUE.

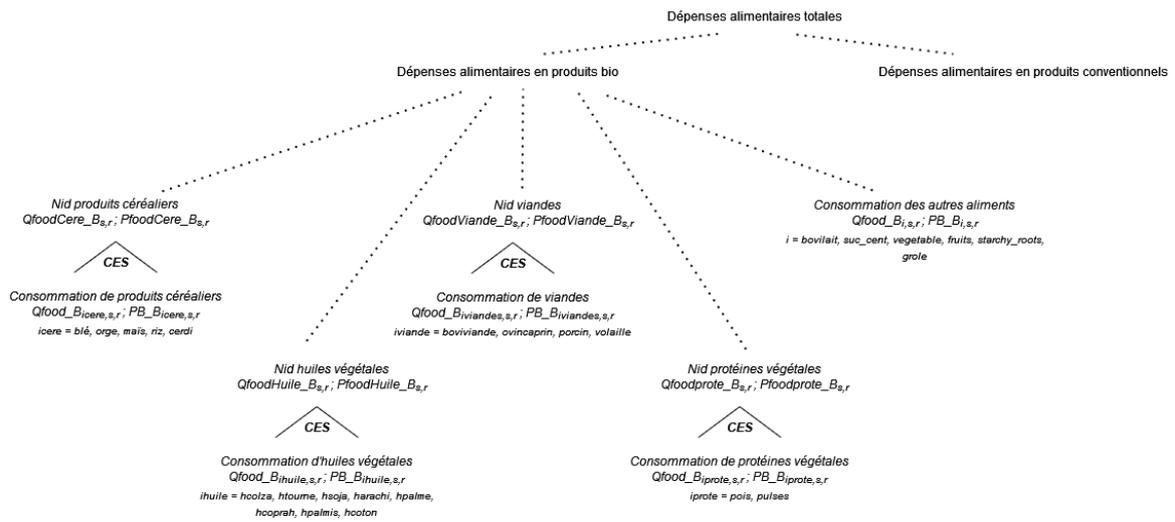
Il existe plusieurs manières de modéliser la demande humaine de produits biologiques en essayant de représenter au mieux les comportements des individus de manière agrégée. Les comportements vis-à-vis de la consommation de produits bio sont en effet dépendant de différents facteurs liés aux caractéristiques socio-professionnelles des consommateurs, au revenu, à l'âge, aux croyances ou aux différentes sensibilités sur les questions de santé et d'environnement. Les décisions de consommer bio peuvent être des convictions profondes en choisissant d'effectuer ses achats dans des réseaux spécialisés ou les décisions peuvent être des opportunités d'achat devant le rayon en circuit généraliste. Enfin, le choix de consommer bio peut-être dépendant de la catégorie de produits consommés en ayant d'avantage la conviction ou les moyens de consommer des légumes bio que des produits bio d'origine animale par exemple.

A l'écriture de ce rapport, nous sommes en attente d'analyses de données de consommation des ménages français pour appréhender au mieux un modèle des décisions agrégées.

Pour les premières simulations, nous considérons une modélisation similaire à celle utilisée dans MATSIM-LUCA et décrite dans Levert et al. (2017). Nous considérons simplement qu'il existe deux types de consommateurs représentatifs consommant chacun strictement des produits bio ou strictement des produits conventionnels. Parmi les produits consommés nous ajoutons également les produits nouvellement pris en compte, à savoir les fruits, les légumes, les tubercules et enfin, les graines oléagineuses ainsi que les pois et les autres protéagineux regroupés dans un nid de protéines végétales.

La modélisation de la demande alimentaire humaine est schématisée en **Erreur ! Référence non valide pour un signet.**

Figure 7 : Technologie de la demande alimentaire humaine



Chacun des nids de consommation des différents agrégats de produits et des différents systèmes sont distincts et disposent d'une élasticité d'expansion propre synthétisant les effets d'expansion de la demande (accroissement ou diminution de la demande alimentaire totale due à une variation de la population, du revenu moyen des ménages, préférences des consommateurs, etc.). Le niveau de demande des différents nids s'exprime de la sorte (exemple du nid des produits à base de céréales $Q_{foodCere_B_{s,r}}$) :

$$Q_{foodCere_B_{s,r}} = \overline{Q_{foodCere0_B_{s,r}}} * \left(\frac{P_{foodCere_B_{s,r}}}{P_{foodCere0_B_{s,r}}} \right)^{\sigma_{s,r}^{expCere}}$$

Où $\overline{Q_{foodCere0_B_{s,r}}}$ et $\overline{P_{foodCere0_B_{s,r}}}$ sont les quantités et prix des produits céréaliers produits en système s et consommés en alimentation humaine dans la situation de référence.

Le prix du nid $P_{foodCere_{s,r}}$ est déterminé par l'équation d'équilibre de la valeur du nid, qui est égale à la somme des valeurs des produits consommés inclus dans le nid :

$$P_{foodCere_{s,r}} * Q_{foodCere_{s,r}} = \sum_{icere} (PB_{B_{icere,s,r}} * Q_{food_B_{icere,s,r}})$$

De la même manière, le niveau de consommation des produits non-inclus dans des nids s'exprime à parti d'une élasticité d'expansion :

$$Q_{food_B_{i,s,r}} = \overline{Q_{food0_B_{i,s,r}}} * \left(\frac{PB_{B_{i,s,r}}}{PB0_{B_{i,s,r}}} \right)^{\sigma_{s,r}^{expFood}} \quad \text{pour } i \in \text{bovilait, sucent vegetable, fruits, starchyroots, grole}$$

Pour les produits inclus dans les nids, les possibilités de substitution entre produits sont représentées via une spécification CES. La demande s'exprime donc de la sorte sur le modèle du nid des produits céréaliers :

$$Q_{food_B_{i,s,r}} = Q_{foodCere_B_{s,r}} * (\alpha_{s,r}^{subcere})^{(\sigma_{s,r}^{subcere}-1)} * (\gamma_{i,s,r}^{subcere} * P_{foodCere_B_{s,r}} / PB_{B_{i,s,r}})^{\sigma_{s,r}^{subcere}} \text{ pour } i \in icere$$

2.2.7 Règles de bouclage du modèle

Le bouclage du modèle consiste à déterminer les prix mondiaux qui ré-équilibrent chacun des marchés suite à un choc exogène, source de tensions du côté de l'offre et/ou du côté de la demande.

Une hypothèse forte de notre modèle est de considérée qu'il n'y a pas d'échanges de produits bio entre la zone Union européenne (France et ROFUE) et le reste du monde. Pour les produits pour lesquels il existe effectivement des échanges de produits bio entre l'UE et le reste du monde rapportés dans les données de référence, nous considérons que ces échanges sont exogènes au modèle et fixes dans les simulations. Les échanges de produits bio ne sont donc modélisés que dans les 2 régions, France et reste de l'Union Européenne (ROFUE). En conséquence, il existe un marché européen fermé pour les produits bio avec des échanges possibles uniquement entre la France et le ROFUE. En revanche, comme dans MATSIM-LUCA, il existe un marché mondial pour les produits conventionnels qui sont échangeables librement entre les différentes régions du modèle.

Bouclage des bilans pour chaque type de produit à l'échelle régionale :

$$TRADE_B_{i,s,r} = Y_{B_{i,s,r}} - \overline{STVAR_B_{i,s,r}} - QFEED_B_{i,s,r} - QFOOD_B_{i,s,r} - \sum_j CI_{B_{i,j,s,r}} - \overline{OTHUS_B_{i,s,r}}$$

Pour chaque produit i , produit en système s , dans la région r , l'écart entre la production domestique ($Y_{B_{i,s,r}}$) et les différentes demandes (alimentation humaine $QFOOD_{B_{i,s,r}}$, alimentation animale $QFEED_{B_{i,s,r}}$, en tant que consommation intermédiaires des industries de transformation $CI_{B_{i,j,s,r}}$, pour d'autres usages $\overline{OTHUS_{B_{i,s,r}}}$) auxquelles s'ajoute la variation de stocks ($\overline{STVAR_{B_{i,s,r}}}$) est comblé par les échanges ($TRADE_{B_{i,s,r}}$). Ces échanges représentent les exportations nettes (i.e., quantités exportées moins quantités importées) : ils sont positifs quand les exportations sont supérieures aux importations et négatifs dans le cas contraire.

Pour les produits bio, on s'assure que les échanges sont équilibrés entre la France et la région ROFUE. Les échanges préexistants avec le reste du monde ($\overline{TRADEBioExog_i}$), offre d'importation ou demande d'exportation, sont maintenus constants dans les simulations :

$$\sum_{rb} TRADE_{B_{i,BIO,rb}} + \overline{TRADEBioExog_i} = 0$$

Cela permet de déterminer pour chacune des deux régions, le prix de marché $PB_{B_{i,BIO,r}}$ de chacun des produits. L'équation suivante assure l'existence d'un prix unique de marché pour chacun des produits bio au sein de la zone d'échange :

$$PB_{B_{i,BIO,r}} = PBIO_i$$

Pour les produits conventionnels, on considère que les produits sont équivalents à ceux disponible sur le marché mondial et qu'ils peuvent être échangé avec les autres pays. Cette équation « transforme » les produits conventionnels européens en produits standards :

$$TRADE_{i,r} = TRADE_{B_{i,CONV,r}}$$

Sur le marché mondial les échanges de produits sont équilibrés et permettent de déterminer le prix mondial PW_i :

$$\sum_r TRADE_{i,r} = 0$$

Le prix de marché intérieur des produits conventionnels est déterminé par rapport aux prix initiaux et à la variation du prix mondial corrigé des éventuelles mesures aux frontières (droits de douanes ou subvention aux exportations) :

$$PB_{B_i,CONV,r} = \overline{PB0}_{i,r} + PW_i * (1 - \overline{TAXEXPORTFIN}_{i,r}) - \overline{PW0}_i * (1 - \overline{TAXEXPORTINI}_{i,r})$$

Avec $\overline{TAXEXPORTINI}_{i,r}$ le droits de douanes ad-valorem dans les données de références initiales et $\overline{TAXEXPORTFIN}_{i,r}$ le droits de douanes ad-valorem exogène à l'issu des simulations

3 Les données pour la modélisation d'une agriculture européenne sans pesticides

3.1 Les données de surface et de production

3.1.1 Surfaces et productions : en bref :

Les surfaces cultivées sont explicitement prises en compte dans MATSIM-LUCA. La terre est considérée comme un facteur de production à part entière. La plupart des bases de données mondiales consolidées donnent les surfaces cultivées par produit, sans différencier le système de production agricole. Dans MATSIM_B, nous devons faire apparaître les surfaces dédiées à l'agriculture conventionnelle d'une part et à l'agriculture biologique d'autre part.

Les productions s'apparentent aux quantités produites. Dans MATSIM-LUCA, nous avons une quantité produite par région par produit. Nous devons dorénavant distinguer la quantité produite en bio de celle produite en conventionnel.

Le rendement fait le lien entre surfaces et productions :

$$\text{Rendements}_{i,syst,r} \text{ (T/ha)} = \frac{\text{Production}_{i,syst,r} \text{ (T)}}{\text{Surface}_{i,syst,r} \text{ (ha)}}$$

Avec *syst* l'ensemble *tot, bio, conv*, *i* l'ensemble des cultures, *r* l'ensemble des régions

Hypothèse : il n'existe que deux systèmes agricoles possibles et exclusifs : le système conventionnel ou le système biologique. Une surface cultivée et une quantité produite sont forcément issues du système bio ou du système conventionnel. La somme des deux systèmes est appelée « agriculture totale » (*tot*).

3.1.2 Sources de données mobilisées :

Les sources de données mobilisées sont les suivantes :

- FAO : surfaces et productions en agriculture totale, par culture, par pays
- Eurostat : surfaces et productions en agriculture totale et en agriculture biologique (depuis 2012), par culture et par pays
- AgenceBio : surfaces pour la plupart des cultures dans les publications de l'Union européenne (UE)⁵

3.1.3 Surfaces : méthodologie

Les surfaces utilisées dans MATSIM-LUCA sont issues de FAOSTAT. Elles ne distinguent pas les modes de production, FAOSTAT ne proposant pas de statistiques sur l'agriculture biologique.

Eurostat propose publiquement des données sur les surfaces en agriculture biologique pour les pays de l'UE. La méthode de recueil de données s'est généralisée (devenue obligatoire) à partir de 2012.

La solution la plus directe pour calculer les surfaces de chaque système de production serait de faire :

⁵ Documents disponibles auprès des auteurs

$$SurfaceMATSIM_{i,bio,r,t} = SurfaceEurostat_{i,bio,r,t}$$

$$SurfaceMATSIM_{i,conv,r,t} = SurfaceMATSIM_{i,tot,r,t} - SurfaceEurostat_{i,bio,r,t}$$

Avec i l'ensemble des cultures de MATSIM, tot , bio et $conv$ l'indice référant au système de production, r l'ensemble des régions, t l'ensemble des années

Mais cette méthode serait imprécise car :

- Les surfaces totales de FAOSTAT et Eurostat ne sont pas tout à fait égales pour certains produits
- Les catégories de produits de FAOSTAT et Eurostat ne recouvrent pas forcément des champs identiques

Donc nous décidons plutôt de procéder comme suit :

1. Calculer la part des surfaces dédiées à l'agriculture biologique dans les surfaces totales d'Eurostat

$$PropBioEurostat_{i,bio,r} = \frac{SurfaceEurostat_{i,bio,r}}{SurfaceEurostat_{i,tot,r}}$$

Avec $SurfaceEurostat_{i,bio,r}$ la surface moyenne cultivée en bio pour la culture i dans le pays r entre 2012 et 2013 et $SurfaceEurostat_{i,tot,r}$ la surface moyenne cultivée sans distinction de système pour la culture i dans le pays r entre 2012 et 2013.

Hypothèse : La proportion de surfaces bio n'a varié que de façon marginale entre 2011 et 2012-2013.

2. Appliquer cette proportion aux surfaces de MATSIM (i.e. de FAOSTAT) pour obtenir les surfaces de MATSIM en bio

$$LO_{i,bio,r} = LO_{i,tot,r} * PropBioEurostat_{i,bio,r}$$

Avec $LO_{i,tot,r}$ les surfaces de MATSIM-LUCA pour le produit i dans la région r entre 2011 et 2013

3. Déduire les surfaces de MATSIM en conventionnel

$$LO_{i,conv,r} = LO_{i,tot,r} - LO_{i,bio,r}$$

En pratique, les tableaux de données d'Eurostat sur les surfaces par culture comportent quelques données manquantes ou incohérentes. Ces dernières ont été corrigées à la main une à une et commentées dans le fichier de calcul GAMS. A titre d'exemple, les surfaces manquantes dans Eurostat peuvent être recalculées lorsqu'il s'agit de catégories de produits agrégés (autres céréales, fruits, légumes, racines et tubercules) : si une donnée est indisponible pour l'année souhaitée, elle est recalculée à partir des années proches disponibles ou remplacée par la donnée de FAOSTAT ; les surfaces inférieures à un certain seuil sont considérées comme nulles...

3.1.4 Le prix de la terre

Il n'existe pas de consensus sur une éventuelle valorisation du caractère biologique de la terre agricole, intégrant des externalités environnementales positives dans le sens d'une plus grande qualité de sol ou une plus grande biodiversité ou qualité paysagère par exemple. Certaines études (Veron 2022) suggèrent même que le prix de la terre agricole biologique en France serait inférieur à la terre en conventionnel notamment du fait de leur plus grande dispersion constituant un frein à la constitution d'îlots parcellaires plus faciles à contrôler dans des technologies alternatives au conventionnel.

Sans information complémentaire, nous considérons par conséquent que dans la situation initiale, les prix de la terre ($PL0_{i,s,r}$) en système conventionnel et en système biologique sont égaux. On leur attribue les valeurs du prix de la terre de MATSIM-LUCA.

$$PL0_{i,tot,r} = PL0_{i,conv,r} = PL0_{i,bio,r}$$

Avec le jeu de possibilités de substitution entre usages figurées par l'arbre de terre, les prix de la terre en conventionnel et en biologique pourront évoluer différemment en simulation.

3.1.5 Rendements et productions : méthodologie

La FAO ne propose pas de statistiques sur les produits biologiques. Eurostat propose des tables sur les quantités produites en bio. Néanmoins, ces dernières sont largement incomplètes et, par conséquent, inexploitable en l'état.

FranceAgriMer publie régulièrement des informations sur les quantités produites en agriculture biologique en France pour quelques cultures. Néanmoins, il n'existe pas d'informations complètes pour les années qui nous intéressent (2011-2013). Il en est de même pour les données publiées par l'AgenceBio.

L'alternative consiste à se baser sur la littérature sur le différentiel de rendement entre agriculture biologique et agriculture conventionnelle. A notre connaissance, il existe plusieurs méta-analyses sur le sujet dont trois largement citées : de Ponti, Rijk and van Ittersum (2012), Seufert et al. (2012) et Ponisio et al. (2015). Nous exposons brièvement les principales conclusions des deux dernières (cf. Annexe 6.1) :

- Seufert, Ramankutty and Foley (2012), Comparing the yields of organic and conventional agriculture :
 - o Meta-analyse, 66 études
 - o Globalement, les rendements en bio sont inférieurs de 25% aux rendements en conventionnel
 - o Les performances relatives en bio varient selon les cultures, par exemple : les rendements bio sont plus proches des rendements conventionnels pour les fruits et les oléagineux que pour les céréales et les légumes
 - o L'écart de rendement est plus faible dans les pays en développement que dans les pays développés
 - o Les performances en bio peuvent être limitées par l'apport d'azote, dépendent davantage des connaissances et des bonnes pratiques de gestion, semblent augmenter avec le temps

- Ponisio et al. (2015), Diversification practices reduce organic to conventional yield gap :
 - o 115 études, données sur 1071 comparaisons
 - o Les rendements en bio sont en moyenne inférieurs de 19.2% à ceux du conventionnel (intervalle de confiance à 95% entre 15.5% et 22.9%)
 - o Les rendements en conventionnel sont plus élevés quelle que soit la culture
 - o Les ratios de rendements conv/bio ne sont pas significativement différents d'une culture à l'autre
 - o L'écart de rendement est significativement plus faible quand les apports d'azote sont similaires en bio et en conventionnel

- L'écart de rendement est significativement plus faible quand la rotation en bio est plus longue
- L'écart de rendement est significativement plus faible quand le système en bio est en polyculture (vs. monoculture)

Les écarts de rendement entre systèmes bio et conventionnels obtenus via les données observées ou à partir de dires d'experts sont généralement plus importants que ceux indiqués par les meta-analyses. Ce constat est vérifié pour la France (données observées publiées par FranceAgriMer et Agreste et dires d'experts français). Pour le blé ou l'orge par exemple, les rendements en agriculture biologique seraient de l'ordre de 50% de ceux en agriculture conventionnelle. Néanmoins, il peut exister un biais puisque l'agriculture biologique est proportionnellement plus importante, aujourd'hui, dans les zones agricoles à faible potentiel (vs. agriculture conventionnelle dans les zones agricoles à fort potentiel) (Guyomard 2013).

Nous décidons donc de nous baser sur les résultats de Ponisio et al. (2015) car l'étude est plus récente et compare davantage de données : $Rdt_{i,bio,r} = Rdt_{i,conv,r} * 0.808$.

Hypothèse : les rendements en agriculture totale sont égaux à la somme des rendements en agriculture conventionnelle et agriculture biologique pondérée par la proportion de chaque système dans l'agriculture totale, i.e :

$$Rendements_{i,tot,r} = Rendements_{i,conv,r} * Prop_{i,conv,r} + Rendements_{i,bio,r} * Prop_{i,bio,r}$$

$$\text{Avec } Prop_{i,conv,r} + Prop_{i,bio,r} = 1, Prop_{i,bio,r} = \frac{Surface_{i,bio,r}}{Surface_{i,tot,r}} \text{ et } Prop_{i,conv,r} = \frac{Surface_{i,conv,r}}{Surface_{i,tot,r}}$$

Ainsi, nous pouvons déduire les rendements en agriculture conventionnelle par région et par culture :

$$Rdt_{i,tot,r} = Rdt_{i,conv,r} * Prop_{i,conv,r} + Rdt_{i,bio,r} * Prop_{i,bio,r}$$

$$\Leftrightarrow Rdt_{i,tot,r} = Rdt_{i,conv,r} * Prop_{i,conv,r} + (Rdt_{i,conv,r} * 0.808) * Prop_{i,bio,r}$$

$$\Leftrightarrow Rdt_{i,conv,r} = \frac{Rdt_{i,tot,r}}{(Prop_{i,bio,r} * 0.808) + Prop_{i,conv,r}}$$

Une fois les rendements en conventionnel calculés, on en déduit les rendements en bio :

$$Rdt_{i,bio,r} = Rdt_{i,conv,r} * 0.808$$

3.1.6 surfaces : Données finales

Tableau 1 : Surfaces cultivées par produit et région, en 1000 ha

	FR		ROFUE	
	conv	bio	conv	bio
BLE	5 426.457	56.369	19 963.404	475.835
MAIS	1 701.663	17.562	7 553.809	77.612
ORGE	1 604.664	16.769	10 390.213	215.299
RIZ	19.726	1.277	423.168	12.130
CERDI	530.740	37.681	6 675.304	544.341
POIS	121.807	28.858	351.068	59.819
PULSES	77.763	18.423	679.576	115.793
FRUITS	806.612	74.773	4 501.914	373.504
VEGETABLES	227.272	14.918	2 001.179	108.011
STACHY_ROOT	156.058	1.968	1 668.337	25.047
COLZA	1 531.288	1.981	4 973.672	32.567
SOJA	31.191	9.455	333.627	23.177
TOURNESOL	715.389	15.127	3 583.392	63.325
COPRAH	0.104			
ARACHI			11.233	
BET_SUC	392.096		1 220.466	3.236
CAN_SUC			0.066	

NB. CERDI = céréales diverses ; PULSES = légumineuses ; VEGETABLES = Légumes ; STARCHY ROOTS = racines et tubercules ; ARACHI = arachide ; BET_SUC et CAN_SUC = betterave et canne à sucre, respectivement.

3.2 Les données sur les autres facteurs et intrants de production

3.2.1 L'intrant pesticide

3.2.1.1 Les pesticides : en bref

Les pesticides représentent un facteur clé pour différencier les pratiques conventionnelles des pratiques biologiques (pesticides de synthèse interdits en agriculture biologique).

Nous nous concentrons ici sur les pesticides de synthèse et excluons du champs les pesticides autorisés en agriculture biologique (ces derniers seront donc inclus dans le facteur de production « autres facteurs et intrants »). Ainsi, les pesticides ne concernent que la technologie conventionnelle de MATSIM_B.

Hypothèse : les pesticides de synthèse sont un bien homogène, i.e. parfaitement mobile d'une culture à l'autre. Nous ne différencions pas herbicides, fongicides, insecticides, molluscicide, rodenticides, régulateurs de croissance...

3.2.1.2 Les pesticides : sources de données mobilisables

- FAOSTAT, données nationales :

- Dépenses totales en pesticides pour chaque pays
- Tonnes de substances totales épandues pour chaque pays
- Quantité de pesticides utilisée en moyenne par hectare par pays
- EUROSTAT, données nationales :
 - Dépenses totales en pesticides pour chaque pays (*Economic accounts for agriculture*)
 - Tonnes de substances achetées par pays tous secteurs confondus
- FADN⁶ : Dépenses moyennes en protection des cultures par OTEX par pays (2004-2018)
- Enquête Pratiques culturales Grandes cultures 2011 : IFT (Indice de Fréquence de Traitement), quantités appliquées, surfaces traitées, nombre de traitements, etc.
- Donnée CER Meuse⁷ : données sur les quantités et les prix pour quelques cultures

Il existe également plusieurs études importantes, notamment Ecophyto R&D Vers des Systèmes de Cultures Economes en Produits Phytosanitaires (Butault et al. 2009). Quelques rapports présents sur le site de d'Agreste permettent également des éclairages ponctuels (Agreste 2020; Agreste 2021).

3.2.1.3 Prix des pesticides : méthodologie

Il n'existe pas, à notre connaissance, de base de données détaillées sur les prix des pesticides. Il existe néanmoins des informations au niveau national sur Eurostat et FAOSTAT. Comme l'essentiel des données de MATSIM-LUCA provient de la FAO, nous choisissons de conserver cette source de données.

Le prix (agrégé) des pesticides à la tonne peut être approché par la valeur unitaire des pesticides épandus égale à la somme totale des dépenses d'achat dans le pays divisée par la quantité épandue dans ce même pays.

La formule de calcul pour la France est donc la suivante,

$$PPhy0_{fr} = \frac{\sum_t \text{dépenses totales en phyto } FAO_{fr,t}}{\sum_t \text{quantités de phyto épandues } FAO_{fr,t}}$$

Avec $t = 2011, 2012, 2013$ les années de référence de MATSIM-LUCA. $PPhy0_{fr}$ le prix pour les années 2011-2013 utilisé dans MATSIM_B.

Et pour le reste de l'Union Européenne (ROFUE),

$$PPhy0_{ROFUE} = \frac{\sum_t \sum_r \text{dépenses totales en phyto } FAO_{r,t}}{\sum_t \sum_r \text{quantités de phyto épandues } FAO_{r,t}}$$

Avec $t = 2011, 2012, 2013$ les années de référence de MATSIM-LUCA. r l'ensemble des pays de la zone ROFUE.

⁶ Farm Accountancy Data network ; Réseau d'information comptable agricole européen

⁷ Données de comptabilité analytique d'exploitations agricoles de la Meuse.

Tableau 2 : Détail du calcul du prix des produits sanitaires à partir des données FAOSTAT

	FR	UE27	ROFUE
Qté substances actives 2011 (1)	61 352.00		
Qté substances actives 2012 (1)	63 844.00		
Qté substances actives 2013 (1)	66 677.00		
Qté substances actives (T) (1)	191 873.00	1 029 749.00	837 876.00
Dépenses phyto 2011 (2)	2 743.10	10 312.02	7 568.92
Dépenses phyto 2012 (2)	2 945.90	10 845.73	7 899.83
Dépenses phyto 2013 (2)	3 137.00	11 526.62	8 389.62
Dépenses phyto (2)	8 826.00	32 684.37	23 858.37
Prix (€/T)	45 999.18	31 740.13	28 474.82
Prix (€/kg)	46.00	31.74	28.47

(1) Quantité de substances actives (fongicides, herbicides, insecticides, molluscicides, rodenticides, régulateurs, autres), tonnes, issues de FAOSTAT ; (2) Dépenses totales en pesticides dans le secteur agricole, millions d'€, issues de FAOSTAT.

3.2.1.4 Intensité d'application des pesticides : méthodologie

A notre connaissance, il n'existe pas de base de données consolidées permettant de déduire directement les taux d'application de pesticides de synthèse par produits de MATSIM_B.

3.2.1.4.1 Intensité d'application des pesticides en France

Nous disposons de deux informations exploitables :

- Grâce à Ecophyto R&D (Butault et al. 2009), nous avons les charges en protection des cultures par hectare pour différentes cultures (i.e. Blé Tendre, Blé Dur, Orge, Maïs grain, Autres céréales, Tournesol, Colza, Autres oléagineux, Pois et fèves, dont *Pois protéagineux*, Betterave sucrière, Pomme de terre, Fourrages, dont *Fourrages cultivés*, Fruits, dont *Pomme*, Légumes et horticulture, dont *Légumes plein champ*, Vigne) pour l'année 2006. Il s'agit d'un travail d'affectation des charges aux cultures à partir des données comptables du RICA pour la variable SE300 « Crop Protection ».
- Grâce aux données de la Meuse, nous avons les charges en pesticides par hectare pour les années 2000 à 2016 pour le Blé, l'Orge d'hiver, l'Orge de Printemps, le Maïs grain, les Pois, le Colza et le Tournesol. Il s'agit de données comptables également.

Nous ne pouvons pas utiliser les données du rapport Ecophyto R&D 2009 en l'état car :

- Il s'agit de l'année 2006 et le prix des pesticides varie chaque année
- Les charges correspondent aux protections des cultures, ce qui inclut « Plant protection products, traps and baits, bird scarers, antihail shells, frost protection, etc. (excluding those used for forests) » (selon le fichier FADN-Var-Description.pdf⁸). Le champ est donc plus large

⁸ Fichier disponible auprès des auteurs

que celui des pesticides de synthèse et comprend des produits et outils également utilisés en bio.

Nous décidons de les combiner aux données de la Meuse :

- Qui couvrent les années 2011 à 2013, années de référence du modèle
- Dont le champ est plus restrictif (seulement produits phytosanitaires).
- Mais qui ne permettent pas de déterminer la quantité pour toutes les cultures de MATSIM_B

Etape 1 : Données de R&D Ecophyto :

Nous exprimons les charges en protection végétale avec comme base 100 les charges en Blé tendre :

$$Charges100_{i,fr,2006} = \frac{Charges_{i,fr,2006}}{Charges_{bléT,fr,2006}} * 100$$

Avec i l'ensemble des cultures incluses dans le rapport Ecophyto R&D 2009 sauf le blé tendre, $Charges100_{i,fr,2006}$ les charges en pourcentage des charges du blé tendre, $Charges_{i,fr,2006}$ les charges comme calculées dans Ecophyto R&D 2009 (€/ha)

Tableau 3: Charges en produits phytosanitaires du blé tendre dans Ecophyto R&D 2009

Produit	Charges en protection végé (€/ha)	Charges en protection végé (%charges blé T)
Grandes Cultures	134	
Blé T	133	100
Blé D	112	84.21
Orge	100	75.19
Maïs grain	88	66.17
Autres céréales	82	61.65
Tournesol	87	65.41
Colza	203	152.63
Autres oléagineux	132	99.25
Pois et fèves	184	138.35
<i>dont Pois protéagineux</i>	<i>216</i>	<i>162.41</i>
Betterave sucrière	251	188.72
Pomme de T	489	367.67
Fourrages	17	12.78
<i>dont Fourrages cultivés</i>	<i>66</i>	<i>49.62</i>
Fruits	590	443.61
<i>dont Pomme</i>	<i>1267</i>	<i>952.63</i>
Légumes et horticulture	527	396.24
<i>dont Légumes plein champ</i>	<i>362</i>	<i>272.18</i>
Vigne	394	296.24

Etape 2 : Données Meuse

On calcule les charges moyennes par hectare pour le blé entre 2011 et 2013.

$$Charges0_{Blé,fr} = \frac{Charges_{Blé,fr,2011} + Charges_{Blé,fr,2012} + Charges_{Blé,fr,2013}}{Surface_{Blé,fr,2011} + Surface_{Blé,fr,2012} + Surface_{Blé,fr,2013}}$$

Avec $Charges0_{Blé,fr}$ les charges en pesticides du blé en €/ha de la Meuse pour 2011-2013, $Charges_{Blé,fr,t}$ les charges totales en pesticides pour le blé en €, $Surface_{Blé,fr,t}$ la surface dédiée à la culture en ha.

Ensuite, on considère que $Charges100_{BléT,fr,2006} = Charges0_{Blé,fr}$.

Pour les autres cultures, on applique le pourcentage précédemment calculé à $Charges0_{Blé,fr}$.

$$Charges0_{i,fr} = \frac{Charges100_{i,fr,2006} * Charges0_{Blé,fr}}{100}$$

Enfin, on divise par le prix au kilo précédemment déduit des données FAO pour passer des charges en €/ha en quantité de pesticides en kg/ha.

$$Phy0_{i,fr} = \frac{Charges0_{i,fr}}{PPhy0_{fr}}$$

Avec $Phy0_{i,fr}$ les quantités de pesticides pour la culture i en France utilisé dans MATSIM_B. Le Tableau 4 rapporte ces calculs :

Tableau 4 : Calcul des intensités d'apports en pesticides d'après les données du RICA 2006 (Ecophyto R&D, 2019) et de la Meuse 2011-2013

Produit	Charges en protection végété avec blé base 100 RICA2006	Charges en pesticides (€/ha) Meuse 2011-13	Qté pesticides (kg/ha)
Blé T	100	153.52	3.34
Blé D	84.21	129.28	2.81
Orge	75.19	115.43	2.51
Maïs grain	66.17	101.58	2.21
Autres céréales	61.65	94.65	2.06
Tournesol	65.41	100.43	2.18
Colza	152.63	234.33	5.09
Autres oléagineux	99.25	152.37	3.31
Pois et fèves	138.35	212.4	4.62
<i>dont Pois protéagineux</i>	162.41	249.33	5.42
Betterave sucrière	188.72	289.73	6.3
Pomme de T	367.67	564.46	12.27
Fourrages	12.78	19.62	0.43
<i>dont Fourrages cultivés</i>	49.62	76.19	1.66
Fruits	443.61	681.05	14.81
<i>dont Pomme</i>	952.63	1462.53	31.79
Légumes et horticulture	396.24	608.33	13.22
<i>dont Légumes plein champ</i>	272.18	417.86	9.08
Vigne	296.24	454.8	9.89

Etape 3 : Correspondance avec les cultures MATSIM_B

La dernière étape consiste à faire correspondre les cultures du rapport Ecophyto R&D 2009 avec celles de MATSIM_B. Les équivalences adoptées sont les suivantes :

- BLE = Blé tendre
- MAIS = Maïs grain
- ORGE = Orge
- RIZ = Autres céréales
- CERDI = Autres céréales
- COLZA = Colza
- SOJA = Autres oléagineux
- TOURNESOL = Tournesol
- ARACHIDE = Autres oléagineux
- PALME = Autres oléagineux
- COPRAH = Autres oléagineux
- BET_SUC = Betterave sucr
- POIS = Pois
- FRUITS = Fruits
- PULSES = Pois et fèves
- VEGETABLE = Légumes plein champ
- STARCHY_ROOTS = Pomme de T

3.2.1.4.2 Intensité d'application des pesticides dans la zone ROFUE

La seule information dont nous disposons par pays provient de la FAO : quantité de pesticides utilisées par hectare de surface cultivée en kg/ha pour les années 2011, 2012 et 2013⁹ (*Fichier téléchargé le 21 mai 2021*)

En outre, nous faisons l'hypothèse que les taux d'application dans les autres pays de l'UE suivent la même distribution par rapport à la référence blé qu'en France, i.e., par exemple, il y a 1.5 fois plus de pesticides sur le colza que sur le blé tendre quel que soit le pays de l'UE.

⁹ <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>

Tableau 5 : Utilisations moyennes de pesticides par ha dans les pays de l'UE d'après FAOSTAT

Pays	Moyenne 2011-2013 Pesticides (kg/ha)	Pays	Moyenne 2011-2013 Pesticides (kg/ha)
Austria	2.373	Latvia	1.043
Belgium	7.09	Lithuania	1.043
Bulgaria	0.38	Luxembourg	2.413
Cyprus	6.547	Malta	12.023
Czechia	1.77	Netherlands	10.443
Denmark	1.917	Poland	1.937
Estonia	0.827	Portugal	6.557
Finland	0.703	Romania	0.717
France	3.313	Slovakia	1.093
Germany	3.673	Slovenia	4.303
Greece	2.203	Spain	3.027
Hungary	1.783	Sweden	0.667
Ireland	6.74	United Kingdom	2.773
Italy	6.747		
		Moyenne :	3.425

Pour la France, la quantité de pesticides moyenne épanchée entre 2011 et 2013 selon la FAO s'élevé à 3.31 kg/ha, ce qui est très proche de la quantité épanchée en blé tendre calculée précédemment.

Etape 1 : Quantité de pesticides par culture par pays de la zone ROFUE

A partir des données par culture de la France, on fait un produit en croix pour obtenir celles des autres pays :

$$Phy0_{i,r} = \frac{Phy0_{i,fr} * PhyFAO_r}{PhyFAO_{fr}}$$

Avec i l'ensemble des cultures incluses dans le rapport Ecophyto R&D 2009, r l'ensemble des pays de la zone ROFUE, $PhyFAO_r$ la quantité de pesticides moyenne issue de la FAO pour les années 2011-2013.

Ensuite, on effectue la correspondance entre les cultures incluses dans le rapport Ecophyto R&D 2009 et celles de MATSIM_B de la même manière que pour la France.

Etape 2 : Quantité de pesticides dans la zone ROFUE

Pour chaque produit, l'application de pesticide pour la zone ROFUE est obtenue par la somme des applications par pays pondérée par les parts des surfaces cultivées du produit dans la surface cultivée total du pays (moyenne FAO 2011-2013).

$$Phy0_{i,rofue} = \frac{\sum_r Phy0_{i,r} * SurfaceFAO_{i,r}}{\sum_r SurfaceFAO_{i,r}}$$

Avec $SurfaceFAO_{i,r}$ la surface moyenne de la culture i dans le pays r en 2011-2013 issue de la FAO.

3.2.1.5 Les pesticides : Données finales

3.2.1.5.1 Prix des pesticides

Tableau 6 : Prix des pesticides retenus pour initialiser le modèle

	FRANCE	ROFUE
PRIX 2011-2013 PPhy0	46.00€/kg	28.47€/kg

NB : Attention : unités = euros, le modèle est codé en dollars (taux de conversion 0.75) / ! \

L'échelle des prix calculés s'échelonne entre un minimum de 4.15€/kg à Malte et un maximum de 94.83€/kg en Bulgarie.

Il n'y a pas de corrélation forte entre la quantité de pesticides épanchée et le prix : la France est le pays le plus consommateur de pesticides (en valeur absolue sur 2011-13) pour un prix assez élevé (46€/kg), elle est suivie par l'Italie (avec un prix nettement plus faible à 13€/kg), l'Espagne (à 15€/kg), l'Allemagne (à 37€/kg), la Pologne (à 40€/kg), le Royaume-Uni (à 57€/kg), le Portugal (à 10€/kg), et les Pays-Bas (à 34€/kg).

Ces écarts de prix entre pays peuvent s'expliquer par la composition de la catégorie des pesticides qui rassemble différents types : herbicides, insecticides, fongicides, molluscicide, rodenticides, régulateurs de croissance... En fonction des latitudes, les bio-agresseurs principaux ne sont pas les mêmes : il y a davantage de fongicides utilisés au Nord au climat plus propice au développement de champignons, alors que les insecticides sont d'avantage utilisés dans le Sud. Or, les insecticides sont globalement moins onéreux que les fongicides.

3.2.1.5.2 Quantité de pesticides utilisés par ha

Tableau 7 : Intensités des apports de pesticides retenues pour initialiser le modèle

Intensité pesticides Phy0 (T/ha)	FRANCE	ROFUE
Blé	3.337	2.682
Mais	2.208	1.545
Orge	2.509	1.978
Riz	2.058	3.149
Autres céréales	2.058	1.463
Pois	5.42	4.146
Coprah	3.312	
Arachide		0.643
Colza	5.094	3.549
Soja	3.312	3.937
Tournesol	2.183	1.087
Betterave sucrière	6.299	6.596
Canne à sucre		
Fruits	14.805	17.163
Pulses	4.617	4.032
Légumes	9.084	10.761
Racines et tubercules	12.271	12.438

En France, il y a globalement davantage de pesticides épandus sur les grandes cultures par rapport au reste de l'UE. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'agriculture française est globalement plus intensive comparée à celle des pays de l'Est de l'UE : Bulgarie, République Tchèque, Estonie, Lituanie, Lettonie, Hongrie, Pologne, Roumanie). Quelques cultures font pourtant exception :

- Le riz : une grande partie des surfaces cultivées sont en Italie, avec en moyenne de 4.20kg/ha.
- Les fruits : certains pays présentent des taux élevés, comme l'Italie (30.15kg/ha), le Portugal (29.30kg/ha), l'Irlande (30.12kg/ha) ou les Pays-Bas (46.66kg/ha) peut-être du fait d'une composition de l'agrégat fruits faisant la part belle à un ou plusieurs fruits particulièrement fragiles. Certains de ces pays représentent une part importante de la production européenne et tirent donc la moyenne de la zone ROFUE à la hausse.
- Les légumes : Comme pour les fruits, quelques pays, dont certains sont des gros producteurs en Europe, présentent des taux d'application élevés comme l'Italie (18.50kg/ha), le Portugal (17.98kg/ha), l'Irlande (18.48kg/ha), les Pays-Bas (28.63kg/ha)

3.2.2 L'intrant azote

3.2.2.1 L'azote : en bref

Nous avons inclus l'azote comme intrant de production à part entière car il s'agit d'un facteur clé pour différencier les pratiques conventionnelles des pratiques biologiques (azote de synthèse interdit en agriculture biologique). De plus, c'est un bon proxy pour représenter la quantité d'engrais appliquée

(composé majoritairement de NPK –azote, phosphore, potassium) et une source de pollution couramment étudiée. L'azote est un nutriment essentiel pour le bon développement de la plante et sa fourniture est déterminante pour le rendement des cultures.

Les différentes sources d'apport de l'azote au secteur agricole sont les suivantes :

- azote issu d'engrais minéral ou de synthèse ; fabriqué de façon industrielle, proscrit en agriculture biologique
- azote organique issu de l'élevage bovin, porcin ou avicole (fumier, lisier, fientes)
- azote organique hors élevage : déchets industriels, boues urbaines, résidus de culture, compost, etc.
- azote fixé de façon symbiotique par les cultures légumineuses,
- azote des dépôts atmosphériques rendus au sol lors des précipitations
- azote issus des résidus des cultures précédentes

Notre modèle n'inclut que l'azote issu des engrais de synthèse (appelé azote minéral dans la suite du document) et l'azote issu de l'élevage (appelé azote organique dans la suite du document).

L'agriculture biologique peut utiliser l'azote organique provenant d'un élevage biologique ou conventionnel. Selon la réglementation, seuls les fumiers issus d'élevages « industriels » sont interdits. Depuis 2021, en France, les élevages industriels sont définis comme comptant plus de 60 000 emplacements pour les poules ou 30 000 emplacements pour les porcs¹⁰.

Hypothèse : l'azote est un bien homogène, i.e. parfaitement mobile d'une culture à l'autre. Cette hypothèse aurait été beaucoup plus restrictive si l'on ne s'était pas limité aux engrais azotés mais si l'on avait considéré les engrais dans leur ensemble qui sont un groupe beaucoup plus hétérogène.

Hypothèse : 1kg d'azote organique équivaut à 1kg d'azote minéral. Cette hypothèse simplificatrice est restrictive : l'azote minéral est en réalité disponible beaucoup plus rapidement et « facilement » pour la plante par rapport à l'azote organique qui met plus de temps à se décomposer et à être assimilable par la plante. Elle a été adoptée car nous ne disposons pas de l'information qui aurait permis de calibrer le modèle sous l'hypothèse alternative d'une substitution imparfaite entre les deux types d'azote. Notre hypothèse simplificatrice implique donc que les différents types d'azote (minéral et organique) sont parfaitement substituables pour la technologie conventionnelle.

Dans le modèle, l'azote organique mobilisable dans le secteur végétal est directement issu du secteur animal. Il s'agit d'un co-produit de l'élevage, proportionnel à la quantité de produits animaux produite.

3.2.2.2 L'azote : les sources de données mobilisables

- FAOSTAT, données nationales :
 - Quantité de NPK de synthèse utilisée dans l'agriculture et les autres secteurs (sans distinction) par pays
 - Quantité d'engrais utilisée dans l'agriculture et les autres secteurs (sans distinction) par pays
 - Quantité d'azote excrétée par les élevages, laissée sur les prairies, perdue ou appliquée sur les cultures, par pays
- EUROSTAT, données nationales :

¹⁰ <https://www.produire-bio.fr/articles-pratiques/fertilisation-en-bio-des-evolutions-reglementaires/>

- Engrais utilisés par type d'engrais (minéral, lisier, organique hors lisier) en kg d'azote et de phosphore (méthodologie de calcul du cycle de l'azote, modèle EMEP¹¹)
- Vente d'engrais minéral en tonnes (issus de Fertilizers Europe)
- *Economic accounts for agriculture* : dépenses totales (euros) en engrais
- IFASTAT : tonnes de NPK issus d'engrais minéraux par culture, par région du monde, 2006, 2007, 2010, 2014
- RICA : Dépenses moyennes en engrais par OTEX par pays (2004-2018), quantités moyennes d'azote, de potassium et de phosphore par OTEX par pays (quintaux, 2017-2018)
- GlobAgri : taux d'azote épandu par culture et par pays, en différenciant azote minéral et azote issu de l'élevage

Dans la littérature, plusieurs modèles incluent le cycle de l'azote afin de faire le lien entre 1) fertilisation et rendement agricole (productions végétales), 2) élevage et productions végétales, 3) productions agricoles, pollution au nitrates et gaz à effet de serre (GES).

Parmi eux, deux ont retenu notre attention en particulier :

- le modèle GLOBAGRI à partir de Zhang and Dumas (2016)
- le modèle CAPRI à partir de Leip et al. (2008) et Leip et al. (2011)

Après comparaison de ces deux méthodologies, nous avons décidé de baser notre approche sur celle de Zhang et Dumas pour calculer les taux de fertilisation de MATSIM_B du fait de la proximité et d'un accès aux données de GlobAgri ainsi que de l'accès à la méthodologie détaillée.

3.2.2.3 Taux de fertilisation : méthodologie pour MATSIM_B

3.2.2.3.1 Calculs des quantités d'azote déduites de GlobAgri

Nous cherchons à calculer les apports d'azote organique d'une part et minéral d'autre part appliqués par hectare, par produit et par zone géographique. Ces données sont disponibles dans GLOBAGRI pour l'année 2011 (manure nitrogen rate et synthetic nitrogen rate) et adaptées aux données de MATSIM_B.

Pour la France :

Calculs à partir des données GlobAgri 2011 et des surfaces cultivées FAO 2011

$$NFR_{j,k,FR} = \frac{\sum_i N_{GlobAgri_{i,k,FR}} \times Surface_{FAO_{i,FR}}}{\sum_i Surface_{FAO_{i,FR}}}$$

Avec j l'ensemble des produits végétaux de MATSIM-LUCA, i l'ensemble des produits FAO regroupés sous la catégorie j , k l'azote minéral ou organique.

Pour ROFUE :

La méthode est sensiblement la même mais le calcul est pondéré par les surfaces des différents pays de la zone ROFUE à partir des données GlobAgri 2011 et des surfaces cultivées FAO 2011

¹¹ European Monitoring and Evaluation Programme

$$NUE27_{j,k,ROFUE} = \frac{\sum_i \sum_r NGlobAgri_{i,r,k} \times SurfaceFAO_{i,r}}{\sum_i \sum_r SurfaceFAO_r}$$

Avec r l'ensemble des pays de la zone ROFUE

A partir de GlobAgri, nous obtenons donc des taux de fertilisation par produit de MATSIM-LUCA. Malheureusement, GlobAgri ne nous fournit pas d'information sur la répartition de cet azote entre agriculture conventionnelle et agriculture biologique.

3.2.2.3.2 Hypothèses nécessaires pour répartir les quantités d'azote entre systèmes de production conventionnel et biologique

A notre connaissance, il n'existe pas de base de données consolidées concernant les apports d'azote par culture et par système en France et en Europe. Ainsi, pour bâtir cette base de données nous avons été obligés de formuler un certain nombre d'hypothèses. Chaque hypothèse repose sur une référence.

Le détail des calculs et un exemple précis de ce travail est disponible auprès des auteurs de ce rapport¹²

Nos calculs s'établissent à partir des hypothèses et des règles de calcul suivantes :

- L'azote est un facteur limitant le rendement. Nous faisons l'hypothèse que rendement et taux de fertilisation sont proportionnels. Nous partons donc des rendements pour retrouver les taux de fertilisation.
- Un kg d'azote d'engrais minéral équivaut à un kg d'azote de fumier
- La totalité de l'azote apporté en système bio provient du fumier
- Partant de données 2011 issues de GlobAgri, nous supposons que les taux d'azote ne varient pas, ou seulement de façon négligeable, entre 2010 et 2013

Les règles de calculs sont les suivantes :

$$TauxFertiGlobal_{i,tot,r} \text{ (kg/ha)} = TauxFertiGlobal_{i,conv,r} + TauxFertiGlobal_{i,bio,r}$$

$$TauxFertiGlobal_{i,syst,r} \text{ (kg/ha)} = TauxFertiNmin_{i,syst,r} + TauxFertiNorg_{i,syst,r}$$

$$Nmin_{i,syst,r} \text{ (kg)} = TauxFertiNmin_{i,syst,r} * Surface_{i,syst,r}$$

$$Norg_{i,syst,r} \text{ (kg)} = TauxFertiNorg_{i,syst,r} * Surface_{i,syst,r}$$

3.2.2.3.3 Prix de l'azote : méthodologie pour MATSIM_B

Pour approximer le prix de l'azote dans notre modèle, nous avons décidé de partir des dépenses en engrais, le prix de l'azote tel que rapporté dans la littérature et certaines bases de données étant en effet très volatile et peu corrélé aux prix des engrais que les agriculteurs paient réellement.

Hypothèse : Pour les données initiales du modèle, il existe un prix unique pour l'azote, qu'il soit organique ou minéral. Le prix de chacun des types d'azote pourra ensuite évoluer différemment en simulation.

¹² 2021-04-20-Donnees_Test_Azote_Conv_VS_Bio.xls

Plusieurs sources de données ont été considérées¹³. Nous avons finalement retenu les données du RICA, les seules avec des informations à la fois sur les prix (dépenses en engrais) et les quantités (azote épandu).

Les prix sont calculés comme suit :

Pour la France :

Calcul du prix pour les 2 années disponibles

$$PNO_{fr,t} = \frac{\text{dépenses moyennes en engrais dans l'OTEXCOP}_{fr,t}}{\text{quantités d'azote épandues dans l'OTEXCOP}_{fr,t}}$$

Avec $t = 2017, 2018$ (les deux seules années pour lesquelles nous disposons des données complètes) et $OTEXCOP_{fr,t}$ l'OTEX grandes cultures (OTEX qui se rapporte le plus aux cultures de MATSIM)

Calcul d'un prix moyen :

$$PNO_{fr} = \frac{PNO_{fr,2018} + PNO_{fr,2017}}{2}$$

Hypothèse : le prix de l'engrais a peu varié entre 2011 et 2018.

Pour la région ROFUE :

Calcul du prix par année disponible et par pays

$$PNO_{r,t} = \frac{\text{dépenses moyennes en engrais dans l'OTEXCOP}_{r,t}}{\text{quantités d'azote épandues dans l'OTEXCOP}_{r,t}}$$

Avec r l'ensemble des pays de ROFUE.

Pondération du prix par le nombre d'exploitations présentes dans chaque pays de la région

$$PNO_{rofue,t} = \frac{\sum_r PNO_{r,t} * Poids_{r,t}}{\sum_r Poids_{r,t}}$$

Avec $Poids_{r,t}$ le nombre d'exploitations représentées au sein de l'OTEXCOP dans le pays r .

Calcul d'un prix moyen :

$$PNO_{rofue} = \frac{PNO_{rofue,2018} + PNO_{rofue,2017}}{2}$$

¹³ Fichier 2021-06-11-Donnees_Prix_Azote.xls disponible auprès des auteurs

3.2.2.3.4 L'azote : Données finales

3.2.2.3.4.1 Prix de l'azote

Tableau 8 : Données initiales de prix de l'azote dans MATSIM_B

	FRANCE	ROFUE
PRIX 2017-2018	1.192€/kg	1.348€/kg

Attention : unités = euros, le modèle est codé en dollars (taux de conversion 0.75) / ! \

Dans l'UE, les prix calculés sont les plus faibles en Roumanie 0.58€/kg en 2018 et les plus élevés au Portugal 2,21€/kg.

Le prix est plus élevé dans le reste de l'UE qu'en France. Les explications possibles sont les suivantes :

- Economies d'échelle/prix de gros en France.
 - o Le prix dépasse 1,5€/kg au Portugal, en Grèce, en Espagne, en Italie, en Irlande, en Finlande ou en Slovénie (2017-18). Ces pays correspondent également à ceux qui utilisent le moins d'azote à l'hectare sur les grandes cultures (moins de 40 kg/ha en Slovénie, Grèce, Portugal, Italie, Pologne, Autriche, Espagne).
 - o La France épand en moyenne 164 kg d'azote/ha sur les grandes cultures.
- Le prix est calculé à partir des dépenses en engrais. Les engrais sont des biens hétérogènes entre les pays (différentes consistances, différents adjuvants, compositions différentes, etc.).

3.2.2.3.4.2 Quantité d'azote

Tableau 9 : Données initiales de quantités d'azote dans MATSIM_B

PRODUIT	SYSTEME	AZOTE (kg/ha)	FRANCE	ROFUE
Blé	Conv	Minéral	128.31	133.00
		Organique	37.09	34.33
	Bio	Organique	133.64	135.20
Mais	Conv	Minéral	169.90	116.80
		Organique	36.75	23.56
	Bio	Organique	166.97	113.41
Orge	Conv	Minéral	80.35	85.39
		Organique	37.48	36.34
	Bio	Organique	95.21	98.35
Riz	Conv	Minéral	113.56	86.84
		Organique	32.88	29.90
	Bio	Organique	118.33	94.33
Autres céréales	Conv	Minéral	85.17	97.86
		Organique	33.95	25.25
	Bio	Organique	96.25	99.47
Pois	Conv	Minéral	50.01	43.63
		Organique	31.50	26.40
	Bio	Organique	65.86	56.58
Arachide	Conv	Minéral		103.63
		Organique		8.51

	Bio	Organique		90.60
Colza	Conv	Minéral	96.95	110.97
		Organique	37.99	36.61
Soja	Conv	Bio	109.03	119.25
		Organique	44.31	23.65
Tournesol	Conv	Minéral	98.87	70.35
		Organique	36.57	16.34
Betterave sucrières	Conv	Bio	109.43	70.05
		Organique	112.97	146.56
Cannes à sucre	Conv	Minéral	112.97	146.56
		Organique	38.08	59.78
Fruits	Conv	Bio	122.05	166.72
		Organique	146.51	48.08
Pulses	Conv	Minéral	61.11	54.74
		Organique	34.45	28.23
Légumes	Conv	Bio	77.22	67.04
		Organique	50.01	50.87
Racines et tubercules	Conv	Minéral	50.01	50.87
		Organique	31.50	34.41
	Bio	Organique	65.86	68.91
		Minéral	57.14	54.94
	Conv	Organique	35.66	43.11
		Organique	74.98	79.23
	Bio	Organique	40.94	48.96
		Organique	37.76	58.71
	Bio	Organique	63.59	86.99

3.2.1 L'intrant travail salarié

3.2.1.1 Le travail : en bref

Nous avons inclus le travail salarié comme intrant de production à part entière car il peut différencier les technologies de production conventionnelles et organiques. Il est en effet souvent fait l'hypothèse que la quantité de travail requise en agriculture biologique est supérieure à celle requise en agriculture conventionnelle.

Il existe plusieurs formes de travail sur une exploitation (permanent/saisonnier, salarié/non salarié...). Pour des soucis de simplicité, nous décidons de représenter ici seulement le travail salarié. Le travail non-salarié ou familial sera lui inclus dans l'agrégat des « autres facteurs et intrants ».

Hypothèse : le travail salarié est considéré comme un facteur de production homogène, i.e. parfaitement mobile d'une culture à l'autre et d'un système à l'autre. En effet, nous supposons que le travailleur salarié est peu spécialisé, qu'il est surtout un « exécutant » et peut ainsi travailler facilement dans un secteur plutôt qu'un autre. En conséquence, il existe un unique salaire pour le secteur des productions végétales.

3.2.1.2 Le travail : sources de données mobilisables

- RICA : unité de travail annuel (UTA) salariée et non salariée, dépenses en salaires par OTEX par pays (2004-2018)
- Il existe également un certain nombre d'études qui s'intéressent au facteur travail dans le secteur agricole¹⁴

3.2.1.3 Le travail en agriculture biologique vs. conventionnelle

Nous avons effectué une rapide revue de littérature pour déterminer 1) si l'agriculture biologique demandait davantage de temps de travail que l'agriculture conventionnelle ; 2) dans quelle proportion ; 3) comment inclure ce paramètre dans MATSIM_B.

Quelques études en particulier ont retenu notre attention :

1. AgenceBio (2015) La Bio en France des Producteurs aux Consommateurs. Edition 2015 d'après le recensement agricole de 2011 (AgenceBIO 2015)

Tableau 10 : Unité de travail annuel (UTA) moyenne des exploitations par OTEX (source (AgenceBIO 2015))

Orientation technico-économique (OTEX)	Exploitations non bio	Exploitations bio
Polyculture et polyélevage	1.5	2.4
Elevage monogastriques	1.8	2.2
Elevage ovins, caprins	1	1.7
Elevage bovins allaitant	1.2	1.7
Elevages bovins lait	1.9	1.4
Cultures fruitières et autres cultures permanentes	2	2.1
Maraîchage et horticulture	3.7	3.5
Grandes cultures	1.1	1.7
Toutes OTEX confondues	1.5	2.4

NB.

Pas de traitement de l'hétérogénéité des exploitations (ex : surfaces différentes + davantage de transformation à la ferme et de vente directe en bio)

2. Milder, Depeyrot et Detang-Dessendre (2019) Performance environnementale des exploitations agricoles et emploi, Centre d'étude et de prospective (Midler, Depeyrot and Détang-Dessendre 2019):

- Analyse par OTEX
- En 2013 en France, une fois les effets des autres variables explicatives pris en compte, l'agriculture biologique emploi en moyenne +1,34 UTA/dizaine d'ha que

¹⁴ Une sélection de documents consacrés au travail en agriculture et provenant du site Agreste est disponible auprès des auteurs

l'agriculture conventionnelle en maraîchage) et +0.37UTA/centaine de vaches en bovin lait, toutes exploitations confondues.

- c. Pour les grandes cultures, les auteurs précisent que « l'analyse n'est pas présentée compte tenu des fortes hétérogénéités de productions au sein de cette orientation »

3. Bertin et al, (2016), Démarches de qualité/diversification et emploi, Agreste Les Dossiers (Bertin et al. 2016):

- d. Données du recensement agricole 2010
- e. En grandes cultures, il y a significativement plus d'UTA par exploitation en bio qu'en conventionnel (entre +0.291 et +0.499 selon la taille de l'exploitation)
- f. En maraîchage, il y a significativement plus d'UTA par exploitation en bio qu'en conventionnel pour les petites exploitations (+0.318)
- g. En exploitation fruitière, il y a significativement plus d'UTA en bio qu'en conventionnel pour les petites exploitations (+0.214)

Tableau 11 : Emploi en agriculture en France par OTEX, classe de dimension économique et orientation productive (source (Bertin et al. 2016))

OTEX	Dimension eco	ETP/exploitation	ETP/exploitation en plus avec le bio	Taux de var	Effectif exploitations conv puis bio
GC*	Petite	0.5	0.291	58.2%	41503 - 859
GC	Moyenne	1.1	0.236	21.45%	32546 - 824
GC	Grande	1.6	0.660	41.25%	26969 - 365
GC	Très grande	3.2	0.499	15.59%	6586 - 92
Maraîchage	Petite	1.2	0.318	26.5%	1379 - 224
Fruits	Petite	0.5	0.214	42.8%	8057 - 397

*GC = Grandes cultures

4. Massis et Hild (2016) La pratique de l'agriculture biologique créatrice d'emploi ?, Agreste Les Dossiers (Massis and Hild 2016) :

- a. Données du recensement agricole de 2013 + conversion au bio de 2010 (Agence Bio)
- b. Régressions linéaires en contrôlant les caractéristiques de l'exploitation et du circuit de distribution
- c. En 2013, 3 ans après sa conversion, une exploitation biologique compte, en moyenne, 0.08 UTA de plus qu'une exploitation conventionnelle similaire (en termes de SAU, orientation productive, formation de l'exploitant, région, circuit de commercialisation, etc.), soit près d'un mois de travail à temps complet supplémentaire.
- d. La différence est de 0.07 UTA quand on ne regarde que le travail salarié.

Finalement, nous retenons, les conclusions suivantes :

- L'agriculture biologique est globalement plus demandeuse en temps de travail.

- La différence de temps de travail entre agriculture biologique et agriculture conventionnelle semble dépendre de l'orientation productive.
- Il n'existe pas de consensus clair sur la quantité de travail supplémentaire nécessaire.

Néanmoins, nous choisissons de nous baser sur les données de l'étude (Massis and Hild 2016) car :

- Il s'agit de régressions linéaires toutes choses égales par ailleurs (l'hétérogénéité des exploitations est prise en compte)
- Il s'agit de la seule étude à s'intéresser à l'effet de la conversion sur le travail 3 ans après le changement de pratique (une fois le système mieux rodé.).

3.2.1.4 Quantité de travail : Méthodologie pour MATSIM_B

3.2.1.4.1 Temps de travail dans le système conventionnel

Pour approximer le temps de travail, nous avons utilisé les données sur les UTA salariés par OTEX contenues dans le RICA pour les années 2011 à 2013. Il s'agit de la variable SE020 « paid labour input ».

Nous avons établi des correspondances entre les OTEX du RICA et les cultures de MATSIM_B :

- L'OTEX COP (Céréales-Oléagineux-Protéagineux) correspond aux produits MATSIM-B suivants : blé, maïs, orge, riz, autres céréales, pois, coprah, arachide, colza, soja, tournesol
- L'OTEX « Autres cultures de plein champs » correspond à : betterave, canne, racines et tubercules de MATSIM_B
- L'OTEX « Fruits » correspond aux catégories fruits et légumes de MATSIM_B.

Pour ce qui est des légumes, il n'existe pas d'OTEX qui représente bien les activités de maraîchage. Il est confondu avec l'horticulture. Néanmoins, il nous semble que le temps de travail en maraîchage se rapproche davantage de celui en fruits (charges de travail plus importante à l'hectare, fort recours au travail saisonnier). D'où notre choix.

Les quantités de travail salarié sont les mêmes pour les cultures appareillées à une même OTEX. Les calculs ont été effectués dans le logiciel GAMS. Néanmoins, un fichier disponible auprès des auteurs présente les données du RICA et quelques calculs¹⁵.

Comme l'échantillon des exploitations interrogées dans le cadre du RICA comprend très peu d'observations en bio, nous considérons que les données calculées ci-dessous sont valables pour l'agriculture conventionnelle.

Calculs pour la France :

On calcule la quantité de travail salarié par hectare par année :

$$QW_{i,conv,fr,t} = \frac{UTASalarié_{otex,fr,t}}{SAUCrop_{otex,fr,t}}$$

Avec t l'ensemble des années disponibles (2004-2018), $otex$, l'ensemble COP, Autres cultures, Fruits, $UTASalarié_{otex,fr,t}$ la moyenne des UTA salariées par OTEX, $SAUCrop_{otex,fr,t}$ la SAU (Surface Agricole Utile) moyenne des exploitations de l'OTEX, en ha.

¹⁵ 2021-06-11 travail.xls

Hypothèse : La SAU moyenne considérée ici correspond à la SAU totale à laquelle on a soustrait la surface en prairies permanentes car on considère que le temps de travail consacré aux prairies permanentes est négligeable.

On calcule ensuite la moyenne sur les années qui nous intéressent (i.e. 2011, 2012 et 2013) :

$$QWO_{i,conv,fr} = \frac{QW_{i,conv,fr,2011} + QW_{i,conv,fr,2012} + QW_{i,conv,fr,2013}}{3}$$

Calculs pour le ROFUE :

Le calcul est sensiblement identique. Néanmoins, on pondère par le nombre d'exploitations représentées dans chaque OTEX pour chaque pays de la zone ROFUE (variable RICA SYS02 « Farm represented NB ») afin de prendre en compte le poids de chaque pays de la zone. On calcule la quantité de travail salarié par hectare par année :

$$QW_{i,conv,rofue,t} = \frac{\sum_r \frac{UTASalarié_{otex,r,t}}{SAUCrop_{otex,r,t}} * Poids_{otex,r,t}}{\sum_r Poids_{otex,r,t}}$$

Avec $Poids_{otex,r,t}$ le nombre d'exploitations représentées par OTEX.

On calcule ensuite la moyenne sur les années qui nous intéressent (i.e. 2011, 2012 et 2013) :

$$QWO_{i,conv,rofue} = \frac{QW_{i,conv,rofue,2011} + QW_{i,conv,rofue,2012} + QW_{i,conv,rofue,2013}}{3}$$

1.2.3.4.1. Temps de travail en bio

Pour approximer le temps de travail par système, nous nous basons sur (Massis and Hild 2016) : toutes choses égales par ailleurs, la quantité de travail salarié en agriculture biologique est supérieur de 0.07 UTA à celle de l'agriculture conventionnelle.

Hypothèse : La différence de temps de travail entre le système biologique et le système conventionnel est la même quel que soit le produit et le pays de l'UE.

Calculs pour la France :

On calcule la quantité de travail salarié par hectare par année :

$$QW_{i,bio,fr,t} = \frac{UTASalarié_{otex,fr,t} + 0.07}{SAUCrop_{otex,fr,t}}$$

On calcule ensuite la moyenne sur les années qui nous intéressent (i.e. 2011, 2012 et 2013).

Calculs pour le ROFUE :

Le calcul est sensiblement identique. Néanmoins, comme pour le conventionnel, on pondère par le nombre d'exploitations représentées dans chaque OTEX de chaque pays de la zone ROFUE. On calcule la quantité de travail salarié par hectare par année :

$$QW_{i,bio,rofue,t} = \frac{\sum_r \frac{UTASalarié_{otex,r,t} + 0.07}{SAUCrop_{otex,r,t}} * Poids_{otex,r,t}}{\sum_r Poids_{otex,r,t}}$$

On calcule ensuite la moyenne sur les années qui nous intéressent (i.e. 2011, 2012 et 2013).

1.2.3.5. Salaires : méthodologie pour MATSIM_B

Pour approximer le prix du travail dans notre modèle, nous avons décidé de partir des dépenses en salaire des données publiques du RICA. Il s'agit de la variable au label SE370 « wages paid » qui inclut : « *Wages and social security charges (and insurance) of wage earners. Amounts received by workers considered as unpaid workers (wages lower than a normal wage) are excluded.* »

Comme nous n'avons qu'un salaire, quelle que soit la culture et quel que soit le système, nous prenons comme OTEX de référence l'OTEX COP (celle qui représente le plus grand nombre de cultures de MATSIM-LUCA).

Calculs pour la France :

On calcule le salaire par UTA salariée-année :

$$PW_{fr,t} = \frac{Salaires_{otexcop,fr,t}}{UTASalariés_{otexcop,fr,t}}$$

Avec t l'ensemble des années disponibles (2004-2018), $UTASalariés_{otexcop,fr,t}$ la moyenne du nombre d'UTA salariées parmi les exploitations de l'OTEX COP, $Salaires_{otexcop,fr,t}$ les dépenses moyennes en salaire des exploitations de l'OTEX COP en €.

On calcule ensuite la moyenne sur les années qui nous intéressent (i.e. 2011, 2012 et 2013) :

$$PWO_{fr} = \frac{PW_{fr,2011} + PW_{fr,2012} + PW_{fr,2013}}{3}$$

Calculs pour le ROFUE :

Le calcul est sensiblement identique. Néanmoins, on pondère par le nombre d'exploitations présentes dans l'OTEX COP de chaque pays de la zone ROFUE. On calcule le salaire par UTA salarié par année :

$$PW_{rofue,t} = \frac{\sum_r \frac{Salaires_{otexcop,r,t}}{UTASalarié_{otexcop,r,t}} * Poids_{otexcop,r,t}}{\sum_r Poids_{otexcop,r,t}}$$

On calcule ensuite la moyenne sur les années qui nous intéressent (i.e. 2011, 2012 et 2013).

3.2.1.5 Le travail : Données finales

3.2.1.5.1 Prix du travail salarié

Tableau 12 : Prix du travail salarié retenu dans le modèle

France	ROFUE
22 622.18€/UTA	13 525.14€/UTA

Dans le modèle GAMS, unités = euros. Modèle codé en dollars. Taux de conversion 0.75 / ! \

Les salaires retenus dans le modèle correspondent à l’OTEX spécialisée COP. Elle masque d’importantes disparités entre OTEX et entre pays au sein de la zone ROFUE :

- Toutes OTEX confondues, les salaires sont les plus faibles en Bulgarie (3 363€/UTA) et les plus élevés au Danemark avec 41 902€/UTA. Les salaires par UTA-année sont :
 - o inférieurs à 10 000€ en Bulgarie, Roumanie, Pologne, Lituanie, Grèce, Chypre, Lettonie, Hongrie, Slovaquie, Portugal.
 - o Ils sont compris entre 10 000 et 15 000€ en Slovaquie, Estonie, Malte, République Tchèque, Espagne.
- En France, les salariés permanents sont généralement mieux payés que les saisonniers ou salariés occasionnels (12.67€/h en moyenne contre 11.03€/h en 2012, toutes OTEX confondues). Or, le secteur des fruits emploie davantage de saisonniers que le secteur des grandes cultures (72.58% des salariés contre 40.70% en 2012, source : Agreste).

3.2.1.5.2 Quantité de travail salarié

Quantité de travail salarié en système conventionnel :

Tableau 13: Quantité de travail salarié retenu dans le modèle en système conventionnel

OTEX	France	ROFUE
Céréales-Oléagineux-Protéagineux	0,001603 UTA/ha = 2,56 heures/ha	0,005013 UTA/ha = 8.02 heures/ha
Autres cultures de plein champs	0,008231 UTA/ha = 13.17 heures/ha	0,015390 UTA/ha = 24.62 heures/ha
Fruits et légumes	0,124424 UTA/ha = 199,08 heures/ha	0,063665 UTA/ha = 101.86 heures/ha

La différence entre les UTA salariées françaises et UTA salariées ROFUE peut s’expliquer, dans le cas des cultures non-permanentes, par un niveau de mécanisation globalement plus élevé en France.

Quand on regarde les UTA totales travaillées (salariées et familiales) par ha, l’écart entre la France et le reste de l’UE diminue : 0.012 contre 0.016 pour les COP, 0.021 contre 0.034 pour les autres cultures de plein champ, 0.181 contre 0.184 pour les vergers. Ainsi, la proportion de travail familial est supérieur en France, sauf pour les spécialistes en fruits. En effet, la proportion d’entreprises familiales est peut-être plus élevée que dans d’autres pays européens.

Quantité de travail salarié en système biologique :

Tableau 14 : Quantité de travail salarié retenu dans le modèle en système biologique

OTEX	France	ROFUE
Céréales-Oléagineux- Protéagineux	0,002193 UTA/ha = 3.51 heures/ha	0,006768 UTA/ha = 10.83 heures/ha
Autres cultures de plein champs	0,008909 UTA/ha = 14.25 heures/ha	0,019444 UTA/ha = 31.11 heures/ha
Fruits et légumes	0,127137 UTA/ha = 203.42 heures/ha	0,072957 UTA/ha = 116.73 heures/ha

3.3 Les données de production animale

3.3.1 La production animale : En bref

Dans MATSIM-LUCA, la production animale se décompose en 5 produits : viande bovine, lait, viande ovine-caprine, viande porcine et l'agrégat viande de volaille-œufs. Pour chacun de ces produits, le modèle requière comme données de référence : une quantité produite, un prix et un coefficient input/output (kg aliments ingérés en matière sèche (MS) par kg de produit animal produit). La quantité produite est égale aux kg produits par tête (i.e. la productivité) multipliés par le nombre d'animaux produisant.

Chacun des produits animaux peut être biologique ou conventionnel selon qu'il est produit par un élevage biologique ou conventionnel.

Le système bovin lait est le seul système d'élevage produisant simultanément deux produits animaux : du lait et de la viande bovine (vaches de réforme et veaux de 8 jours)¹⁶. La production du système volaille regroupe la volaille de chair et les poules pondeuses et produit le produit composite volaille constitué de tonnes d'œufs et tonnes de viande de volaille.

$$Prod0_{i,ani,syst,r} = (Productivité_{i,ani,syst,r}/1000) * Cheptel\ productif_{ani,syst,r}$$

$$Avec\ Cheptel\ productif_{ani,syst,r} = PartAniProduisant_{ani,syst,r} * Cheptel_{ani,syst,r}$$

Avec i l'ensemble des produits animaux, ani l'ensemble des systèmes d'élevages/espèces animales, $syst$ l'ensemble des systèmes de production (total, conventionnel, biologique), r l'ensemble des régions, $Prod0_{i,ani,syst,r}$ la quantité produite du produit animal i produite par le système d'élevage ani sous le système $syst$ dans la région r , $Productivité_{i,ani,syst,r}$ la quantité de produit animal produite par tête, $Cheptel\ productif_{ani,syst,r}$ le nombre de têtes produisant, $PartAniProduisant_{ani,syst,r}$ la part des animaux du cheptel qui produisent (i.e. abattus ou en lactation) et $Cheptel_{ani,syst,r}$ le nombre de têtes dans l'élevage.

¹⁶ On retient l'hypothèse que la production de viande du système bovin lait correspond à 1% de la production de lait en quantité (72 kg de viande de réforme+0.7 veau pour 7127 kg de lait, Cederberg, Christel, and Magnus Stadig. 2003. "System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production.")

Tableau 15 : Cheptels et productions animales pour la France dans MATSIM-LUCA

Animaux	Cheptel (nb têtes)	Part animaux produisant*	Production (tonnes)	Productivité
volaille	215 509 330	4.58	2 635 390	2.70
porcin	13 740 260	1.78	2 169 870	88.80
bovilit lait	3 668 195	1.00	24 916 010	6 792.44
bovilit viande	3 668 195	0.31	249 160	219.11
boviviande	15 803 949	0.31	1 487 910	303.70
ovincaprin	8 762 685	0.84	125 440	17.00

Tableau 16 : Cheptels et productions animales pour la zone ROFUE dans MATSIM-LUCA

Animaux	Cheptel (nb têtes)	Part animaux produisant*	Production (tonnes)	Productivité
volaille	1 226 633 333	4.83	16 734 490	2.80
porcin	133 886 539	1.71	20 554 300	89.80
bovilit lait	19 737 786	1.00	130 498 740	6 612.00
bovilit viande	19 737 786	0.45	1 304 987	146.92
boviviande	49 071 764	0.45	6 202 550	279.30
ovincaprin	100 865 364	0.59	855 090	14.40

* La part d'animaux produisant correspond au ratio d'animaux ayant contribué à la production dans l'année par rapport au cheptel des animaux en fin d'année : Le chiffre 1 pour le lait traduit que seul les vaches laitières en production sont comptabilisées et que toutes ont produit du lait l'année n, une valeur de 0.31 pour boviviande signifie que le nombre d'animaux abattus correspond à équivalent de 31% des animaux présents en fin d'année, une valeur supérieure à 1 (ex. 1.78 pour les porcins) traduit le cycle de vie court des animaux d'élevage et que le nombre d'animaux abattus pour produire de la viande est supérieur au nombre d'animaux présent en fin d'année.

Les animaux produisent également un co-produit : l'azote organique issu des excréments. Une partie de cet azote est utilisée sur les cultures végétales pour fertiliser les cultures. Dans MATSIM-LUCA, les producteurs du secteur animal vendent le fumier/lisier disponible aux producteurs du secteur végétal. Le prix est déterminé par le marché. La quantité est proportionnelle à la production animale.

3.3.2 La production animale : Sources de données mobilisables

- FAOSTAT, données nationales sur les quantités de produits animaux produites
- EUROSTAT, données nationales sur les quantités produites en agriculture biologique (à partir de 2012) et au total (2013 et 2016)
- AgenceBio : Données de production animale et consommation de produits bio

- Nous avons également rassemblé des rapports issus des différents instituts techniques (IDELE, ITAB, ITAVI, IFIP¹⁷), de FranceAgriMer et d'Agreste ainsi que les données du dispositif INOSYS¹⁸.

3.3.3 Information sur les productions animales et les écarts de productivité

3.3.3.1 Estimations des productions à partir des données existantes

Les sources de données sur les quantités produites en agriculture biologique sont incomplètes.

Pour Eurostat, il y a beaucoup de données manquantes ou incohérentes. Nous avons essayé de calculer le ratio de productivité entre les élevages en bio et ceux en conventionnel pour les deux années et pour l'ensemble des pays pour lesquels nous avons des données (2013 et 2016).

Tableau 17 : Ratio productivité animale dans l'UE bio/conv (calculs d'après Eurostat)

	Porcs	Volailles vivantes	Bovins lait	Bovins viande
Nb obs 2013+2016	26	18	28	27
Min (%)	25.39	1.67	21.57	6.26
Max (%)	128.89	76.14	227.48	197.62
Moyenne (%)	66.03	19.91	82.73	69.03

Les données concernant les ovins ne sont pas reproduites ici car non réalistes¹⁹.

L'AgenceBio fournit également quelques informations, résumées dans le tableau ci-dessous, mais insuffisantes pour nos calculs.

Tableau 18 : Abattage et production de viande en système bio en France en 2011 (AgenceBio, hors vente directe)

Animaux	Animaux abattus 2011	Viande (T) 2011	Poids moyen carcasse (kg/tête)	Poids moyen carcasse MATSIM* (kg/tête)
Ovins dont :	36601	660	18	17
Agneaux	32587	559	17	
Brebis	4014	101	24	
Bovins dont :	37144	11069	305	301.7
Bovins laitiers	14520	4284	305	
Bovins allaitants	17455	6045	355	
Veaux	5169	740	144	

¹⁷ IDELE : Institut de l'élevage, ITAB : institut technique de l'agriculture biologique, ITAVI : Institut technique des filières avicole, cunicole et piscicole, IFIP : Institut technique du porc

¹⁸ <https://portail.inosys-reseaux-elevage.fr/FR/index.awp>

¹⁹ Calculs réalisés par les auteurs dans Gams MATSIM_B/GMS_ChargerDonnees/ChargerDonneesEurostat

Porcins dont :	59585	5636	95	88.8
Porcs	58218	5409	93	
Truies	1367	227	158	
Volailles				1.9
Qté lait				1889

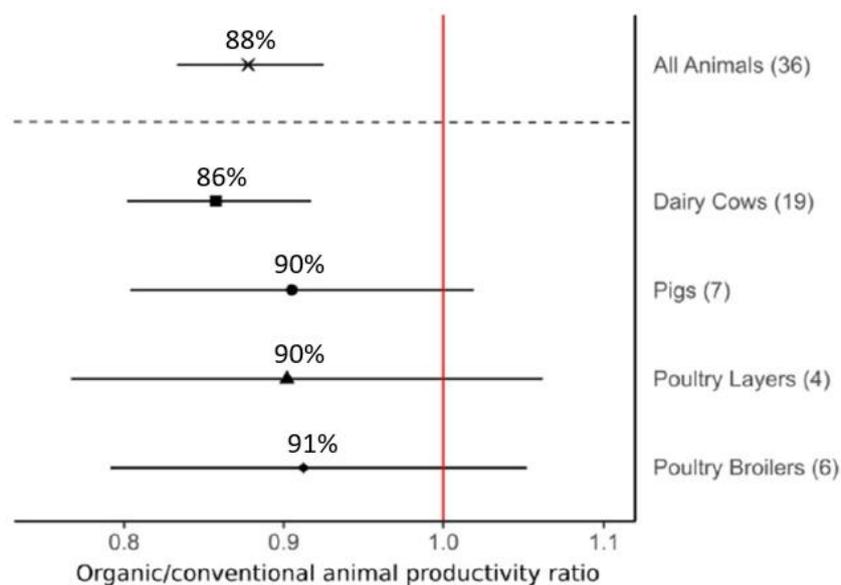
Source : Agence Bio 2012, issu de l'Observatoire des viandes biologiques de la Commission Bio d'INTERBEV

*Les données de MATSIM correspondent au système de production « total » qui agrège systèmes conventionnels et bio (plus proche du système conventionnel étant donné la faible part de bio observée partout en Europe dans la situation de référence 2011-2013).

3.3.3.2 Estimation des productions à partir d'une méta-analyse

L'alternative consiste à se baser sur la littérature, et notamment les méta-analyses qui comparent la productivité en élevage conventionnel et en élevage biologique. C'est le cas de l'article (Gaudaré et al. 2021) qui d'après 34 articles recensant des études de cas dans 14 pays trouve que globalement, tous élevages confondus, la productivité est inférieure de 12% dans les élevages biologiques par rapport aux élevages conventionnels. Les explications avancées sont : le recours à des races animales plus rustiques, une plus grande vulnérabilité aux maladies et parasites et des stratégies en alimentation animal différentes (voir p. 71 de ce rapport)

Figure 8 : Ratio entre la productivité des animaux d'élevage biologique vs. conventionnel (Gaudaré et al. 2021)



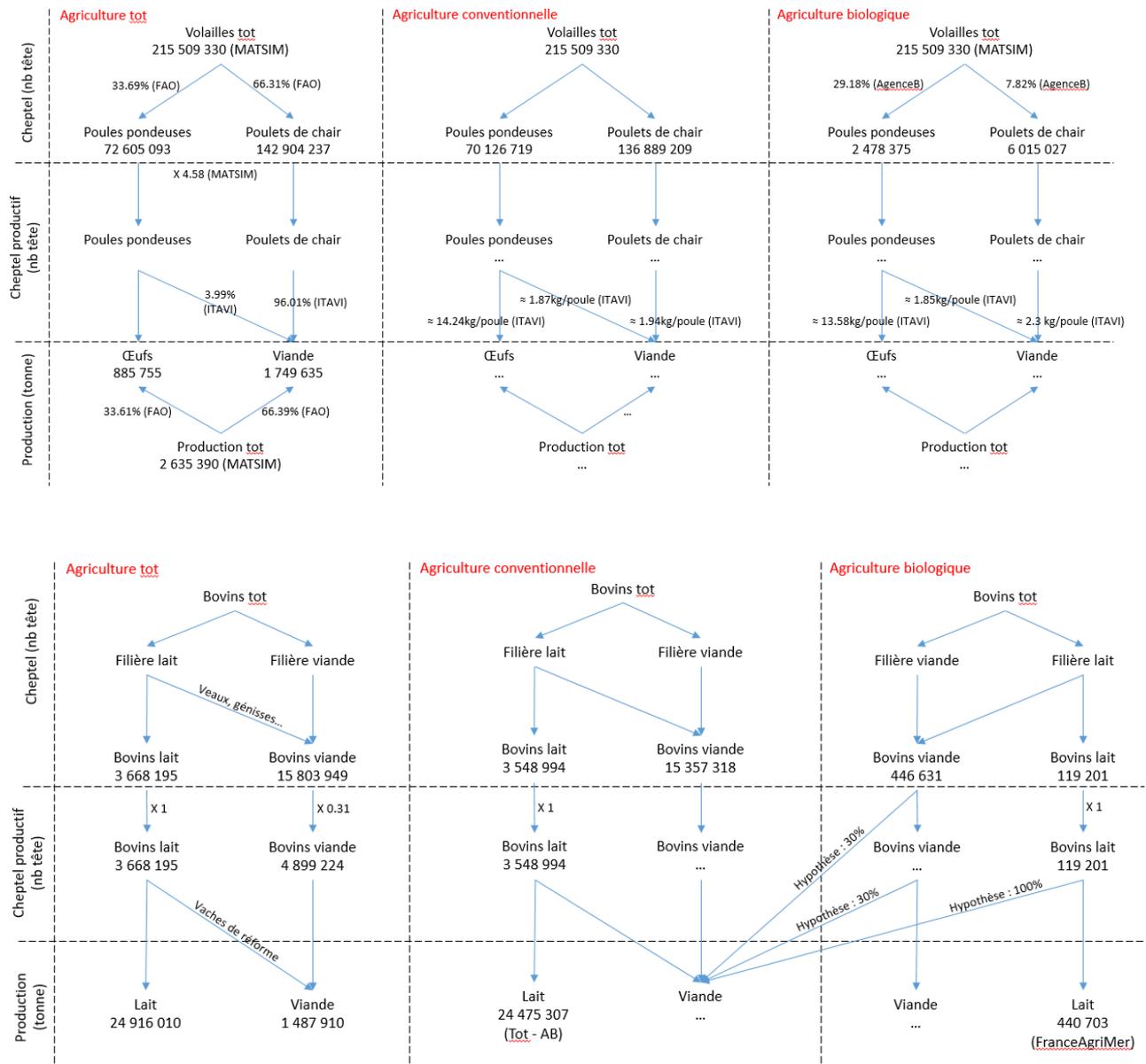
3.3.3.3 Estimation des productions à partir des informations d'instituts techniques

Plusieurs instituts techniques partagent des informations sur les résultats techniques et/ou économiques des exploitations en agriculture biologique.

Nous ne sommes pas parvenus à obtenir des éléments suffisants pour caractériser les différences de productivité entre systèmes et les parts d'animaux produisant exploitables pour le modèle.

Les deux figures ci-dessous synthétisent les informations recueillies pour les élevages de volailles et de bovins en France

Figure 9 : Synthèses du recueil d'information sur les productions des élevages de volaille et bovin en France



3.3.4 La production animale : Les calculs

La production est le produit de la productivité et du cheptel productif. Il nous faut donc calculer la productivité et la part d'animaux produisant pour obtenir la production.

Nous avons au préalable à recalculer les cheptels et les cheptels productifs par systèmes de production.

3.3.4.1 Les cheptels

3.3.4.1.1 Les cheptels : en bref

Nous avons 5 types de cheptels dans le modèle : vaches allaitantes (boviviande), vaches laitières (bovilait), ovins et caprins (ovincaprin), porcins (porcin), poules pondeuses et poulets de chair (volaille). Dans MATSIM-LUCA, il existe deux systèmes pour les élevages de ruminants : Mixte et Pastoral. Le système pastoral correspond à un système très extensif. Il n'y en a pas en France ni dans le Reste de l'UE. Donc l'objectif est simplement de séparer les élevages mixtes en élevages mixtes biologiques et mixtes conventionnels.

Le cheptel n'apparaît pas explicitement dans le modèle. Il est compris dans l'agrégat « Autres facteurs et intrants » de la fonction de production du producteur de produits animaux. Néanmoins, le cheptel sert indirectement dans les calculs de produits animaux et de rations de l'année de référence du modèle.

Hypothèse : Le cheptel est comptabilisé en nombre de têtes sans prendre en compte la structure du troupeau (nombre de jeunes, d'animaux produisant, d'animaux réformés, etc.).

Une partie seulement du cheptel est dite « cheptel productif » c'est-à-dire contribuant réellement à la production de produits animaux. Le cheptel productif ou produisant est égal au cheptel multiplié par la part d'animaux produisant.

Hypothèse : La part d'animaux produisant est calculée à partir du nombre d'animaux abattus pour les ruminants :

$$PartAniProduisant_{ani,syst,r} = \frac{Nombre\ d'animaux\ abattus_{ani,syst,r}}{Nombre\ d'animaux\ dans\ le\ cheptel_{ani,syst,r}}$$

Excepté pour les bovins lait pour lesquels il s'agit davantage d'un taux de prélèvement que d'un taux d'abattage. Cette part est fixée à 1, i.e. tous les animaux bovins lait produisent du lait, les animaux non productifs dans les élevages bovins laitiers sont comptabilisés dans le cheptel du système d'élevage bovin viande.

3.3.4.1.2 Les cheptels : Sources de données mobilisables

- FAO : cheptels par pays, sans distinction des systèmes
- Eurostat : cheptels en agriculture totale (2013 et 2016) et en agriculture biologique (depuis 2012) par pays
- AgenceBio : données sur les cheptels bio dans l'UE

3.3.4.1.3 Les cheptels : méthodologie

Les cheptels utilisés dans MATSIM-LUCA sont issus de FAOSTAT. Ils correspondent à l'agriculture totale qui recouvre les systèmes conventionnels et biologiques. FAOSTAT ne propose pas de statistiques sur l'agriculture biologique.

Eurostat fournit des données sur les cheptels en agriculture biologique pour les pays de l'UE. La méthode de recueil de données s'est généralisée (devenue obligatoire) à partir de 2012.

Nous procédons donc de la même manière que pour les surfaces en calculant la proportion des cheptels en agriculture biologique dans les cheptels totaux d'Eurostat :

$$PropBioEurostat_{ani,bio,r} = \frac{CheptelEurostat_{ani,bio,r}}{CheptelEurostat_{ani,tot,r}}$$

Avec $CheptelEurostat_{ani,bio,r}$ le cheptel en bio pour l'élevage *ani* dans le pays *r* en 2013 et $CheptelEurostat_{ani,tot,r}$ le cheptel sans distinction de système pour l'élevage *ani* dans le pays *r* en 2013 (seule année de la période de référence 2011-2013 pour laquelle nous avons des informations).

Hypothèse : La proportion du cheptel total conduit en bio n'a varié que de façon marginale entre 2011 et 2013.

Nous appliquons cette proportion aux cheptels de MATSIM (i.e. de FAOSTAT) pour obtenir les cheptels de en bio :

$$Chep0_{ani,bio,r} = Chep0_{ani,tot,r} * PropBioEurostat_{ani,bio,r}$$

Avec $Chep0_{ani,tot,r}$ les cheptels de MATSIM-LUCA pour l'élevage *ani* dans la région *r* entre 2011 et 2013.

On en déduit les cheptels de MATSIM en conventionnel

$$Chep0_{ani,conv,r} = Chep0_{ani,tot,r} - Chep0_{ani,bio,r}$$

Attention : les tableaux de données d'Eurostat sur les cheptels biologiques comportent quelques données manquantes ou incohérentes. Ces dernières ont été corrigées à la main une par une. Commentaires et calculs sont disponibles auprès des auteurs²⁰.

3.3.4.1.4 Les cheptels : Données finales

Tableau 19 : Cheptels initiaux dans MATSIM_B en nombre de têtes

	FR		ROFUE	
	conv	bio	conv	bio
BOVILAIT	3 548 994	119 201	19 112 039	625 747
BOVIVIANDE	15 357 318	446 631	46 666 362	2 405 402
OVINCAPRIN	8 267 122	495 531	96 276 460	4 588 904
PORCIN	13 534 987	205 271	133 141 953	744 586
VOLAILLE	207 015 931	8 493 402	1 207 654 529	18 978 804

3.3.4.2 Calculs de la productivité des élevages bio et conventionnels

Nous décidons de nous baser sur les résultats de Gaudaré et al. 2021 pour calculer la productivité des élevages en agriculture biologique. Les calculs sont identiques pour la France et ROFUE car nous considérons les ratios de productivité universels :

$$Productivité_{ani,bio,r} = Productivité_{ani,conv,r} * Ratio_P_{ani}$$

$$Avec Ratio_P_{ani} = 0.86 \text{ pour } ani = \text{bovillait}$$

$$\text{et } Ratio_P_{ani} = 0.9 \text{ pour } ani = \text{volaille, porcine}$$

²⁰ Fichier ChargerDonneesEurostat.gms

Gaudaré et al. (2021) ne fournit pas d'écart de productivité bio vs. conventionnel pour les petits ruminants et les bovins allaitants.

Hypothèse : La différence de productivité entre les élevages biologiques et conventionnels est identique pour tous les ruminants. Ainsi :

$$Ratio_P_{ani} = 0.86 \text{ pour } ani = \text{boviviande et ovincaprin}$$

Hypothèse : La productivité en agriculture totale est égale à la somme des productivités en agriculture conventionnelle et agriculture biologique pondérée par la proportion de chaque système dans l'agriculture totale, i.e :

$$Productivité_{ani,tot,r} = Producti_{ani,conv,r} * Prop_{ani,conv,r} + Producti_{ani,bio,r} * Prop_{ani,bio,r}$$

$$\text{Avec } Prop_{ani,conv,r} + Prop_{ani,bio,r} = 1$$

$$Prop_{ani,bio,r} = \frac{Cheptel_{ani,bio,r}}{Cheptel_{ani,tot,r}} \text{ et } Prop_{ani,conv,r} = \frac{Cheptel_{ani,conv,r}}{Cheptel_{ani,tot,r}}$$

Ainsi, nous pouvons déduire les productivités en élevage conventionnel par région et par culture :

$$Producti_{ani,tot,r} = Producti_{ani,conv,r} * Prop_{ani,conv,r} + Producti_{ani,bio,r} * Prop_{ani,bio,r}$$

$$\Leftrightarrow Producti_{ani,tot,r} = Producti_{ani,conv,r} * Prop_{ani,conv,r} + (Producti_{ani,conv,r} * Ratio_P_{ani}) * Prop_{ani,bio,r}$$

$$\Leftrightarrow Producti_{ani,conv,r} = \frac{Producti_{ani,tot,r}}{(Prop_{ani,bio,r} * 0.9) + Prop_{ani,conv,r}}$$

Une fois la productivité des élevages en agriculture conventionnelle calculée, on en déduit celle des élevages en agriculture biologique :

$$Producti_{ani,bio,r} = producti_{ani,conv,r} * Ratio_P_{ani}$$

3.3.4.3 Calcul de la production des élevages bio et conventionnels

Elevage conventionnel :

Comme mentionné ci-dessus, on peut déduire la production des productivités et des cheptels productifs.

Hypothèse : La part d'animaux produisant dans les élevages conventionnels est identique à celle de MATSIM-LUCA pour l'agriculture totale.

$$Cheptel\ productif_{ani,conv,r} = PartAniProduisant_{ani,tot,r} * Cheptel_{ani,conv,r}$$

On peut donc calculer les productions animales issues du système conventionnel :

$$Prod0_{ani,conv,r} = (Producti_{ani,conv,r}/1000) * Cheptel\ productif_{ani,conv,r}$$

Elevage biologique :

Comme on sait que la somme des productions issues des élevages biologique et conventionnel doit être égale aux productions des élevages globaux :

$$Prod0_{ani,bio,r} = Prod0_{ani,tot,r} - Prod0_{ani,conv,r}$$

On peut ensuite en déduire la part des animaux produisant dans les cheptels en agriculture biologique :

$$PartAniProduisant_{ani,bio,r} = \frac{Prod0_{ani,bio,r}}{Produci_{i,ani,syst,r}/1000} \cdot Cheptel_{ani,bio,r}$$

La production divisée par la productivité par tête est également un moyen de calculer le cheptel productif.

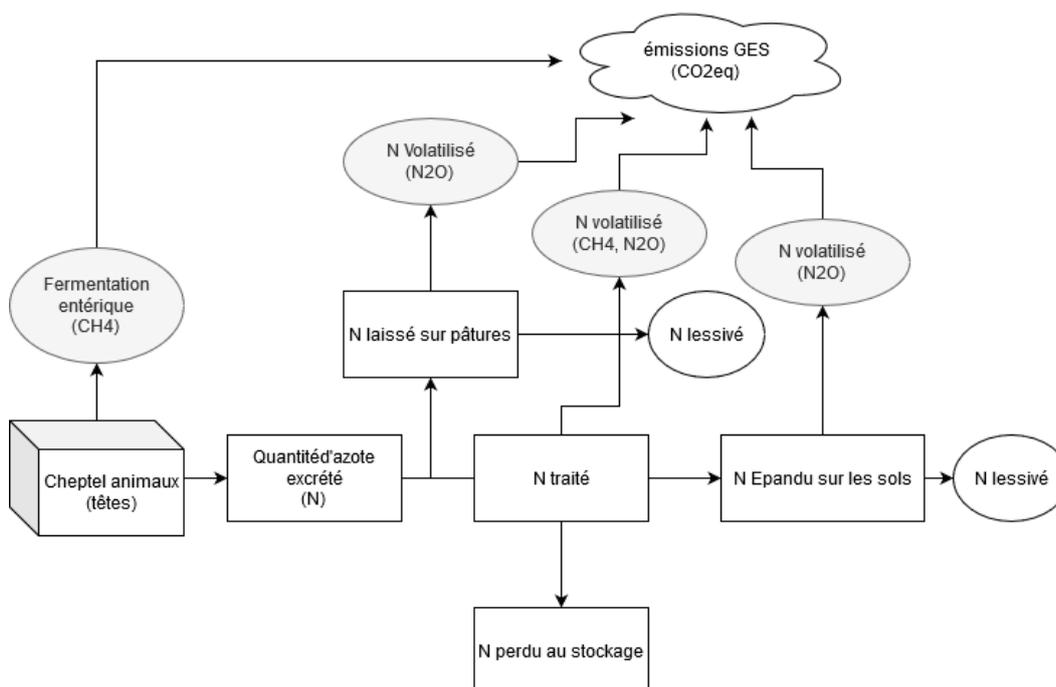
Le détail des calculs est disponible auprès des auteurs²¹

3.3.5 La production animale : La coproduction d'azote organique

Les animaux produisent également du fumier/lisier qui représente une source d'azote organique pour les cultures.

FAOSTAT fournit par espèces animales les excréments d'azote, les quantité épandues et la fraction azotée volatilisée²². Ces données sont schématisées dans la Figure 10.

Figure 10 : Emissions d'azote et de gaz à effet de serre des élevages animaux (d'après FAOSTAT)



A partir de l'azote excrété par les animaux, seule une partie reste disponible pour être utilisée sur les cultures. Une partie est excrétée directement sur les pâtures et une partie de l'azote est perdue lors de son stockage.

La disponibilité d'azote organique peut être un facteur limitant de l'expansion de l'agriculture biologique qui n'autorise pas de source d'azote d'origine industriel. Pour évaluer la rareté potentielle de ces disponibilités, nous confrontons la production d'azote organique des animaux de MATSIM calculée à partir des coefficients FAOSTAT à l'utilisation de l'azote organique sur les cultures de

²¹ 2022-01-14_Prod-ani.xls, onglet Gaudaré

²² <http://www.fao.org/faostat/en/#data/EMN>

MATSIM établie à partir de Globagri (p. 46 de ce rapport). Les résultats sont résumés dans le Tableau 20.

Tableau 20 : Comparaison des apports totaux d'azote organique par les animaux et des utilisations sur les cultures dans MATSIM_B

	France		ROFUE	
	KT de N	% des apports	KT de N	% des apports
<i>Calculs FAOSTAT pour les animaux du modèle :</i>				
- Azote excrété	1 599.72	308.0%	8 153.47	355.1%
- Azote traité	1 144.08	220.3%	5 657.46	246.4%
- Azote appliqué au sol	866.59	166.9%	4 245.37	184.9%
<i>Calculs GLOBAGRI pour les cultures du modèle :</i>				
- Apports d'azote organique aux cultures	519.33		2 296.26	

* « KT de N » signifie millier de tonne d'azote

Selon nos calculs, il n'y a pas de problèmes de rareté de l'azote organique dans les données de référence. Pour la France, sans considérer les excréments laissés sur les pâtures, les quantités d'azote traitées dans les élevages couvrent 220% des besoins. C'est cette fraction que nous considérons comme étant produite et valorisable par les systèmes de production végétale du modèle.

Nous calculons ainsi un coefficient de quantité d'azote organique produite conjointement à chaque quantité de produits animaux dans le modèle. Dans un premier temps on recalcule un coefficient d'azote produit (ou traité) par animal.

$$N_treated_KgPerHead_{ani,r} = \frac{FAO_Ntreated_Kg_{ani,r}}{FAO_Cheptel_{ani,r}}$$

Avec $FAO_Nexcreted_Kg_{ani,r}$ l'azote organique traité issu d'un type d'élevage animal ani , $FAO_Cheptel_{ani,r}$ les cheptels animaux correspondants

Nous recalculons les quantités totales d'azote produites par espèce et par système de production à partir des cheptels par système de notre modèle.

$$Ntreated_Kg_{ani,syst,r} = N_treated_KgPerHead_{ani,r} * Cheptel_{ani,syst,r}$$

Cela nous permet de calculer un coefficient de quantité d'azote organique produite conjointement à chaque quantité de produits animaux. Ce coefficient est différent entre systèmes bio et conventionnel et intègre les écarts de productivité entre les systèmes.

$$N_treated_KgPerKg_{ani,syst,r} = \frac{Ntreated_Kg_{ani,syst,r}}{Prod0_{ani,syst,r}}$$

Les coefficients obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 : Coefficient de production d'azote organique utilisé dans MATSIM_B (Kg N/Kg de produit)

	FR		ROFUE	
	conv	bio	conv	bio
BOVILAIT	0.012	0.014	0.012	0.014
BOVIVIANDE	0.364	0.423	0.277	0.284
OVINCAPRIN	0.123	0.136	0.245	0.301
PORCIN	0.072	0.086	0.075	0.088
VOLAILE	0.045	0.072	0.039	0.027

Dans nos calculs, le coefficient de production d'azote organique de l'ensemble des systèmes laitiers se rapporte à la seule production laitière ; le coefficient de production d'azote organique associée à la viande bovine se rapporte à toute la viande bovine, y compris celle provenant des systèmes laitiers.

Nos calculs conduisant à des coefficients fixes de production d'azote par tête et par tonne de produit, ces coefficients sont donc indépendants de l'alimentation des animaux. En d'autres termes, nous n'introduisons pas de contrainte de respect du bilan de l'azote.

L'alternative consisterait à recalculer les excréments d'azote par les animaux en intégrant les quantités d'azote comprises dans les rations des animaux d'après des calculs et des coefficients respectant la méthode Tier 1 du GIEC. Néanmoins, les coefficients utilisés fournis par la FAO sont en accord avec les références admises par IPCC Tier1, EMEP/EAA Tier2 et les recommandations pour la directive nitrates. Ainsi nos résultats sont comparables avec ceux relevés dans la littérature par Velthof, Hou and Oenema (2015). Il semblerait cependant que les calculs réalisés à partir des protéines incluses dans les rations conduisent à des excréments d'azotes plus réduites (cf. calculs de Noélie Borghino sur données GlobAgri).

3.4 La production animale : Données finales

Tableau 22 : Données de production animales pour la France dans MATSIM_B

Animaux	Cheptel (nb têtes)	Part animaux produisant	Production (tonnes)	Productivité kg/tête
systèmes conventionnels :				
volaille	207 015 931	4.58	2 570 088	2.71
porcin	13 534 987	1.78	2 142 595	88.93
bovilaït lait	3 548 994	1.00	24 216 515	6 823.49
bovilaït viande	3 548 994	0.31	242 165	220.11
boviviande	15 357 318	0.31	1 451 604	304.91
ovincaprin	8 267 122	0.84	118 997	17.14
systèmes biologiques :				
volaille	8 493 402	3.15	65 302	2.44
porcin	205 271	1.66	27 275	80.04
bovilaït lait	119 201	1.00	699 495	5 868.20
bovilaït viande	119 201	0.31	6 995	189.30
boviviande	446 631	0.31	36 306	262.22
ovincaprin	495 563	0.88	6 443	14.74

Tableau 23 : Données de production animales pour la zone ROFUE dans MATSIM_B

Animaux	Cheptel (nb têtes)	Part animaux produisant	Production (tonnes)	Productivité kg/tête
systèmes conventionnels :				
volaille	1 207 654 529	4.83	16 357 629	2.80
porcin	133 141 953	1.71	20 456 388	89.85
bovilaït lait	19 112 039	1.00	126 932 180	6 641.48
bovilaït viande	19 112 039	0.45	1 269 249	147.58
boviviande	46 666 362	0.45	5 905 790	281.23
ovincaprin	96 276 460	0.59	823 208	14.49
systèmes biologiques :				
volaille	18 978 804	7.87	376 861	2.52
porcin	744 586	1.63	97 912	80.86
bovilaït lait	625 747	1.00	3 566 560	5 711.67
bovilaït viande	625 747	0.45	35 739	126.92
boviviande	2 405 402	0.51	296 760	241.86
ovincaprin	4 588 904	0.56	31 882	12.46

La recherche documentaire sur les sites des instituts techniques permet de commenter et de justifier les résultats obtenus pour la France²³.

Volaille (ITAVI, 2020) :

- La part des animaux produisant est plus importante dans le système conventionnel que dans le système biologique car le cycle de vie des poulets de chair est plus long en bio : 7 bandes par an en moyenne en conventionnel contre 3.1 bandes en bio.
- La production par tête est légèrement inférieure dans le système biologique, ce qui peut s'expliquer par le fait que le nombre d'œufs par poule pondeuse est inférieur en agriculture biologique : 301 œufs/an en moyenne dans les élevages biologiques contre 360 dans les élevages conventionnels.

Porcin (ITAB/IFIP, 2016) :

- La part des animaux produisant est plus importante dans le système conventionnel que dans le système biologique, notamment parce que le nombre de porcelets par truie reproductrice est plus faible dans les élevages biologiques.
- La production par tête est légèrement inférieure dans le système biologique, ce qui pourrait s'expliquer par un poids moyen à l'abattage inférieur ou une mortalité plus élevée.

Bovilaït (IDELE, 2020) :

- En moyenne, il y a moins de litres de lait par vache dans le système biologique que dans le système conventionnel, ce qui s'explique du fait : d'une alimentation moins riche en concentrée et davantage en pâturage et des races plus rustiques
- La production de viande par tête est légèrement inférieure dans les systèmes biologiques, ce qui peut s'expliquer par des vaches de réforme au poids carcasse en moyenne inférieur dans le système biologique comparé au système conventionnel.

²³ Documents des instituts techniques ITAVI, ITAB/IFIP, Idele, Inosys disponibles auprès des auteurs

Boviviande (IDELE, 2020) :

- La production par tête est légèrement inférieure dans le système biologique, ce qui peut s'expliquer par des poids carcasses en moyenne inférieur en élevages biologiques comparés aux élevages conventionnels et par une structure du troupeau différente.

Ovin Caprin (INOSYS, 2016):

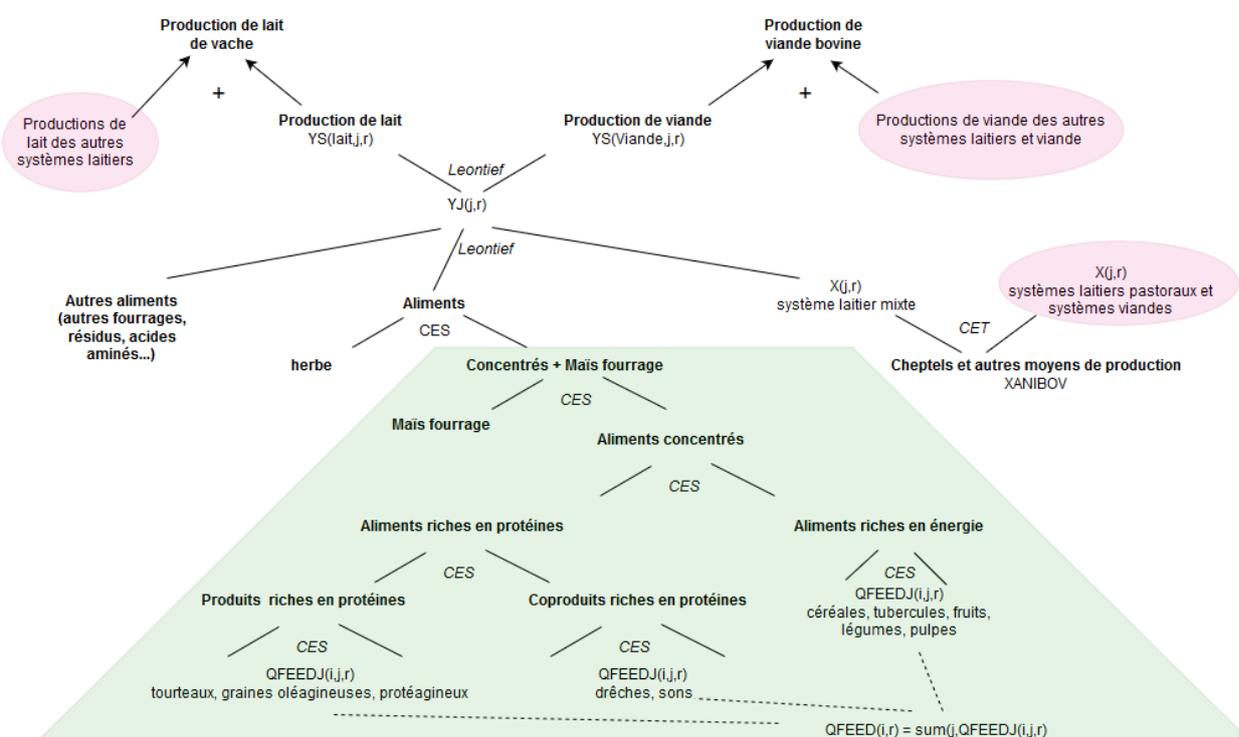
- La production par tête est légèrement inférieure dans le système biologique, ce qui peut s'expliquer par un poids carcasse moyen inférieur en élevages biologiques comparés aux élevages conventionnels : en élevage traditionnel de montagne traditionnelle, dans la région PACA, la productivité pondérale est en moyenne de 16.4 kg.ec/brebis dans le système conventionnel, contre 15.0 kg.ec/brebis en biologique.

3.5 Les rations alimentaires animales

3.5.1 Les rations : en bref

Dans MATSIM-LUCA, la ration animale se décompose entre plusieurs nids que l'on retrouve dans la structure en CES imbriquée pour modéliser la demande animale :

Figure 11 : Représentation de la technologie de la production animale et de la demande alimentaire du modèle MATSIM-LUCA



Le principe de la reconstitution de la base de données sur l'alimentation des animaux est de réconcilier les données concernant les quantités de chaque produit destiné à l'alimentation animale en général sans distinction des espèces animales qui les consomment et les données de productions animales

exprimées en tonne de viande (et œufs pour la volaille) ou tonne de lait. Ceci, en respectant au maximum les contraintes techniques des animaux d'élevage en termes de rations et de limites d'incorporation de différents types d'aliments. Cette démarche est bien documentée pour le modèle MATSIM-LUCA dans le rapport pour l'ADEME de 2017 (Hercule et al. 2017).

En résumé, l'allocation des aliments par produit animal s'effectue en trois étapes :

1. La détermination d'un coefficient Input/output (quantité de produit animal par quantité d'aliments ingérés) nous permet de calculer la quantité totale d'aliments nécessaire par système d'élevage.
2. La proportion de chaque type d'aliments (concentrés, herbagers, maïs fourrage, résidus) doit coller au plus près aux besoins animaliers.
3. Enfin, on détermine la part de chacun des produits végétaux dans le total des aliments concentrés.
4. La contrainte finale est que la quantité totale de chaque produit végétal destinée à l'alimentation animale (issue des bilans de produits végétaux) doit être égale à la somme des quantités de ce produit végétal consommées par chaque système d'élevage (ou par chaque espèce animale).

Notons que les différentes étapes d'allocation des aliments s'effectuent en unité de matière sèche (MS) d'aliment ingéré pour produire une unité de produit animal brut alors que l'expression dans le modèle et les substitutions se font entre aliments bruts non convertis en matière sèche.

A partir des rations initiales exprimées par production animale du modèle MATSIM-LUCA, l'objectif est d'utiliser l'information disponible pour distinguer les rations des animaux en systèmes biologiques de celles en systèmes conventionnels.

Les limites et hypothèses sont les mêmes que dans le modèle MATSIM-LUCA général, ainsi, nos calculs se limitent au cadre des données mobilisées :

- Le type d'aliment « résidus » regroupe les aliments non modélisés et est constitué d'un agrégat divers regroupant des fourrages (hors herbe et maïs fourrage), des résidus de cultures, des aliments de parcours, des aliments minéraux, des aliments d'origine animale, etc.
- L'intégralité des aliments est consommée par les animaux modélisés : les quantités consommées par les autres élevage (chevaux, piscicultures...) sont en effet allouées aux productions présentes dans le modèle car nous ne disposons pas des informations qui nous auraient permis de les exclure de nos calculs.

Nous faisons l'hypothèse que les animaux en systèmes biologiques ne consomment que des aliments produits strictement en systèmes biologiques et que les animaux des systèmes conventionnels ne consomment que des aliments conventionnels.

3.5.2 Les rations : Les sources de données mobilisables

De nombreux rapports ont été collectés auprès des différents instituts techniques (ITAB pour l'agriculture biologique en général, l'IDELE pour l'élevage bovin, l'ITAVI pour la volaille et les oeufs, l'IFIP pour l'élevage porcin). Les rapports collectés sont disponibles auprès des auteurs.

Notre principale source est la méta-analyse de Gaudaré et al. (2021) qui fournit des références importantes d'écart de productivité entre systèmes.

3.5.3 Les rations : les coefficients IO

Le coefficient Input-output est le coefficient d'efficacité alimentaire. Donnée exogène au modèle, il correspond à la quantité totale d'aliments en matière sèche ingérée pour produire un kilo de matière brute animale.

Tableau 24 : Rappel des coefficient IO pour la France et ROFUE dans MATSIM-LUCA

	FR		ROFUE	
	IO kg aliment MS/ kg produit	Conso alim totale Tonnes de MS	IO kg aliment MS/ kg produit	Conso alim totale Tonnes de MS
Volaille	3.11	8 196.06	3.25	54 387.09
Porcin	6.22	13 496.59	6.31	129 697.63
Bovilait	1.02	25 314.67	0.99	129 585.25
Boviviande	33.64	50 045.85	24.92	154 586.15
Ovincaprin	24.13	3 026.74	25.86	22 111.77

3.5.3.1 Ecart des coefficients IO entre élevages bio et conventionnels

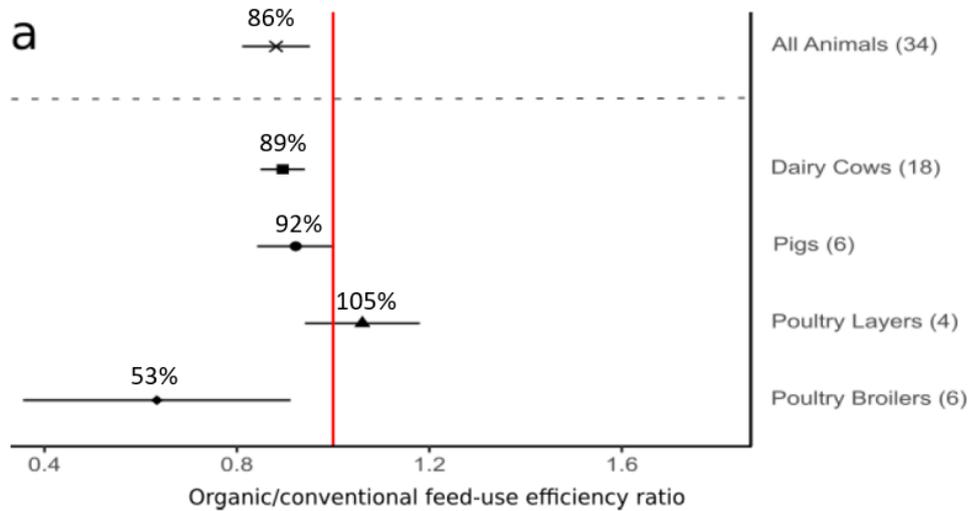
Le coefficient IO fait le lien entre la quantité totale d'aliments consommés et la quantité de produits animaux.

$$Q_{feedTot_MS_{ani,syst,r}} = IO_{ani,syst,r} * Prod0_{ani,syst,r}$$

Avec $Q_{feedTot_MS_{ani,syst,r}}$ la quantité d'aliments consommée, en tonnes de MS ; $IO_{ani,syst,r}$ la quantité d'aliments en MS par tonne de produit animal, en tonnes ; $Prod0$ la production animale totale en tonnes.

La méta-analyse de Gaudaré et al. (2021), révèle que La composition de la ration est sensiblement identique en agriculture biologique ou conventionnelle pour les élevages de volaille, elle varie un peu pour les porcs et varie significativement pour les ruminants (période de pâturage plus longue, moins d'aliments concentrés, davantage de fourrages). Globalement, tout élevage confondu, le coefficient Output/Input (inverse de MATSIM !) est plus faible de 14% dans les élevages biologiques comparés aux élevages conventionnels, c'est-à-dire que les animaux produisent en moyenne 14% moins de produit animal par kg d'aliment ingéré. Cette différence est importante chez les bovins laitiers car le taux de renouvellement est plus faible de 57% en agriculture biologique ainsi que chez les poulets de chair car l'âge minimal légal à l'abattage est pratiquement 3 fois plus élevé en bio qu'en conventionnel

Figure 12 : Ratio entre le coefficient Output/Input (kg produits par kg aliments ingérés) des animaux d'élevage biologique et conventionnel (Gaudaré et al. 2021) :



Pour nos calculs, nous utilisons les coefficients OI de Gaudaré et al. de chaque type d'élevage plutôt que le coefficient tous élevages confondus.

Pour les porcins, nous considérons donc la relation suivante :

$$IO_{porcin,bio,r} = IO_{porcin,conv,r} * \frac{1}{0.92}$$

Pour les systèmes ruminants, nous considérons comme référence les vaches laitières :

$$IO_{bovilait,bio,r} = IO_{bovilait,conv,r} * \frac{1}{0.89}$$

$$IO_{boviviande,bio,r} = IO_{boviviande,conv,r} * \frac{1}{0.89}$$

$$IO_{ovincaprin,bio,r} = IO_{ovincaprin,conv,r} * \frac{1}{0.89}$$

Hypothèse : L'écart entre les élevages biologiques et conventionnels est identique pour tous les ruminants.

Pour les volailles, on prend en compte le fait que les coefficients OI sont très différents selon l'atelier considéré (i.e poules pondeuses ou poulets de chair). Cette différence est plus marquée pour les poulets de chair principalement parce que l'âge minimal d'abattage est plus élevé en bio, ce qui dégrade largement le coefficient OI correspondant.

On calcule donc un coefficient OI moyen pour la volaille en prenant en compte les poids respectifs des deux ateliers :

$$IO_{volaille,bio,r} = IO_{volaille,conv,r} * 1 / (1.05 * Prop_{poulepond,tot,r} + 0.53 * Prop_{pouchair,tot,r})$$

$$\text{Avec } Prop_{poulepon,tot,r} + Prop_{pouchair,tot,r} = 1$$

$$Prop_{poulepon,tot,r} = \frac{Cheptel_{poulpon,tot,r}}{Cheptel_{volaille,tot,r}} \text{ et } Prop_{pouchair,tot,r} = \frac{Cheptel_{pouchair,tot,r}}{Cheptel_{volaille,tot,r}}$$

Les données sur les cheptels de poules pondeuses et de poulets de chair sont issues des statistiques d'Agreste pour la France. En moyenne entre 2011 et 2013, 34% du cheptel de volailles étaient dédiés à la production d'œufs (poules pondeuses) et 66% à la production de viandes (poulets de chair).

$$Prop_{poulepon,tot,r} = 0.34 \text{ et } Prop_{pouchair,tot,r} = 0.66$$

Ainsi :

$$IO_{volaille,bio,r} = IO_{volaille,conv,r} * 1 / (1.05 * 0.34 + 0.53 * 0.66)$$

$$IO_{volaille,bio,r} = IO_{poulepond,conv,r} * \frac{1}{0.71}$$

Par la suite, nous appelons $RATIO_IO_{ani,r}$ le ratio entre coefficient IO en bio et conventionnel :

$$RATIO_IO_{ani,r} = \frac{IO_{ani,bio,r}}{IO_{ani,conv,r}}$$

3.5.3.2 Calcul des IO pour chaque système

Hypothèse : L'efficacité alimentaire (IO) en agriculture totale est égale à la somme des IO en agriculture conventionnelle et agriculture biologique pondérée par la proportion de chaque système dans l'agriculture totale, i.e :

$$IO_{ani,tot,r} = IO_{ani,conv,r} * Prop_{ani,conv,r} + IO_{ani,bio,r} * Prop_{ani,bio,r}$$

$$\text{Avec } Prop_{ani,conv,r} + Prop_{ani,bio,r} = 1$$

$$Prop_{ani,bio,r} = \frac{Cheptel_{ani,bio,r}}{Cheptel_{ani,tot,r}} \text{ et } Prop_{ani,conv,r} = \frac{Cheptel_{ani,conv,r}}{Cheptel_{ani,tot,r}}$$

Ainsi, nous pouvons donc déduire les IO en agriculture conventionnelle par région et par espèce animale :

$$IO_{ani,tot,r} = IO_{ani,conv,r} * Prop_{ani,conv,r} + IO_{ani,bio,r} * Prop_{ani,bio,r}$$

$$\Leftrightarrow IO_{ani,tot,r} = IO_{ani,conv,r} * Prop_{ani,conv,r} + (IO_{ani,conv,r} * RATIO_IO_{ani,r}) * Prop_{ani,bio,r}$$

$$\Leftrightarrow IO_{ani,conv,r} = \frac{IO_{ani,tot,r}}{(Prop_{ani,bio,r} * X) + Prop_{ani,conv,r}}$$

Avec $RATIO_IO_{ani,r}$ le rapport des IO bio/conventionnel déduits de l'article de Gaudaré et al. (2021) pour chaque production animale

On en déduit les IO des élevages en agriculture biologique :

$$IO_{ani,bio,r} = IO_{ani,conv,r} * RATIO_IO_{ani,r}$$

Les calculs sont disponible auprès des auteurs²⁴

²⁴ 2022-01-31-Rations-Ani.xls, onglet QfeedTOT

3.5.3.3 Coefficients IO obtenus à partir des calculs

Tableau 25 : Coefficients IO calculés retenus pour le modèle pour la France

France :	CONV		BIO	
	IO kg aliment MS/ kg produit	Conso alim totale Tonnes de MS	IO kg aliment MS/ kg produit	Conso alim totale Tonnes de MS
Volaille	3.06	7 864.40	4.33	282.71
Porcin	6.21	13 309.66	6.75	184.16
Bovilait	1.01	24 505.56	1.14	795.33
Boviviande	33.52	48 654.75	37.66	1 367.31
Ovincaprin	23.96	2 851.34	26.92	173.47

Tableau 26 : Coefficients IO calculés retenus pour le modèle pour la zone ROFUE

ROFUE :	CONV		BIO	
	IO kg aliment MS/ kg produit	Conso alim totale Tonnes de MS	IO kg aliment MS/ kg produit	Conso alim totale Tonnes de MS
Volaille	3.24	53 028.73	3.77	1 420.61
Porcin	6.31	129 017.42	6.86	671.22
Bovilait	0.99	125 551.70	1.11	3 963.79
Boviviande	24.77	146 303.65	27.83	8 260.23
Ovincaprin	25.71	21 168.31	28.89	921.15

Les IO sont plus importants en bio qu'en conventionnel dans les deux zones et quel que soit l'élevage, comme attendu. Cela signifie que les animaux ont besoin davantage d'aliments pour produire la même quantité de produit qu'en conventionnel.

3.5.4 Les rations : Composition par catégorie d'aliments

3.5.4.1 Composition par catégorie d'aliments dans MATSIM-LUCA

Dans MATSIM-LUCA, les rations sont composées des 4 catégories suivantes :

- Grass = les apports herbagers consommés sur pied ou sous forme de fourrage récolté en sec ou en humide.
- Resids = les aliments non modélisés (agrégat divers regroupant des fourrages (hors herbe et maïs fourrage), des résidus de cultures, des aliments de parcours, des aliments minéraux, des aliments d'origine animale, etc)
- Concentrated = les concentrés, tous les produits végétaux produits par le secteur végétal et tous les coproduits ou déchets des usages industriels (biocarburants, trituration, sucre centrifugé, etc.) pris en compte dans MATSIM-LUCA.
- Foddermaize = le maïs fourrager

Tableau 27: Composition des rations dans MATSIM-LUCA, par grande catégorie d'aliments

Animal	Catégorie	%ration totale		%ration totale	
		FR	Quantité TMS FR	ROFUE	Quantité TMS ROFUE
BOVILAIT	Grass	0.43	10894.88	0.41	53013.48
	Resids	0.20	4974.22	0.18	23362.00
	Concentrated	0.16	4066.88	0.21	27245.51
	Foddermaize	0.21	5378.68	0.20	25964.27
	Somme	1.00	25314.67	1.00	129585.25
BOVIVIANDE	Grass	0.65	32307.97	0.61	94637.86
	Resids	0.20	10153.33	0.23	35737.99
	Concentrated	0.11	5322.76	0.12	18447.85
	Foddermaize	0.05	2261.79	0.04	5762.46
	Somme	1.00	50045.85	1.00	154586.15
OVINCAPRIN	Grass	0.97	2930.95	0.97	21338.78
	Resids	0.01	29.09		
	Concentrated	0.02	66.70	0.03	772.99
	Somme	1.00	3026.74	1.00	22111.77
PORCIN	Resids	0.25	3422.10	0.30	38598.92
	Concentrated	0.75	10074.49	0.70	91098.72
	Somme	1.00	13496.59	1.00	129697.63
VOLAILE	Resids	0.15	1207.30	0.17	9115.02
	Concentrated	0.85	6988.76	0.83	45272.07
	Somme	1.00	8196.06	1.00	54387.09
TOTAL	Grass		46133.79		168990.11
	Resids		19786.04		106813.92
	Concentrated		26519.61		182837.13
	Foddermaize		7640.47		31726.73

3.5.4.2 Réglementation en AB

Les rations animales sont soumises à des réglementations strictes en agriculture biologique. D'une analyse de différents documents²⁵ produits par l'ITAB nous retenons les points clés sont les suivants :

- Ruminants :
 - o Plus de 60% de la ration doit être produite sur place
 - o Plus de 60% de la ration doit être composée de fourrages
- Monogastriques :
 - o Jusqu'en 2018, 5% de la ration pouvait provenir du conventionnel (concentrés protéiques, gluten de maïs, protéines de pomme de T, graines de soja, tourteaux oléagineux, souvent tourteaux de soja, etc.)
 - o Plus de 20% de la ration doit être produite sur place
 - o Apports en fourrage non nuls

²⁵ Documents disponibles auprès des auteurs

Dans MATSIM-LUCA, raisonnant de manière agrégée, nous ne prenons pas en compte le fait que les aliments sont produits sur la ferme ou non. Néanmoins, nous nous efforçons de respecter la réglementation sur les quantités de fourrages.

3.5.4.3 Catégories d'aliments selon les systèmes

On calcule d'abord les parts de chaque catégorie d'aliments. Puis, on applique ces parts à la quantité totale d'aliments consommée par chaque élevage :

$$Qfeed_MS_{k,ani,syst,r} = Cate_{k,ani,syst,r} * QfeedTot_MS_{ani,syst,r}$$

Avec $Qfeed_MS_{k,ani,syst,r}$ la consommation de la catégorie d'aliment k (en matière sèche) par une espèce animale dans un système de production, avec k l'ensemble herbe, fourrage maïs, concentrés, résidus ; $Cate_{k,ani,syst,r}$ l'ensemble des parts des catégories d'aliments k .

Notre source de données principale reste la méta-analyse de Gaudaré et al. (2021). Il résume dans son article les différences entre les rations en élevage conventionnel et en élevage biologique (cf Annexe 6.2).

Les catégories ne correspondent pas à celles de MATSIM-LUCA, ni les quantités associées. Nous pouvons néanmoins constater que :

- Pour les granivores, les quantités consommées dans les catégories principales ne varient pas beaucoup entre élevages biologique et conventionnel
- Pour les herbivores, les rations biologiques sont composées de 45% de plus d'herbe (63.2% vs.43.6%) et de 40% de moins de concentrés (23.8% vs. 39.7%) qu'en conventionnel

3.5.4.3.1 Chez les granivores :

Hypothèse : D'après Gaudaré et al. (2021), les parts de chaque catégorie dans la ration des volailles et des porcins sont les mêmes dans les élevages conventionnels et biologiques. Ainsi :

$$Cate_{k,ani,tot,r} = Cate_{k,ani,conv,r} = Cate_{k,ani,bio,r}$$

3.5.4.3.2 Chez les petits ruminants :

Dans MATSIM-LUCA (basé sur GLEAM²⁶, Hercule et al. (2017)), la ration d'herbe des ovicaprins représente 97% de la ration totale. Nous ne pouvons donc pas appliquer les taux de Gaudaré.

Nous considérons donc que la ration est suffisamment extensive pour être appliquée à la fois au secteur biologique et au secteur conventionnel.

Hypothèse : Les parts de chaque catégorie dans la ration des ovicaprins sont les mêmes dans les élevages conventionnels et biologiques. Ainsi :

$$Cate_{k,ani,tot,r} = Cate_{k,ani,conv,r} = Cate_{k,ani,bio,r}$$

²⁶ GLEAM (Global Livestock Environmental Assessment Model) est un modèle développé par la FAO ayant pour principal objectif de simuler les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) issues du secteur de l'élevage

3.5.4.3.3 Chez les bovins :

Pour l'herbe et les concentrés

On applique les taux de Gaudaré et al. (2021) en repartant de l'hypothèse usuelle :

Hypothèse : La part de l'herbe et des concentrés dans la ration en agriculture totale est égale à la somme de ces parts en agriculture conventionnelle et en agriculture biologique pondérée par la proportion de chaque système dans l'agriculture totale, i.e. :

$$Cate_{k,ani,tot,r} = Cate_{k,ani,conv,r} * Prop_{ani,conv,r} + Cate_{k,ani,bio,r} * Prop_{ani,bio,r}$$

$$\text{Avec } Prop_{ani,conv,r} + Prop_{ani,bio,r} = 1$$

$$Prop_{ani,bio,r} = \frac{Cheptel_{ani,bio,r}}{Cheptel_{ani,tot,r}} \text{ et } Prop_{ani,conv,r} = \frac{Cheptel_{ani,conv,r}}{Cheptel_{ani,tot,r}}$$

Ainsi :

$$Cate_{k,ani,conv,r} = \frac{Cate_{k,ani,tot,r}}{(Prop_{ani,bio,r} * X_{j,ani}) + Prop_{ani,conv,r}}$$

Et :

$$Cate_{k,ani,bio,r} = Cate_{k,ani,conv,r} * X_{k,ani}$$

Avec $X_{k,ani}$ le rapport bio/conventionnel des parts de chaque catégorie d'aliments k dans la ration animale de l'espèce animale ani (1.45 pour l'herbe, 0.60 pour les concentrés).

Pour le maïs fourrage

Hypothèse : La différence entre élevage biologique et élevage conventionnel pour les concentrés s'applique aussi au maïs fourrage (puisque'il s'agit d'une catégorie à part entière, tout comme les concentrés).

Ainsi :

$$Cate_{foddermaize,ani,conv,r} = \frac{Cate_{foddermaize,ani,tot,r}}{(Prop_{ani,bio,r} * 0.60) + Prop_{ani,conv,r}}$$

Et :

$$Cate_{foddermaize,ani,bio,r} = Cate_{foddermaize,ani,conv,r} * 0.60$$

Problème : Cette hypothèse conduit à une part de maïs fourrage trop importante pour les boviviandes (part herbe + part concentrés + part fourrage maïs > 1). En conséquence, nous n'appliquons cette règle qu'aux systèmes bovins lait et nous considérons que la part de maïs fourrage en système bovin viande bio est nulle. Cette hypothèse nous semble réaliste puisque l'élevage bovin allaitant est très extensif dans le système biologique.

Pour les résidus

On considère que la part de résidus dans les rations en bovin est égale au reste des aliments consommés :

$$Cate_{resids,ani,syst,r} = 1 - Cate_{foddermaize,ani,syst,r} - Cate_{herbe,ani,syst,r} - Cate_{concen,ani,syst,r}$$

Les calculs détaillés sont disponibles auprès des auteurs²⁷

3.5.4.4 Composition par catégorie d'aliments à partir des calculs

Tableau 28 : Composition par catégorie d'aliments en France selon les systèmes de production

Animal	Catégorie	%ration conv	Quantité conv TMS	%ration bio	Quantité bio TMS
BOVILAIT	Grass	42%	10 394.8	61%	489.0
	Resids	20%	4 846.5	16%	126.1
	Concentrated	16%	3 988.8	10%	77.6
	Foddermaize	22%	5 275.4	13%	102.6
	Somme	100%	24 505.6	100%	795.3
BOVIVIANDE	Grass	64%	31 015.9	92%	1 263.5
	Resids	21%	10 180.7	1%	15.7
	Concentrated	11%	5 234.1	6%	88.2
	Foddermaize	5%	2 224.1	0%	-
	Somme	100%	48 654.8	100%	1 367.3
OVINCAPRIN	Grass	97%	2 761.1	97%	168.0
	Resids	1%	27.4	1%	1.7
	Concentrated	2%	62.8	2%	3.8
	Somme	100%	2 851.3	100%	173.5
PORCIN	Resids	25%	3 374.7	25%	46.7
	Concentrated	75%	9 935.0	75%	137.5
	Somme	100%	13 309.7	100%	184.2
VOLAILE	Resids	15%	1 158.5	15%	41.6
	Concentrated	85%	6 706.0	85%	241.1
	Somme	100%	7 864.4	100%	282.7

²⁷ 2022-01-31-Rations-Ani.xls, onglet QfeedCATE

Tableau 29 : Composition par catégorie d'aliments dans la région ROFUE selon les systèmes de production

Animal	Catégorie	%ration conv	Quantité conv TMS	%ration bio	Quantité bio TMS
BOVILAIT	Grass	40%	50 641.6	58%	2 317.5
	Resids	18%	22 693.6	17%	658.0
	Concentrated	21%	26 736.9	13%	506.0
	Foddermaize	20%	25 479.6	12%	482.2
	Somme	100%	125 551.7	100%	3 963.8
BOVIVIANDE	Grass	60%	87 636.2	87%	7 172.2
	Resids	24%	35 295.5	6%	485.3
	Concentrated	12%	17 809.1	7%	602.8
	Foddermaize	4%	5 562.9	0%	-
	Somme	100%	146 303.7	100%	8 260.2
OVINCAPRIN	Grass	97%	20 428.3	97%	889.0
	Concentrated	3%	740.0	3%	32.2
	Somme	100%	21 168.3	100%	921.2
PORCIN	Resids	30%	38 396.5	30%	199.8
	Concentrated	70%	90 620.9	70%	471.5
	Somme	100%	129 017.4	100%	671.2
VOLAILLE	Resids	17%	8 887.4	17%	238.1
	Concentrated	83%	44 141.4	83%	1 182.5
	Somme	100%	53 028.7	100%	1 420.6

3.5.5 Les rations : Composition par produit au sein des aliments concentrés

Lorsque l'on a calculé la composition de chaque ration par catégorie d'aliments (pour chaque secteur/espèce animal, par système bio ou conventionnel), il faut déterminer la composition de la catégorie aliments concentrés (= produits issus du secteur végétal) dans chacune de ces rations (ex : les quantités de blé conventionnel consommées par les bovins lait conventionnels, les bovins viande conventionnels, les caprins conventionnels, etc., et les quantités de blé biologique consommées par les bovins lait biologiques, les bovins viande biologiques, les caprins bio, etc.)

En sachant que la quantité totale allouée de chaque produit au secteur animal est fixe, celle-ci étant donnée par le bilan du secteur végétal de MATSIM_B, la somme des quantités de chaque produit appartenant à la catégorie des concentrés consommées par tous les animaux du modèle doit donc être égale, après conversion en équivalent matière brute, à la quantité totale allouée à l'usage alimentation animale (Feed) dans les bilans des produits végétaux.

Rappelons que selon nos hypothèses, les animaux en élevage biologique mangent des concentrés issus du secteur biologique et les animaux en élevage conventionnel mangent des concentrés issus du secteur conventionnel.

3.5.5.1 Composition par produit des rations dans MATSIM-LUCA

La répartition des produits inclus dans les concentrés entre espèces animales est expliquée dans le rapport Hercule et al. (2017). Elle s'effectue à partir d'hypothèses de répartition issues principalement des travaux réalisés pour les modèles IMAGE (Bouwman et al. 2005), GLEAM (Opio et al. 2013), RUMINANT (Herrero et al. 2013), ainsi que de travaux précédents réalisés pour MATSIM-LUCA (Forslund et al. 2013a). Les résultats obtenus pour la France et la région ROFUE pour l'agriculture totale sont rappelés dans les tableaux suivants.

Tableau 30 : Données sur les rations de concentrés en France dans MATSIM-LUCA (Kt de MS)

	TOTAL	BOVILAIT	BOVIVIANDE	OVINCAPRIN	PORCIN	VOLAILLE
Ble	6 591.1	1 100.6			2 132.2	3 358.2
Cerdi	2 708.2	750.0	595.8	8.0	1 354.4	
Ddgs	510.8	69.6	130.7	0.4	199.8	110.3
Gcolza	25.5	25.5				
Gsoja	88.6	8.6	80.1			
Gtourne	154.3	23.0			17.7	113.6
Mais	4 790.8	36.2	1 269.8	6.7	1 803.6	1 674.5
Orge	2 660.9	392.3	595.8	8.0	1 664.8	
Pois	210.0		206.8	3.2		
Pulp	531.2	184.1	345.9	1.1		
Pulses	62.3				62.3	
Riz	86.2		83.0	3.2		
Son	1 378.9	126.5	408.0	14.3	237.0	593.0
Starchy_roots	84.2			1.1	83.2	
Tarachi	24.0		17.6	6.4		
Tcolza	2 255.2	300.0	286.0	3.8	1 218.5	447.0
Tcoprah	0.8		0.8			
Tpalmis	69.7		65.7	4.0		
Tsoja	3 145.5	1 044.4	760.4		1 301.1	39.7
Ttourne	1 135.5		476.6	6.4		652.5
Vegetable	6.0	6.0				

Tableau 31 : Données sur les rations de concentrés dans la zone ROFUE dans MATSIM-LUCA (Kt de MS)

	TOTAL	BOVILAIT	BOVIVIANDE	OVINCAPRIN	PORCIN	VOLAILLE
Ble	35 380.0				15 757.1	35 380.0
Cerdi	18 897.9	1 415.8	2 017.1	90.9	13 193.8	18 897.9
Ddgs	2 271.7	504.4	235.6	3.7	894.9	2 271.7
Fruits	37.1			15.5	21.6	37.1
Garachi	0.5				0.5	0.5
Gcolza	658.7	614.5				658.7
Gcoprah	0.1				0.1	0.1
Gsoja	519.4		403.9		115.5	519.4
Gtourne	454.6				454.6	454.6
Harachi	-					-
Hcolza	716.7					716.7
Hsoja	14.8				14.8	14.8
Mais	40 723.5	9 893.6	4 459.6	76.0	15 392.8	40 723.5
Orge	27 680.2	2 392.2	2 017.1	90.9	18 649.2	27 680.2
Pois	575.0		538.7	36.4		575.0
Pulp	5 278.2	3 579.8	1 672.0	26.4		5 278.2
Pulses	799.0				781.5	799.0
Riz	156.8		120.4	36.4		156.8
Son	11 557.3	760.7	807.6	162.5	9 826.6	11 557.3

Starchy_roots	945.6				696.5	945.6
Tarachi	35 380.0				15 757.1	35 380.0
Tcolza	18 897.9	1 415.8	2 017.1	90.9	13 193.8	18 897.9
Tcoprah	2 271.7	504.4	235.6	3.7	894.9	2 271.7
Tpalmis	37.1			15.5	21.6	37.1
Tsoja	0.5				0.5	0.5
Ttourne	658.7	614.5				658.7
Vegetable	0.1				0.1	0.1

3.5.5.2 Méthode d'allocation des produits entre les rations des systèmes conventionnels et biologiques

Comme présenté ci-dessus, nous disposons de la ration des concentrés pour chaque espèce animale en agriculture totale pour la France et le ROUE. L'objectif est ici de répartir cette ration entre le système conventionnel et le système biologique de chaque espèce dans les deux zones. L'allocation s'effectue manuellement par étapes successives, en respectant les contraintes suivantes :

- Les coefficients IO, les répartitions par catégorie d'aliments et la composition détaillée des rations sont inchangé en agriculture totale pour conserver les valeurs initiales du modèle MATSIM-LUCA.
- Pour chaque espèce animale, les coefficients IO et la répartition par catégorie d'aliments pour chaque système de production (conventionnel ou biologique) est issue des étapes précédentes et n'est pas affectée.
- Les données de bilan des produits végétaux par système bio et conventionnel sont conservées dans la mesure du possible. Si la variable *Feed* (quantité destinée à l'alimentation animale d'un produit) doit être modifiée à la marge, le bilan est rééquilibré à l'aide des variables des usages alimentaires (*Food*) ou autres usages (*Autre*)
- L'allocation des rations globales par espèce entre le système conventionnel et le système bio s'effectue en deux temps :
 1. La répartition est effectuée pour les systèmes biologiques en se basant sur les compositions de la méta-analyse de Gaudaré et al. (2021).
 2. La répartition pour les systèmes conventionnels s'effectue par différence entre les rations globales et les rations en systèmes bio.

Le détail des calculs est disponible auprès des auteurs²⁸

²⁸ Matching_culture_ani.xlsx

3.5.6 Les rations : Données finales

Tableau 32 : Synthèse des rations dans MATSIM_B pour la France

	Systèmes conventionnels						Systèmes bio					
	TOTAL	BOVIN LAIT	BOVIN VIANDE	OVIN/ CAPRIN	PORCIN	VOLAILLE	TOTAL	BOVIN LAIT	BOVIN VIANDE	OVIN/ CAPRIN	PORCIN	VOLAILLE
Allocation des produits dans la ration de concentrés (MT de MS) :												
BLE	6.488	1.099			2.129	3.260	0.103	0.002			0.003	0.098
MAIS	4.681	0.031	1.250	0.007	1.779	1.614	0.110	0.005	0.020	0.000	0.025	0.060
ORGE	2.618	0.383	0.586	0.007	1.642		0.043	0.009	0.010	0.001	0.023	
CERDI	2.644	0.721	0.580	0.007	1.336		0.064	0.029	0.016	0.001	0.018	
RIZ	0.086		0.083	0.003			0.000					
GCOLZA	0.025	0.025					0.000					
GTOURNE	0.153	0.023			0.018	0.113	0.001	0.000			0.000	0.001
GSOJA	0.084	0.005	0.079				0.005	0.004	0.001			
POIS	0.190	0.000	0.188	0.002			0.020	0.000	0.019	0.001		
PULSES	0.047				0.047		0.015				0.015	
TARACHI	0.024		0.018	0.006			0.000					
TCOLZA	2.211	0.290	0.281	0.004	1.202	0.434	0.044	0.010	0.005	0.000	0.016	0.013
TCOPRAH	0.001		0.001				0.000					
TPALMIS	0.070		0.066	0.004			0.000					
TSOJA	3.110	1.043	0.758		1.284	0.025	0.035	0.001	0.002		0.017	0.015
TTOURNE	1.104	0.000	0.469	0.006		0.629	0.031	0.000	0.008	0.000		0.023
PULP	0.531	0.184	0.346	0.001			0.000					
SON	1.302	0.109	0.401	0.013	0.217	0.562	0.077	0.018	0.007	0.001	0.020	0.031
DDGS	0.511	0.070	0.131	0.000	0.200	0.110	0.000					
STARCHY_ROOTS	0.084			0.001	0.083		0.000					
VEGETABLE	0.006	0.006					0.000					
<i>Part graines non légumineuses</i>		58%	49%	39%	72%	75%		58%	52%	50%	50%	66%
<i>Part graines légumineuses</i>		0%	5%	4%	0%	0%		5%	23%	25%	11%	0%
<i>Part coproduits légumineuses</i>		39%	38%	36%	26%	16%		14%	17%	0%	24%	21%
<i>Part coproduits non légumineuses</i>		5%	10%	22%	4%	10%		23%	8%	25%	15%	13%
<i>Part autre</i>		0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%
Constitution de la ration totale par type d'aliments (MT de MS) :												
Concentrés totaux		3.913	5.104	0.061	9.655	6.637		0.078	0.088	0.004	0.137	0.241
Fourrages herbagers		10.406	31.044	2.763				0.489	1.263	0.168		
aliments résiduels		4.848	10.138	0.027	3.375	1.166		0.126	0.016	0.002	0.047	0.042
Maïs fourrage		5.276	2.262					0.103				
<i>Part concentrés</i>		16%	10%	2%	73%	84%		10%	6%	2%	74%	85%
<i>Part herbe</i>		42%	64%	97%				61%	92%	97%		
<i>Part aliments résiduels</i>		20%	21%	1%	25%	15%		16%	1%	1%	25%	15%
<i>part maïs fourrage</i>		22%	5%					13%				
Consommation alimentaire globale, production animale et coefficient d'efficacité alimentaire :												
Aliments totaux (MT de MS)		24.519	48.678	2.853	13.312	7.913		0.795	1.367	0.173	0.184	0.283
Production animale (MT)		24.217	1.452	0.119	2.143	2.570		0.699	0.036	0.006	0.027	0.065
<i>Coefficient IO (TMS/T)</i>		1.013	33.534	23.978	6.213	3.079		1.137	37.661	26.923	6.752	4.329

Tableau 33 : Synthèse des rations dans MATSIM_B pour la région ROFUE

	Systèmes conventionnels						Systèmes bio					
	TOTAL	BOVIN LAIT	BOVIN VIANDE	OVIN/ CAPRIN	PORCIN	VOLAILLE	TOTAL	BOVIN LAIT	BOVIN VIANDE	OVIN/ CAPRIN	PORCIN	VOLAILLE
Allocation des produits dans la ration de concentrés (MT de MS):												
BLE	34.785				15.675	19.110	0.595				0.082	0.513
MAIS	40.379	9.8195	4.4096	0.0750	15.3428	10.7316	0.345	0.074	0.05	0.001	0.05	0.17
ORGE	27.180	2.268	1.866	0.081	18.552	4.413	0.500	0.124	0.151	0.01	0.097	0.118
CERDI	18.249	1.255	1.808	0.082	13.096	2.008	0.649	0.161	0.209	0.009	0.098	0.172
RIZ	0.153		0.116	0.036			0.004		0.004			
GCOLZA	0.647	0.603					0.012	0.011				0.001
GTOURNE	0.453				0.453		0.002				0.002	
GSOJA	0.501		0.391		0.110		0.018		0.013		0.005	
POIS	0.522		0.491	0.031			0.053		0.048	0.005		
PULSEES	0.755				0.755	0.000	0.044				0.026	0.01754157
TARACHI	0.085		0.012	0.073			0.000					
TCOLZA	7.578	1.373	0.911	0.044	5.250		0.142	0.057	0.057		0.028	
TCOPRAH	0.020			0.020			0.000					
TPALMIS	2.523		1.614	0.073	0.837		0.000					
TSOJA	21.038	3.848	1.965	0.025	8.997	6.203	0.222	0.022	0.004		0.028	0.168
TTOURNE	4.313	2.740	1.574				0.082	0.042	0.04			
PULP	5.278	3.580	1.672	0.026			0.000					
SON	11.457	0.746	0.781	0.156	9.776		0.100	0.015	0.027	0.007	0.051	
DDGS	2.272	0.504	0.236	0.004	0.895	0.633	0.000					
HCOLZA	0.698					0.698	0.019					0.019
HSOJA	0.015				0.015		0.000					
STARCHY_ROOTS	0.939				0.693	0.245	0.007				0.003	0.004
FRUITS	0.037			0.016	0.022		0.000					
VEGETABLE	0.153				0.153		0.001				0.001	
<i>Part graines non légumineuses</i>		52%	46%	37%	70%	82%		73%	69%	63%	70%	82%
<i>Part graines légumineuses</i>		0%	5%	4%	1%	0%		0%	10%	16%	7%	1%
<i>Part coproduits légumineuses</i>		43%	43%	35%	17%	14%		24%	17%	0%	12%	14%
<i>Part coproduits non légumineuses</i>		5%	6%	21%	12%	3%		3%	4%	22%	11%	2%
<i>Part autre</i>		0%	0%	2%	1%	1%		0%	0%	0%	1%	0%
Constitution de la ration totale par type d'aliments (MT de MS) :												
Concentrés totaux		26.737	17.845	0.741	90.622	44.084		0.506	0.603	0.032	0.471	1.183
Fourrages herbagers		50.691	87.468	20.450				2.318	7.172	0.889		
aliments résiduels		22.702	35.253		38.397	8.876		0.658	0.485		0.200	0.238
Mais fourrage		25.480	5.763					0.482				
<i>Part concentrés</i>		16%	10%	2%	73%	84%		10%	6%	2%	74%	85%
<i>Part herbe</i>		42%	64%	97%				61%	92%	97%		
<i>Part aliments résiduels</i>		20%	21%	1%	25%	15%		16%	1%	1%	25%	15%
<i>part maïs fourrage</i>		22%	5%					13%				
Consommation alimentaire globale, production animale et coefficient d'efficience alimentaire :												
Aliments totaux (MT de MS)		125.609	146.329	21.191	129.018	52.960		3.964	8.260	0.921	0.671	1.421
Production animale (MT)		126.932	5.906	0.823	20.456	16.358		3.567	0.297	0.032	0.098	0.377
<i>Coefficient IO (TMS/T)</i>		0.990	24.777	25.741	6.307	3.238		1.111	27.835	28.893	6.855	3.770

3.6 Désagrégation des bilans d'approvisionnement

3.6.1 Bilans d'approvisionnement du secteur végétal

3.6.1.1 Bilans d'approvisionnement : en bref

Dans MATSIM-LUCA, le bilan est donné sous cette forme sur la base des bilans FAOSTAT :

$$Prod_{gr} = Feed_{gr} + Food_{gr} + CI_{gr} + BalanceCo_{gr} + UsageIndus_{gr} + Autre_{gr} + Stocks_{gr}$$

$$Prod_{hu} = Feed_{hu} + Food_{hu} + CI_{hu} + BalanceCo_{hu} + UsageIndus_{gr} + Autre_{hu} + Stocks_{hu}$$

$$Prod_{tour} = Feed_{tour} + BalanceCo_{tour} + UsageIndus_{gr} + Autre_{tour} + Stocks_{tour}$$

Avec $Prod_i$ la production totale, $Feed_i$ la quantité dédiée à l'alimentation animale, $Food_i$ la quantité dédiée à l'alimentation humaine, CI_i la quantité utilisée en tant que consommation intermédiaire dans

un autre secteur (ex : secteur de la trituration, secteur du sucre centrifugé, etc.), $BalanceCo_i$ la balance commerciale du produit (exportations – importations), $UsageIndus_i$ la quantité dédiée aux usages industriels divers, $Autre_i$ la quantité dédiée aux autres usages (semences, pertes...), $Stocks_i$ variation des stocks (stock finaux – stock initiaux). Les indices font référence à des graines ou plantes cultivées (gr), à des huiles végétales (hu), à des tourteaux ($tour$).

Ces bilans sont exprimés en équivalent matière première de produit brut indépendamment du niveau de transformation des produits. Les différents postes de consommations du bilan ainsi que les échanges et stocks intègrent donc implicitement toutes les formes dérivées du produit brut après transformation.

Les bilans sont reconstitués sur la base de la moyenne des années civiles 2011 à 2013.

Il s'agit donc ici, pour chaque produit végétal et pour la France et le ROUE, de désagréger le bilan agriculture totale de MATSIM-LUCA en deux bilans : un pour le système bio et un pour le système conventionnel.

Hypothèse : Pour chaque poste (i.e. Prod, Feed, Food, etc.), la somme bio + conventionnel doit être égale à la quantité du poste initial de MATSIM-LUCA.

Hypothèse : Chaque bilan doit être équilibré : Prod = somme des autres postes. Le dernier poste Variation des stocks peut être utilisé comme variable d'ajustement pour atteindre l'équilibre.

Hypothèse : Les productions biologiques ne sont utilisées ni dans la transformation en biocarburant, ni dans les « autres usages industriels ».

Tableau 34 : Données Bilan MATSIM-LUCA pour la France

PRODUIT	PROD 1000T	BALANCE %PROD	FEED %PROD	FOOD %PROD	TRIT %PROD	INDUS %PROD	MPBIO %PROD	OTHUS %PROD	VSTOCK %PROD
BET_SUC	35136.11	0.00				82.55	7.80	9.64	
BLE	38302.9	48.57	19.78	18.03			2.92	11.63	-0.94
CAN_SUC									
CERDI	3397.75	3.69	90.68	3.27				2.46	-0.10
FRUITS	8521.49	-67.38		84.07		77.98		5.33	
GARACHI									
GCOLZA	5081.26	15.26	0.54	0.07	86.93			0.15	-2.95
GCOPRAH									
GPALMIS									
GSOJA	112.25	-524.11	89.02	3.15	529.77			2.16	
GTOURNE	1678.7	5.28	9.90		80.69			4.13	
MAIS	15519.47	37.70	35.77	4.67			2.86	11.70	7.30
ORGE	10145.97	66.42	30.11	0.47				4.14	-1.14
POIS	576.85	49.07	42.08	5.26				3.59	
PULSES	331.14	46.80	21.72	27.56				3.92	
RIZ	74.15	-528.78	130.25	455.82				6.92	35.79
STARCHY_ ROOTS	6911.44	12.70	5.69	49.82		5.79		23.70	2.30
VEGETABLE	5439.74	-34.93	1.57	115.62				17.99	-0.25

Tableau 35 : Données Bilan MATSIM-LUCA pour la zone ROFUE

PRODUIT	PROD 1000T	BALANCE %PROD	FEED %PROD	FOOD %PROD	TRIT %PROD	INDUS %PROD	MPBIO %PROD	OTHUS %PROD	VSTOCK %PROD
BET_SUC	80331.76	0.17	0.32			99.61	8.38	0.00	-8.48
BLE	100881.7	-0.52	40.31	45.39			2.05	12.25	0.51
CAN_SUC	5.54	-9.57	4.33	1.44				104.51	-0.72
CERDI	29303.03	-1.36	73.37	14.24			3.74	8.41	1.59
FRUITS	51495.88	-23.10	0.24	85.24		31.52		6.44	-0.33
GARACHI	7.37	-7339.08	6.51	5028.63	2354.55			58.07	-8.55
GCOLZA	14762.82	-28.92	4.83	0.56	117.67			2.69	3.16
GCOPRAH									
GPALMIS									
GSOJA	915.51	-1278.47	63.95	10.86	1334.21			14.58	-45.13
GTOURNE	6493.62	5.74	7.54	1.28	79.85			3.97	1.62
MAIS	48685.42	-24.02	96.92	6.31			7.01	12.56	1.21
ORGE	45238.71	3.20	70.25	1.29			1.17	23.90	0.19
POIS	806.02	-48.53	82.48	52.63				15.03	-1.61
PULSES	1388.17	-36.50	66.47	58.91				11.94	-0.82
RIZ	1971.39	-30.50	8.92	111.72				9.87	0.00
STARCHY_ ROOTS	50307.58	3.48	8.91	64.43		3.26		21.88	-1.96
VEGETABLE	61081.63	3.96	3.61	82.46		0.05		9.95	-0.02

Certains produits n'apparaissent pas dans ces tableaux qui ne rapportent les bilans que pour les produits effectivement cultivés de MATSIM-LUCA. Il s'agit de produits transformés à partir de ces produits effectivement cultivés et des co-produits de la transformation de ces produits cultivés : huiles d'oléagineux, sucre de betterave ou de canne (SUC_BET et SUC-CAN), éthanol (ETHANOL), biodiesel (BIODIESEL), tourteaux d'oléagineux, fibre de coton (FIBCOTON), son (SON), drêches (DDGS), pulpe de betterave (PULP). Cependant, ces produits et co-produits disposent d'un bilan, dont la répartition entre systèmes conventionnels et systèmes bio dépend directement de la répartition du ou des produits cultivés dont ils sont issus.

3.6.1.2 Les bilans : Sources de données mobilisables

- Bilans en agriculture biologique de FranceAgriMer pour les céréales, les protéagineux et les oléagineux
- AgenceBio La consommation de bio en France, données sur les échanges extérieurs en valeur

3.6.1.3 Les bilans : Calculs pour les cultures

3.6.1.3.1 Bilans : Calculs pour les produits couverts par FranceAgrimer (France)

Nous avons pu récupérer des documents de FranceAgriMer présentant les bilans annuels de certains produits biologiques en France. Ces documents²⁹ concernent :

- Le blé tendre, l'orge, le maïs, le triticale, les pois et les féveroles pour les années 2014 à 2020
- Le soja et le tournesol pour les années 2016 et 2017
- Le colza pour les années 2015 et 2016.

Nous n'avons pas trouvé d'autres informations sur le site de FranceAgriMer. Le bilan est composé de plusieurs postes :

- Stocks initiaux en début de période
- Collecte dont Bio
- Imports FAB et autres imports
- Meunerie (dans le cas du blé uniquement)
- FAB (fabrication d'aliments pour le bétail)
- Autres (vente directe aux éleveurs, IAA, etc...)
- Semences
- Freintes (pertes)
- Stocks finaux

FranceAgriMer fait référence aux années de récolte (ex : 2014-2015). Nous considérons qu'il s'agit des données de l'année n+1 (ex : 2015).

Tableau 36 : Bilans des produits bio grandes cultures : Compilation des données de FranceAgriMer

	Prod (T)	Balance co (%prod)	Alim ani (%prod)	Alim hum (%prod)	Trituration (%prod)	Meunerie et autres (%prod)	Semences et freintes (%prod)	Var stocks (%prod)
Blé tendre	130565.9	-51.5	35.4			104.7	4.6	6.8
Orges	29764.3	-27.1	86.1			31.7	6	3.3
Maïs	86369.4	-19.7	95			13.9	2.2	8.6
Triticale	46923.7	-12.2	87.6			11.7	6.8	6.1
Soja	27318	-45.4	27.5		56.7	46	3.7	11.5
Tournesol	12506	-41.6	1.4		149.9	4.2	3	-16.9
Colza	1288	-371.7	0		431.9	16.7	3	20.1
Pois	13217.1	-3.2	63.9			21.6	10.3	7.4
Féveroles	15475.3	-2.3	75.3			18.8	8	0.2

²⁹ Dossier des auteurs : Secteur Végétal/Bilan/Bilan-Bio-FranceAgriMer_2015_2020

La production est exprimée en tonnes (moyenne annuelle). Les autres catégories sont exprimées en pourcentage de la production (= collecte dans le bilan).

Calculs disponibles auprès des auteurs³⁰

Pour passer des bilans de FranceAgriMer aux bilans de MATSIM-LUCA, il est nécessaire de faire des hypothèses sur les catégories « meunerie » et « autres » de FranceAgriMer :

- Meunerie = alim humaine,
- Autres = 1/3 alim humaine, 1/3 alim animale, 1/3 autres usages MATSIM

Les équivalences avec les postes du bilan MATSIM-LUCA sont les suivantes :

- Prod = Prod
- Balance Co = Exportations – Importations
- Var stock = Stock final - stock initial
- Trituration = trituration
- Feed = Fabrication alimentation animal FAB + 1/3 de la catégorie "autres" de FranceAgriMer
- Food = meunerie et 1/3 de la catégorie "autres" de France AgriMer
- Autres = Semences + Freintes + 1/3 de la catégorie "autres" de FranceAgriMer

Tableau 37 : Bilans des produits bio grandes cultures en France : Compilation des données de FranceAgriMer, hypothèses de répartition

	Prod (T)	Balance co (%prod)	Feed (%prod)	Food (%prod)	Trituration (%prod)	Autres (%prod)	Var stocks (%prod)
Blé tendre	130565.9	-51.5	37.2	101		6.4	6.9
Orges	29764.3	-27.1	96.7	10.6		16.6	3.2
Mais	86369.4	-19.7	99.6	4.6		6.9	8.6
Triticale	46923.7	-12.2	91.5	3.9		10.7	6.1
Soja	27318	-45.4	42.8	15.3	56.7	19.1	11.5
Tournesol	12506	-41.6	2.8	1.4	149.9	4.4	-16.9
Colza	1288	-371.7	5.6	5.6	431.9	8.6	20.1
Pois	13217.1	-3.2	71.1	7.2		17.5	7.4
Féveroles	15475.3	-2.3	81.6	6.3		14.3	0.1

Pour mettre en cohérence les données de FranceAgriMer et les données existantes dans MATSIM-LUCA (agriculture totale), il est nécessaire de faire quelques exceptions :

- Tournesol : pas d'alimentation humaine dans MATSIM donc la catégorie « autres » de FranceAgriMer est divisée entre autres usages ½ et alimentation animale ½

³⁰ Fichier Bil-Bio-FranceAgriMer.xls, onglet Bil_FAM

- Soja : si on applique la règle des tiers, la catégorie « autres usages » de MATSIM est trop élevée relativement au conventionnel, donc le dernier tiers est reversé au poste « trituration » (car il n'est pas possible d'augmenter le poste alimentation humaine de plus d'1/3)
- Pois et féveroles : si on applique la règle des tiers, la catégorie « autres usages » de MATSIM est trop élevée relativement au conventionnel, donc la catégorie « autres » de FranceAgriMer est divisée entre ½ alimentation animale et ½ alimentation humaine.

Tableau 38 : Bilans des produits bio grandes cultures en France: Compilation des données de FranceAgriMer, hypothèses de répartition et exceptions

	Prod (T)	Balance co (%prod)	Feed (%prod)	Food (%prod)	Trituration (%prod)	Autres (%prod)	Var stocks (%prod)
Blé tendre	130565.9	-51.5	37.2	101		6.4	6.9
Orges	29764.3	-27.1	96.7	10.6		16.6	3.2
Mais	86369.4	-19.7	99.6	4.6		6.9	8.6
Triticale	46923.7	-12.2	91.5	3.9		10.7	6.1
Soja	27318	-45.4	42.8	15.3	72.1	3.7	11.5
Tournesol	12506	-41.6	3.5	0	149.9	5.1	-16.9
Colza	1288	-371.7	5.6	5.6	431.9	8.6	20
Pois	13217.1	-3.2	74.7	10.8		10.3	7.4
Féveroles	15475.3	-2.3	84.7	9.4		8	0.2

Les équivalences avec les cultures MATSIM-B sont les suivantes :

- Blé tendre = Blé
- Orges = Orge
- Mais = Mais
- Soja = Soja
- Tournesol = Tournesol
- Colza = Colza
- Pois = Pois
- Cerdi = triticale
- Pulses = féveroles

Bilans en agriculture biologique :

A partir du Tableau 38, on peut donc calculer les bilans des produits MATSIM-LUCA français pour lesquels on a des équivalences (i = blé, mais, orge, cerdi, soja, tournesol, colza, pois, pulses).

$$BalanceCo_{i,bio,fr} = Prod_{i,bio,fr} * \%ProdBalanceCo_{i,bio,fr}$$

$$Feed_{i,bio,fr} = Prod_{i,bio,fr} * \%ProdFeed_{i,bio,fr}$$

Et ainsi de suite pour tous les postes.

Ainsi l'égalité

$$Prod_{i,bio,fr} = Feed_{i,bio,fr} + Food_{i,bio,fr} + CI_{i,bio,fr} + BalanceCo_{i,bio,fr} + Autre_{i,bio,fr} + Stocks_{i,bio,fr}$$

est conservée.

Avec i l'ensemble des produits MATSIM. Ici, $CI_{i,bio,fr}$ s'apparente à la trituration pour les oléagineux.

Bilans en agriculture conventionnelle :

Une fois les bilans en agriculture biologique établis, on peut en déduire les bilans en agriculture conventionnelle. En effet, on sait que pour tous les postes du bilan, Z :

$$Z_{i,tot,fr} = Z_{i,conv,fr} + Z_{i,bio,fr}$$

Ainsi, pour tous les postes (excepté biocarburant et usages industriels) :

$$Z_{i,conv,fr} = Z_{i,tot,fr} - Z_{i,bio,fr}$$

Pour les postes biocarburant et usages industriels, il n'y a pas de système de production bio. On a donc : $Z_{i,conv,fr} = Z_{i,tot,fr}$

Ainsi l'égalité

$$Prod_{i,conv,fr} = Feed_{i,conv,fr} + Food_{i,conv,fr} + CI_{i,conv,fr} + BalanceCo_{i,conv,fr} + UsageIndus_{i,conv,fr} + Biocar_{i,conv,fr} + Autre_{i,conv,fr} + Stocks_{i,conv,fr}$$

est conservée.

3.6.1.3.2 Bilans : Calcul pour les produits non concernés par les bilans FranceAgriMer

Pour la canne à sucre, la betterave à sucre, l'arachide, le coprah et le palmiste, il n'y a pas besoin d'effectuer un tel travail car il n'y a pas de culture bio en France. Le bilan en agriculture conventionnelle est égal au bilan en agriculture totale de MATSIM-LUCA.

Pour les fruits, les légumes, les racines et tubercules et le riz, il n'y a pas de correspondance qui puisse être faites avec les données de FranceAgriMer. Une autre méthode ainsi que d'autres sources de données sont donc utilisées.

Bilans pour les fruits :

Pour les fruits, on peut utiliser les données de l'AgenceBio (cf tableaux en Annexe 6.3) pour la France :

- La consommation de fruits bio, tous circuits de distribution confondus, s'élève à 597 M d'€ en 2018, 625 M d'€ en 2019
- Les exports représentent 26 millions d'€ en 2018, 31 M d'€ en 2019
- Les imports représentent 343 millions d'€ en 2018, 350 M d'€ en 2019

Dans le bilan des fruits biologiques, on retrouve seulement : la quantité produite, la quantité consommée, la balance commerciale et les autres utilisations. Tous les autres postes sont nuls. Ainsi,

en faisant l'hypothèse que le poste « autres » représente 3% de la production, on a pour chaque année :

$$Prod_{fruits,bio,fr} = Food_{fruits,bio,fr} + Exports_{fruits,bio,fr} - Imports_{fruits,bio,fr} + Autres_{fruits,bio,fr}$$

En particulier en 2019 :

$$\Leftrightarrow Prod_{fruits,bio,fr} = 625 + 31 - 350 + 3\%Prod_{fruits,bio,fr}$$

$$\Leftrightarrow 97\%Prod_{fruits,bio,fr} = 306$$

$$\Leftrightarrow Prod_{fruits,bio,fr} = 306 * \frac{100}{97} = 315.46$$

Même chose pour l'année 2018. On peut ensuite exprimer la consommation, la balance commerciale et les « autres usages » en pourcentage de la production.

Tableau 39 : Bilans des fruits bio : Calculs répartition de la production de fruits en valeur d'après Agence BIO

FRUITS	Production en valeurs (M€)	Balance Co (%Prod)	Food (%Prod)	Autres (%Prod)
2018	288.65	-153.27	206.82	3%
2019	315.46	-101.12	198.12	3%
Moyenne	302.06	-105.28	202.28	3%

Hypothèse : La répartition en valeur est la même qu'en volume.

De la même façon qu'avec les données FranceAgriMer, on applique ces pourcentages aux quantités produites en agriculture biologique dans MATSIM_B :

$$BalanceCo_{i,bio,fr} = Prod_{i,bio,fr} * \%ProdBalanceCo_{i,bio,fr}$$

$$Food_{i,bio,fr} = Prod_{i,bio,fr} * \%ProdFood_{i,bio,fr}$$

$$Autres_{i,bio,fr} = Prod_{i,bio,fr} * \%ProdAutres_{i,bio,fr}$$

Pour le conventionnel, on applique la même méthode que précédemment :

$$X_{i,conv,fr} = X_{i,tot,fr} - X_{i,bio,fr}$$

Bilans pour les légumes :

On utilise la même méthode que pour les fruits, avec les données de l'AgenceBio pour la France (cf tableaux en Annexe 6.3) :

- La consommation de légumes bio, tous circuits de distribution confondus, s'élève à 538 M d'€ en 2018, 619 M d'€ en 2019
- Les exports représentent 23 M d'€ en 2018 et en 2019
- Les imports représentent 123 M d'€ en 2018 et 135 M d'€ en 2019

Dans le bilan des légumes biologiques, on retrouve seulement : la quantité produite, la quantité consommée, la balance commerciale et les autres utilisations. On considère que tous les autres postes sont nuls. Ainsi, en faisant l'hypothèse que le poste « autres » représente 3% de la production, on a pour chaque année :

$$Prod_{légumes,bio,fr} = Food_{légumes,bio,fr} + Exports_{légumes,bio,fr} - Imports_{légumes,bio,fr} + Autres_{légumes,bio,fr}$$

En particulier en 2019 :

$$\Leftrightarrow Prod_{légumes,bio,fr} = 619 + 23 - 135 + 3\%Prod_{légumes,bio,fr}$$

$$\Leftrightarrow 97\%Prod_{légumes,bio,fr} = 507$$

$$\Leftrightarrow Prod_{légumes,bio,fr} = 507 * \frac{100}{97} = 522.68$$

Même chose pour 2018. On peut ensuite exprimer la consommation, la balance commerciale et les « autres usages » en pourcentage de la production.

Tableau 40 : Bilans des légumes bio : Calculs répartition de la production de légumes en valeur d'après Agence BIO

LEGUMES	Production en valeurs (M€)	Balance Co (%Prod)	Food (%Prod)	Autres (%Prod)
2018	451.55	-83.93	119.15	3
2019	522.68	-21.43	118.42	3
Moyenne	487.11	-21.76	118.76	3

Hypothèse : La répartition en valeur est la même qu'en volume.

Comme pour les fruits, on applique ces pourcentages aux quantités produites en agriculture biologique dans MATSIM_B. Pour le conventionnel, on applique la même méthode que précédemment.

Bilans pour le riz :

On utilise la même méthode, avec les données de l'AgenceBio pour la France (cf tableaux en Annexe 6.3) :

La consommation de riz bio, tout distributeur confondu, s'élève à 34 M d'€ en 2018

- Les exports représentent 3 millions d'€ en 2018
- Les imports représentent 30 millions d'€ en 2018

Tableau 41 : Bilans du riz bio : Calculs répartition de la production de riz en valeur d'après Agence BIO

RIZ	Production en valeurs (M€)	Balance Co (%Prod)	Food (%Prod)	Autres (%Prod)
2018	7.22	-374.14	471.14	3

On en déduit les bilans MATSIM_B des systèmes bio et conventionnel.

Bilans pour les racines et tubercules :

On utilise la même méthode, avec les données de l'AgenceBio pour la France cf tableaux en Annexe 6.3) en prenant comme équivalence la pomme de terre :

- La consommation de pomme de terre bio s'élève à 69 M d'€ en 2018
- Il n'y a pas d'export en 2018
- Les imports représentent 3 M d'€ en 2018

Tableau 42 : Bilans des pommes de terre bio : Calculs répartition de la production de pomme de terre en valeur d'après Agence BIO

PdT	Production en valeurs (M€)	Balance Co (%Prod)	Food (%Prod)	Autres (%Prod)
2018	68.04	-4.41	101.41	3

On en déduit les bilans MATSIM_B des systèmes bio et conventionnel.

3.6.1.3.3 Bilans d'approvisionnements pour la zone ROFUE

Nous n'avons pas trouvé de bilans détaillés comme pour la France. L'hypothèse la plus facile à mettre en place serait de conserver les pourcentages précédemment établis (modulo les exceptions) pour les postes Food, Feed, Trit et Autres.

Pour la balance commerciale, nous supposons que les échanges de produits biologiques ne se font qu'à l'intérieur de l'UE.

Hypothèse : Les échanges de produits bio ne sont explicites que pour la France et le ROFUE. Ainsi : $BalanceCo_{i,bio,fr} + BalanceCo_{i,bio,rofue} = 0$. D'après les tableaux AgenceBio en Annexe 6.3, en France, les imports de produits bio sont globalement à destination des pays de l'UE. Une part importante des importations provient néanmoins de pays tiers.

On se sert de la variation des stocks pour équilibrer les bilans nationaux.

Bilans en agriculture biologique

Tableau 43 : Bilans des céréales, oléagineux et protéagineux bio : Calculs pour la zone ROFUE

	Prod (1000T)	Balance co (1000T)	Balance co (%prod)	Feed (%prod)	Food (%prod)	Trit (%prod)	Autres (%prod)	Var stocks
Blé	1906.17	164.19	8.61	37.2	101		6.4	Prod-le reste
Orges	744.95	23.02	3.09	96.7	10.6		16.6	Prod-le reste
Mais	400.85	25.28	6.31	99.6	4.6		6.9	Prod-le reste

Cerdi	1811.39	22.49	1.24	91.5	3.9		10.7	Prod-le reste
Soja	48.66	10.03	20.60	42.8	15.3	56.7	19.1	Prod-le reste
Tournesol	91.42	11.73	12.83	2.8	1.4	149.9	4.4	Prod-le reste
Colza	77.69	19.72	25.38	5.6	5.6	431.9	8.6	Prod-le reste
Pois	97.54	2.97	3.04	71.1	7.2		17.5	Prod-le reste
Pulses	167.99	1.22	0.73	81.6	6.3		14.3	Prod-le reste

A partir du bilan français et de FranceAgriMer. Pour la balance commerciale, le calcul est le suivant :

$$BalanceCo_{i,bio,rofue} = - BalanceCo_{i,bio,fr}$$

Pour les postes Food, Feed, Trit et Autres, on applique les pourcentages aux productions de MATSIM_B. Les variations des stocks permettent d'équilibrer le bilan :

$$VarStocks_{i,bio,rofue} = Prod_{i,bio,rofue} - BalanceCo_{i,bio,rofue} - Food_{i,bio,rofue} - Feed_{i,bio,rofue} - Autres_{i,bio,fr}$$

On utilise une méthode identique pour les autres produits (fruits, légumes, riz, tubercules et racines).

Tableau 44 : Bilans des fruits, légumes, racines et riz bio : Calculs pour la zone ROFUE

	Prod (1000T)	Balance co (1000T)	Balance co (%prod)	Feed (%prod)	Food (%prod)	Autres (%prod)	Var stocks
Fruits	3235.21	625.15	19.32	0	202.28	3	Prod-le reste
Légumes	2552.49	59.62	2.34	0	118.76	3	Prod-le reste
Racines	602.94	3.08	0.51	0	101.41	3	Prod-le reste
Riz	44.62	13.79	30.90	0	471.14	3	Prod-le reste

A partir du bilan français et de FranceAgriMer. Pour la balance commerciale, le calcul est le suivant :

$$BalanceCo_{i,bio,rofue} = - BalanceCo_{i,bio,fr}$$

Bilans en agriculture conventionnelle :

Une fois les bilans en agriculture biologique établis pour ROFUE, on peut en déduire les bilans en agriculture conventionnelle avec la même méthode que précédemment :

$$Z_{i,conv,rofue} = Z_{i,tot,rofue} - Z_{i,bio,rofue}$$

3.6.1.4 Les bilans : Calculs pour les huiles, les tourteaux et le son

3.6.1.4.1 Détermination des coefficients de conversion pour la trituration

Dans le secteur de la trituration de MATSIM-LUCA, il existe un coefficient fixe qui permet de déterminer la quantité d'huile et de tourteau extraite des graines. Nous calculons la valeur de ce coefficient pour chaque graine triturée à partir des données Bilans de MATSIM-DATA et nous l'appliquons aux quantités de graines triturées en conventionnel d'une part et en biologique de l'autre.

Hypothèse : Le coefficient ne varie pas en fonction du système de production (conventionnel ou biologique).

Tableau 45 : Synthèse de la trituration des graines oléagineuses dans MATSIM-LUCA

	Graine	Huile		Tourteau	
	CI trit. (Kt)	Prod. (Kt)	Rdt huile	Prod. (Kt)	Rdt tourt
France :					
Colza	4 417	1 896	0.43	2 471	0.56
Soja	595	111	0.19	439	0.74
Tournesol	1 355	605	0.45	745	0.55
ROFUE :					
Arachide	174	74	0.43	94	0.54
Colza	17 372	6 899	0.40	8 873	0.51
Coprah	3	0	0.13	0	0.07
Palmis	1	0	0.45	0	0.50
Soja	12 215	2 252	0.18	9 599	0.79
Tournesol	5 185	2 142	0.41	2 562	0.49

3.6.1.4.2 Bilans tourteaux et huiles

Pour calculer les bilans des tourteaux et des huiles, on procède comme suit :

$$Prod_{ihuile,syst,r} = Trit_{i,syst,r} * RdtHuile_{i,r}$$

Avec *ihuile* l'ensemble des huiles, *i* l'ensemble des graines oléagineuses, *Trit_{i,syst,r}* la quantité de graine triturée (cf bilans des cultures), *RdtHuile_{i,r}* le coefficient technique entre la graine et l'huile.

$$Prod_{itourt,syst,r} = Trit_{i,syst,r} * RdtTourt_{i,r}$$

Avec *itourt* l'ensemble des tourteaux, *i* l'ensemble des graines oléagineuses, *Trit_{i,syst,r}* la quantité de graine triturée (cf bilans des cultures), *RdtTourt_{i,r}* le coefficient technique entre la graine et le tourteau.

Bilans en agriculture biologique :

On fait plusieurs hypothèses complémentaires :

- Il n'y a pas d'échanges de tourteaux ou d'huiles en bio
- Il n'y a pas d'huiles bio dans l'alimentation animale
- Les huiles biologiques et les tourteaux biologiques ne sont pas utilisés à des fins industrielles.

Ainsi les bilans en bio s'apparentent à :

$$Prod_{ihuile,bio,r} = Food_{ihuile,bio,r}$$

$$Prod_{itourt,bio,r} = Feed_{itourt,bio,r}$$

Les autres postes sont nuls.

Bilans en agriculture conventionnelle :

Une fois les bilans en agriculture biologique établis, on peut en déduire les bilans en agriculture conventionnelles. En effet, on sait que pour tous les postes du bilan, Z :

$$Z_{ihuile,tot,r} = Z_{ihuile,conv,r} + Z_{ihuile,bio,r}$$

$$\text{Et } Z_{itourt,tot,r} = Z_{itourt,conv,r} + Z_{itourt,bio,r}$$

Ainsi :

$$Food_{ihuile,conv,r} = Food_{ihuile,tot,r} - Food_{ihuile,bio,r}$$

$$Feed_{itourt,conv,r} = Feed_{itourt,tot,r} - Feed_{itourt,bio,r}$$

Pour tous les autres postes :

$$B_{ihuile,conv,r} = B_{ihuile,tot,r} \text{ et } B_{itourt,conv,r} = B_{itourt,tot,r}$$

3.6.1.4.3 Bilans pour le son

Le son correspond dans notre modèle aux résidus de transformation des céréales et des protéagineux pour l'alimentation humaine. Il s'agit d'un agrégat constitué de sons, d'issues, de remoulages, de farines basses ou de refus qui peuvent être réutilisés en alimentation animale.

A partir des données de production de son de FAOSTAT et des demandes alimentaires des produits concernés, nous obtenons dans les données de MATIM-LUCA des coefficients techniques de 0.25 en France et de 0.23 dans le ROFUE.

Hypothèse : Le coefficient de production du son relatif aux demandes alimentaires de céréales et de graines protéagineuses ne varie pas en fonction du système de production.

$$Prod_{son,syst,fr} = (Food_{icéré,syst,fr} + Food_{iprot,syst,fr}) * 0.25$$

$$Prod_{son,syst,rofue} = (Food_{icéré,syst,rofue} + Food_{iprot,syst,rofue}) * 0.23$$

Avec *icéré* l'ensemble blé, orge, maïs, cerdi, riz et *iprot* l'ensemble pois et pulses

Bilans en agriculture biologique :

On fait les mêmes hypothèses complémentaires que précédemment :

- Il n'y a pas d'échanges de son en bio
- Le son biologique n'est pas utilisé à des fins industrielles

Ainsi les bilans en bio s'apparentent à :

$$Prod_{son,bio,r} = Feed_{son,bio,r}$$

Les autres postes sont nuls.

Bilans en agriculture conventionnelle :

Une fois les bilans en agriculture biologique établis, on peut en déduire les bilans en agriculture conventionnelles. Ainsi :

$$Feed_{son,conv,r} = Feed_{son,tot,r} - Feed_{son,bio,r}$$

Pour tous les autres postes :

$$Z_{son,conv,r} = Z_{son,tot,r}$$

3.6.1.5 Bilans d'approvisionnement des produits végétaux : Données finales

3.6.1.5.1 Bilans des cultures

Tableau 46 : Bilans cultures Matsim_B pour la France (en KT), année 2011-2013

Produit	Syt	Prod	Balance	Feed	Food	Trit	Indus.	Biocarb.	Autres	Var Stocks
BET_SUC	conv	35 136	1				29 006	2 741	3 388	
BLE	conv	37 984	18 768	7 457	6 585			1 120	4 436	-382
BLE	bio	319	-164	119	322			0	20	22
CAN_SUC	conv		-0						0	
CERDI	conv	3 213	148	2 912	104				64	-15
CERDI	bio	184	-22	169	7				20	11
FIBCOTON	conv		-14		15					-0
FRUITS	conv	7 928	-5 117		5 963		6 645		437	
FRUITS	bio	594	-625		1 201		0		18	
GARACHI	conv		-67		67					0
GCOLZA	conv	5 076	795	27	3	4 394			7	-151
GCOLZA	bio	5	-20	0	0	23			0	1
GCOPRAH	conv		-24		23				1	
GPALMIS	conv		-0							0
GSOJA	conv	90	-578	90	0	579			2	-3
GSOJA	bio	22	-10	9	3	16			1	3
GTOURNE	conv	1 651	100	165		1 312			68	5
GTOURNE	bio	28	-12	1		42			1	-5
MAIS	conv	15 391	5 877	5 423	719			444	1 807	1 121
MAIS	bio	128	-25	128	6			0	9	11
ORGE	conv	10 061	6 762	2 973	39				406	-118
ORGE	bio	85	-23	82	9				14	3
POIS	conv	484	286	173	20				11	-7
POIS	bio	93	-3	69	10				10	7
PULSES	conv	278	156	27	86				9	-0
PULSES	bio	53	-1	45	5				4	0
RIZ	conv	70	-378	97	321				5	27
RIZ	bio	4	-14	0	17				0	0
STARCHY_ROOTS	conv	6 842	881	393	3 373		400		1 636	159
STARCHY_ROOTS	bio	70	-3	0	71		0		2	0
VEGETABLE	conv	5 166	-1 840	85	5 964				970	-13
VEGETABLE	bio	274	-60	0	325				8	0

Tableau 47 : Bilans cultures Matsim_B pour le ROFUE (en KT), année 2011-2013

Produit	Syt	Prod	Balance	Feed	Food	Trit	Indus.	Biocarb.	Autres	Var Stocks
BET_SUC	conv	80 160	138	257			79 851	6 730		-6 815
BET_SUC	bio	172	0	0			172	0		0
BLE	conv	98 976	-687	39 958	43 869			2 071	12 236	-3 130
BLE	bio	1 906	164	709	1 925			0	122	-1 014
CAN_SUC	conv	6	-1	0	0				6	0
CERDI	conv	27 492	-421	19 842	4 103			1 096	2 272	599
CERDI	bio	1 811	22	1 657	71			0	194	-133
FIBCOTON	conv	340	161		182					-3
FRUITS	conv	48 261	-12 522	124	37 349		16 233		3 218	3 860
FRUITS	bio	3 235	625	0	6 544		0		97	-4 031
GARACHI	conv	7	-541	0	371	174			4	-1
GCOLZA	conv	14 685	-4 289	709	79	17 036			390	759
GCOLZA	bio	78	20	4	4	336			7	-293
GCOPRAH	conv		-312	0	310	3			1	-2
GPALMIS	conv		-2	0		1				1
GSOJA	conv	867	-11 715	565	92	12 187			124	-387
GSOJA	bio	49	10	21	7	28			9	-27
GTOURNE	conv	6 402	361	487	82	5 048			254	170
GTOURNE	bio	91	12	3	1	137			4	-65
MAIS	conv	48 285	-11 721	46 789	3 053			3 415	6 087	661
MAIS	bio	401	25	399	18			0	28	-70
ORGE	conv	44 494	1 423	31 059	506			529	10 690	287
ORGE	bio	745	23	720	79			0	124	-201
POIS	conv	708	-394	595	417				104	-14
POIS	bio	98	3	69	7				17	1
PULSES	conv	1 220	-508	786	807				142	-7
PULSES	bio	168	1	137	11				24	-5

3.6.1.5.2 Bilans des huiles, tourteaux et son

Tableau 48 : Bilans des huiles, tourteaux et son dans Matsim_B pour la France (en KT), année 2011-2013

Produit	Syt	Prod	Balance	Feed	Food	Trit	Indus.	Biocarb.	Autres	Var Stocks
HARACHI	conv		-16		16					
HCOLZA	conv	1 887	124		187			1 576	0	0
HCOLZA	bio	10	0		10			0	0	0
HCOPRAH	conv		-138		115				23	
HPALME	conv		-388		30			349	64	-55
HPALMIS	conv		-29		20				8	
HSOJA	conv	108	-171		252				0	27
HSOJA	bio	3	0		3				0	0
HTOURNE	conv	586	242		371				0	-27
HTOURNE	bio	19	0		19				0	0
TARACHI	conv		-27	27					0	
TCOLZA	conv	2 458	-69	2 527					0	
TCOLZA	bio	13	0	13					0	
TCOPRAH	conv		-1	1						0
TPALMIS	conv		-76	76						0
TSOJA	conv	427	-3 139	3 567					0	
TSOJA	bio	12	0	12					0	
TTOURNE	conv	721	-531	1 253						
TTOURNE	bio	23	0	23						
SON	conv	1 968	519	1 491					0	-42
SON	bio	94	0	94					0	0

Tableau 49 : Bilans des huiles, tourteaux et son dans Matsim_B pour le ROFUE (en KT), année 2011-2013

Produit	Syst	Prod	Balance	Feed	Food	Trit	Indus.	Biocarb.	Autres	Var Stocks
HARACHI	conv	74	-46	116				2	2	
HCOLZA	conv	6 766	543	717	1 540			4 224		-259
HCOLZA	bio	133	0	0	133			0		0
HCOPRAH	conv	0	-454		137				322	-5
HPALME	conv		-6 062		926			1 151	3 912	74
HPALMIS	conv	0	-669		39				631	0
HSOJA	conv	2 247	612	15	1 602			600		-582
HSOJA	bio	5	0	0	5			0		0
HTOURNE	conv	2 086	-818		2 001			3	973	-74
HTOURNE	bio	57	0		57			0	0	0
TARACHI	conv	94	2	94					0	-1
TCOLZA	conv	8 702	265	8 522					0	-85
TCOLZA	bio	171	0	171					0	0
TCOPRAH	conv	0	-21	22					0	0
TPALMIS	conv	0	-2 766	2 767					0	0
TSOJA	conv	9 577	-14 865	24 165					277	0
TSOJA	bio	22	0	22					0	0
TTOURNE	conv	2 495	-2 507	4 871					0	131
TTOURNE	bio	68	0	68					0	0
SON	conv	12 592	80	12 750					5	-243
SON	bio	534	0	5					0	0

Les données sur l'éthanol, le biodiesel, les DDGS et la pulpe de betterave ne sont pas retranscrites ici. Comme il n'y a pas de bio, les valeurs en conventionnel sont identiques aux valeurs initiales de celles de MATSIM-LUCA.

3.6.2 Bilans d'approvisionnement du secteur animal

3.6.2.1 Bilans d'approvisionnement des produits animaux : Calculs

Nous n'avons pas trouvé de données sur les bilans de produits animaux bio. Seules les données de l'AgenceBio 2018 (cf. Annexe 6.3) indiquent qu'il y a très peu d'échanges sur les catégories de produits animaux couverts par le modèle.

Bilans en agriculture conventionnelle :

Nous faisons donc l'hypothèse qu'il n'y a pas d'échanges de produits animaux bio et que l'ensemble de la production est consommé localement en alimentation humaine.

Les bilans bio des produits animaux s'apparentent ainsi à :

$$Prod_{iani,bio,r} = Food_{iani,bio,r}$$

Les autres postes sont nuls.

Bilans en agriculture conventionnelle :

Une fois les bilans en agriculture biologique établis, on peut en déduire les bilans en agriculture conventionnelles. Ainsi :

$$Food_{iani,conv,r} = Food_{iani,tot,r} - Food_{iani,bio,r}$$

Pour tous les autres postes Z:

$$Z_{iani,conv,r} = Z_{iani,tot,r}$$

3.6.2.2 Bilans d'approvisionnement des produits animaux : Données finales

Tableau 50 : Bilans des produits animaux dans Matsim_B pour la France (en KT), année 2011-2013

Produit	Syst	prod	balance	food	Autres	Var Stocks
BOVILAIT	conv	24.22	7.02	14.67	2.48	0.05
BOVILAIT	bio	0.70		0.70		
BOVIVIANDE	conv	1.45	-0.10	1.55		0.00
BOVIVIANDE	bio	0.04		0.04		
OVINCAPRIN	conv	0.12	-0.10	0.20	0.01	
OVINCAPRIN	bio	0.01		0.01		
PORCIN	conv	2.14	0.04	2.11	0.00	
PORCIN	bio	0.03		0.03		
VOLAILLE	conv	2.57	0.15	2.25	0.17	
VOLAILLE	bio	0.07		0.07		

Tableau 51: Bilans des produits animaux dans Matsim_B pour le ROFUE (en KT), année 2011-2013

Produit	Syst	prod	balance	food	Autres	Var Stocks
BOVILAIT	conv	126.93	9.00	100.47	17.30	0.16
BOVILAIT	bio	3.57		3.57		
BOVIVIANDE	conv	5.91	0.07	5.86	0.00	-0.02
BOVIVIANDE	bio	0.30		0.30		
OVINCAPRIN	conv	0.82	-0.03	0.84	0.01	
OVINCAPRIN	bio	0.03		0.03		
PORCIN	conv	20.46	2.51	17.70	0.23	0.02
PORCIN	bio	0.10		0.10		
VOLAILLE	conv	16.36	0.76	14.66	0.95	-0.01
VOLAILLE	bio	0.38		0.38		

3.7 Les prix, recettes et marges

3.7.1 Les prix des produits agricoles en bref :

Pour chacun des produits du modèle nous distinguons deux types de marchés : un marché pour les produits biologiques et un marché pour les produits conventionnels.

Les produits conventionnels sont des produits standards équivalent, sous nos hypothèses, à ceux produits par les autres pays du monde disponibles sur le marché mondial.

Sur les marchés français et du ROFUE, les prix intérieurs des produits conventionnels sont donc égaux aux prix mondiaux, excepté lorsqu'il existe des politiques commerciales qui créent un écart entre prix intérieurs et prix mondiaux (droit de douane à l'importation ou subvention à l'exportation par exemple). Ces prix intérieurs sont les prix perçus par les consommateurs finaux, par les transformateurs ou par les éleveurs pour les achats d'aliments du bétail et par les producteurs. Selon les acteurs, ces prix intérieurs peuvent être augmentés de taxes ou diminués de subvention selon la politique (agricole en particulier) en vigueur.

Dans le modèle, les produits biologiques ne sont présents qu'en France et dans le ROFUE et ne s'échangent qu'entre ces deux régions. Il existe donc un marché européen des produits biologiques, mais il n'existe pas de marché mondial pour les produits biologiques. Comme il n'y a pas de barrières aux échanges entre la France et le ROFUE, le prix des produits bio est identique entre les deux régions. Comme dans le cas du conventionnel, les prix des produits bio sont donc perçus par les différents acteurs et peuvent également bénéficier de subventions ou de taxes spécifiques.

L'enjeu ici est donc de déterminer pour les différents produits le différentiel de prix entre les produits bio et conventionnels, en Europe.

3.7.2 Les prix des produits végétaux

3.7.2.1 Les prix des produits végétaux : Données mobilisables

Les sources identifiées sont les suivantes :

- Prix des produits dans MATSIM-LUCA
- Données INOSYS : typologie réalisée par les chambres d'agriculture, permettant de calculer les résultats économiques d'exploitations-types (cas-types en agriculture bio et en agriculture conventionnelle)³¹
- Données de Sanders et al. (2020)³² issues des comptes de l'agriculture en Allemagne
- FranceAgriMer relève les prix pour certains produits, en conventionnel et en bio
- La dépêche : prix aux producteurs
- Kantar : prix des produits transformés ou des produits au détail

Sinon, il s'agit davantage de rapports/études qui comparent les résultats économiques des deux systèmes, tels que :

- le rapport Ecophyto R&D (2009)
- INSEE Références (2017), Dossier, Les exploitations en agriculture biologique : quelles performances économiques ?
- INRAE, 2013, Vers des agricultures hautes performances : revue de littérature et analyse des données des Pratiques Culturelles 2006, RICA, base de données comptable Cogedis-Fideor
- Références d'études communiquées par Natacha Sautereau de l'ITAB

L'ensemble des documents collectés est disponible auprès des auteurs.

3.7.2.2 Les prix des produits végétaux : Méthodologie

Prix en agriculture conventionnelle

Nous considérons que les prix initiaux en agriculture conventionnelle sont les mêmes que ceux de l'agriculture totale dans MATSIM-LUCA. Il s'agit des prix des années calendaires disponible dans les annuaires OilWorld ou bien dans les perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO. Des sources de données qui ne prennent pas en compte l'agriculture biologique.

$$Prix0_{i,conv,r} = Prix0_{i,tot;r}$$

Prix en agriculture biologique

La revue des sources disponibles pour identifier le différentiel de prix entre bio et conventionnel révèle de grandes variations. Elles sont largement incomplètes et hétérogènes. Quelques exemples pour illustrer le rapport prix bio/prix du conventionnel :

- Il varie de 1.56 pour le tournesol à 2.23 pour le blé tendre en 2017-2018 d'après les données INOSYS (peu d'observations),

³¹ Documents disponibles auprès des auteurs, Dossier INOSYS

³² Communication personnelle, Dossier Thünen

- Il est de 0.99 pour les « autres céréales » à 1.56 pour les pommes de terre en 2006-2007 dans le rapport Ecohyphyto R&D 2009,
- de 1.42 pour le tournesol à 2.22 pour le blé tendre entre 2012 et 2016 selon FranceAgriMer,
- de 1.76 pour l'orge à 3.21 pour les pommes de terres entre 2011 et 2014 pour les données des comptes de l'agriculture allemand.

La difficulté consiste à trouver deux jeux de données, l'un sur les prix des produits conventionnels et l'autre sur les prix des produits biologiques, qui soient comparables (i.e. mêmes cultures, mêmes années, mêmes étapes dans la chaîne de valeur).

De plus, les prix aux producteurs, que ce soit en agriculture biologique ou en agriculture conventionnelle, varient d'une année sur l'autre, d'une région à l'autre, d'une coopérative à l'autre, voire d'une exploitation à l'autre.

Nous ne sommes pas parvenus à assembler une base de données suffisamment complète. Néanmoins, cette recherche documentaire nous permet de formuler une hypothèse sur les prix initiaux en agriculture biologique.

Hypothèse : Après avoir parcouru les différentes sources de données accessibles, il semble que les prix des produits biologiques sont, en moyenne, supérieurs de 50% aux prix des produits conventionnels.

$$Prix0_{i,bio,r} = Prix0_{i,conv,r} * 1.5$$

Il s'agit des prix initiaux. Dans le modèle, ce rapport pourra varier en simulation. Cette hypothèse vaut pour les prix des cultures de MATSIM_B.

Nous considérons cet écart de prix pour tous les produits végétaux, bruts ou transformés (sucre, huile, tourteau) du modèle.

3.7.3 Les prix des produits animaux

3.7.3.1 Les prix des produits animaux : Données mobilisables

Nous avons parcouru l'ensemble des rapports, études, documents traitant de la question des prix ou des résultats technico-économiques des exploitations en agriculture biologique. Ils sont majoritairement issus des différents instituts techniques (IDELE, ITAB, ITAVI, IFIP), des centres de gestion (CER) ou des syndicats ou chambres d'agriculture. Nous avons également rassemblé les données du dispositif INOSYS³³.

3.7.3.2 Les prix des produits animaux : Méthodologie

Prix en agriculture conventionnelle

Comme pour le secteur végétal, nous considérons que les prix initiaux en agriculture conventionnelle sont les mêmes que ceux de l'agriculture totale dans MATSIM-LUCA :

$$Prix0_{i,ani,conv,r} = Prix0_{i,ani,tot;r}$$

³³ Documents disponibles auprès des auteurs

Prix en agriculture biologique

Nous avons cherché des informations pour pouvoir faire une hypothèse sur le rapport des prix entre les produits animaux biologiques et les produits animaux conventionnels. Les données ont une portée très limitée (variant en fonction des années, des régions, des qualités des produits, des étapes dans la chaîne de valeur, etc.). Et les résultats varient significativement d'une source à l'autre.

Les informations suivantes ont pu être collectées sur les rapports de prix (prix bio/prix conv) pour différents produits animaux.

Pour le lait :

- En bio, les prix sont de **8 à 36%** plus élevés en Europe à la fin des années 1990 d'après Economic performance of organic farms in Europe, (Offermann and Nieberg 2000)
- En moyenne, en France, entre 2013 et 2016, le lait bio de plaine se vend **24%** plus cher que le lait conventionnel ; pour le lait bio de montagne, la différence est de **13%**, d'après les données du réseau INOSYS
- En moyenne en France en 2013, le prix du lait bio était **18%** plus élevé que le prix du lait conventionnel. Entre 2014 et 2016, le prix du lait en conventionnel a baissé, donc l'écart s'est creusé. Information issues de INSEE Référence (2017).
- Dans un échantillon d'exploitations du Nord-Est de la France, entre 2006 et 2016, le prix du lait bio est en moyenne **29%** plus cher que le prix du conventionnel, d'après CERFrance
- Dans un autre échantillon d'exploitations du CERFrance, entre 2009 et 2016, cet écart est de **32%**.
- En Allemagne, entre 2011 et 2014, cet écart est de **21%** d'après les données de Sanders (Thünen)
- En Suisse, en 2015-2016, cet écart est de **28%**.

Pour la viande :

- En bio, les prix de la viande de bœuf sont environ **30%** plus élevés, pour la viande porcine de **20 à 70%** plus élevés, en Europe à la fin des années 1990 d'après Offermann and Nieberg (2000)
- En moyenne, en France, entre 2013 et 2016, la viande bovine (chez les naisseurs et/ou engraisseurs) se vend **25%** plus chère que la viande conventionnelle, d'après les données du réseau INOSYS.
- En moyenne, en France, entre 2005 et 2017, le prix du kg carcasse de viande bovine bio est supérieur de **11%** au prix conventionnel, d'après Cézallier Bio.
- En moyenne en France en 2017, le kg de poules de réforme en bio est **57%** plus élevé que le kg de poules de réforme de catégorie 3. Information issue d'ITAVI.
- Dans un échantillon d'exploitations de PACA, en 2015, le prix de la viande d'agneaux est en moyenne **12%** plus chère que le prix de la viande d'agneaux conventionnels, d'après INOSYS.
- D'après les producteurs du réseau FNAB, le prix départ ferme du porc charcutier se situe entre 3,50 et 3,70€ par kilo de carcasse fin 2016, ce qui représente quasiment **2.5 fois** le prix du porc conventionnel, et bénéficie d'une stabilité depuis 1999. D'après le site FNAB Produire-Bio.
- Dans un échantillon d'exploitations des régions Auvergne, Bourgogne, Centre et Limousin, en 2011, le prix de la carcasse de porcs en bio est en moyenne **2.28 fois** plus élevé qu'en conventionnel d'après Bio Centre.

Pour les œufs :

- D'après les données du Réseau des Nouvelles des Marchés de FranceAgriMer, la boîte de 6 œufs biologiques en grande surface est en moyenne plus chère de **75%** par rapport aux œufs conventionnels classiques, entre 2010 et 2021.
- En Suisse, en 2011 et 2020, l'écart entre œufs bio et œufs de poules élevées en plein air est de **82%**, il est de 89% avec les œufs de poules élevées au sol.

Cette recherche documentaire nous permet de formuler une hypothèse sur les prix initiaux des produits animaux en agriculture biologique.

Après avoir parcouru les différentes sources de données accessibles, il semble que les prix des produits animaux biologiques sont, en moyenne, supérieurs aux prix des produits conventionnels. L'écart dépend du produit considéré :

$$Prix0_{lait,bio,r} = Prix0_{lait,conv,r} * 1.25$$

$$Prix0_{boviviande,bio,r} = Prix0_{boviviande,conv,r} * 1.25$$

$$Prix0_{ovincaprin,bio,r} = Prix0_{ovincaprin,conv,r} * 1.15$$

$$Prix0_{porcin,bio,r} = Prix0_{porcin,conv,r} * 2$$

$$Prix0_{volaille,bio,r} = Prix0_{volaille,conv,r} * 1.6$$

NB : Pour le calibrage et les simulations réalisées en section 4 et 0, ainsi que pour les prix du Tableau 53, ces écarts de prix entre produit animaux biologiques et produits animaux conventionnels n'ont pas été intégrés. Comme pour les produits végétaux, un différentiel de 1.5 a été utilisé.

3.7.1 Le prix des produits agricoles : Données finales

Tableau 52 : Prix des produits végétaux dans MATSIM_B (USD/T)

	FR conv Prix \$/T	FR conv Prix €/T	FR bio Prix \$/T	FR bio Prix €/T	ROFUE conv Prix \$/T	ROFUE conv Prix €/T	ROFUE bio Prix \$/T	ROFUE bio Prix €/T
BLE	296.92	222.77	445.4	334.16	296.92	222.77	445.4	334.16
MAIS	285.00	213.83	427.5	320.74	285.00	213.83	427.5	320.74
ORGE	271.67	203.82	407.5	305.74	271.67	203.82	407.5	305.74
RIZ	557.53	418.30	836.3	627.45	557.53	418.30	836.3	627.45
CERDI	254.33	190.82	381.5	286.23	254.33	190.82	381.5	286.23
POIS	297.33	223.08	446.0	334.62	297.33	223.08	446.0	334.62
PULSES	692.00	519.19	1038.0	778.78	692.00	519.19	1038.0	778.78
FRUITS	948.59	711.70	1422.9	1067.55	948.59	711.70	1422.9	1067.55
VEGETABLE	796.00	597.21	1194.0	895.82	796.00	597.21	1194.0	895.82
STARCHY_ROOTS	315.00	236.33	472.5	354.50	315.00	236.33	472.5	354.50
GCOLZA	607.06	455.46	910.6	683.18	607.06	455.46	910.6	683.18

GSOJA	556.71	417.68	835.1	626.52	556.71	417.68	835.1	626.52
GTOURNE	595.72	446.95	893.6	670.42	595.72	446.95	893.6	670.42
GCOPRAH	125.17	93.91	187.8	140.86	125.17	93.91	187.8	140.86
GARACHI	538.00	403.64	807.0	605.47	538.00	403.64	807.0	605.47
BET_SUC	48.20	36.16	72.3	54.24	58.07	43.57	87.1	65.35
CAN_SUC					38.33	28.76	57.5	43.14

Tableau 53 : Prix des produits animaux dans MATSIM_B (USD/T)

	FR CONV	ROFUE CONV	FR BIO	ROFUE BIO
BOVILAIT	515.74	515.74	644.68	644.68
BOVIVIANDE	5847.57	5847.57	7309.46	7309.46
OVINCAPRIN	4800.91	4800.91	5521.04	5521.04
PORCIN	1960.90	1960.90	3921.79	3921.79
VOLAILLE	2276.31	2276.31	3642.09	3642.09

4 Calibrage du modèle

Le calibrage d'un modèle consiste à initialiser les valeurs des différents paramètres de ses équations : paramètres des technologies de production, paramètres des fonctions d'offre de facteurs et intrants de production, paramètres des fonctions d'utilité des consommateurs représentatifs. Le principe du calibrage est d'utiliser la base de données de référence du modèle, i.e., les valeurs initiales de toutes les variables (ici les valeurs moyennes sur les années 2011-2013 de toutes les surfaces, quantités et prix du modèle, présentées dans la section 3 précédente) et « d'inverser » le modèle de sorte à déduire le jeu de paramètres. La plupart du temps, le nombre d'équations n'est pas suffisant pour déduire l'ensemble des paramètres et il est nécessaire de pré-attribuer une valeur à quelques paramètres (le plus souvent sur la base d'une revue de la littérature) pour être en mesure de calculer l'ensemble des autres paramètres.

L'avantage des spécifications CES et CET est qu'elles sont parcimonieuses en termes de nombre de paramètres pour lesquels il est nécessaire de pré-attribuer une valeur. Avec ces spécifications en effet, il suffit de donner une valeur à l'élasticité de substitution ou à l'élasticité de transformation pour pouvoir calculer, sur la base des données de référence, l'ensemble des autres paramètres. Dans notre cas, nous utilisons des CES et des CET emboîtées et nous devons par conséquent donner une valeur aux élasticités de substitution et de transformation de chaque nid.

Le calibrage de MATSIM-LUCA est décrit en détails dans Levert et al. (2017) et n'est pas repris ici.

Dans ce qui suit, nous présentons les marges des différents secteurs de production, calculées pour la période de référence 2011-2013, comme une autre façon d'analyser et de discuter les données initiales de calibrage. Puis, nous rapportons les valeurs pré-attribuées aux élasticités de substitution et de transformation.

4.1 Les marges dans les secteurs de la production végétale

L'attribution des valeurs initiales aux différentes variables du modèle est précisément l'objet de la section 0 précédente. Dans cette section, il manque néanmoins le détail sur la manière d'attribuer une valeur initiale à la quantité et au prix de l'agrégat autres facteurs et intrants de production (constitué du capital, dont matériel, animaux et bâtiments, du travail non-salarié, des autres intrants variables, dont énergie).

Nous commençons par expliquer le calcul des valeurs de référence pour la quantité et le prix de cet agrégat. Puis nous exposons l'ensemble des marges par produit des secteurs de production végétale.

C'est l'hypothèse de profit nul qui nous permet de déduire la quantité de l'agrégat autres facteurs et intrants de production dans chaque secteur de production j , pour chaque système de production s ($X_{B_{j,s,r}}$). Sous cette hypothèse de profit nul, cette quantité d'autres facteurs et intrants s'écrit :

$$X_{B_{j,s,r}} = \left(\frac{\sum_i \left((PB_{B_{i,s,r}} + \overline{SUBO}_{i,r}) * YS_{B_{i,j,s,r}} \right) - L_{B_{j,s,r}} * PL_{B_{j,s,r}}}{-Nmin_{B_{j,s,r}} * PNmin_{B_r} - Nor_{g_{B_{j,s,r}}} * PNorg_{B_r} - Phy_{B_{j,s,r}} * PPhy_{B_r} + W_{B_{j,s,r}} * PW_{B_r}} \right) \Bigg/ PX_{B_{j,s,r}}$$

Avec le premier terme du numérateur la recette du secteur j en système s , le deuxième terme le coût de la terre, les troisième et quatrième termes les coûts en engrais, respectivement, minéral et organique, le cinquième terme le coût des produits phytosanitaires, le dernier terme le coût du travail salarié.

Pour le calibrage, nous normalisons le prix de l'agrégat autres facteurs et intrants ($PX_{B_{j,s,r}}$) à 100 pour tous les secteurs j , systèmes de production s , région r . Les valeurs initiales des recettes et coûts ci-dessus permettent alors de déterminer la valeur de référence de $X_{B_{j,s,r}}$. Les recettes et coûts de référence pour chaque secteur de production végétale, en système bio et conventionnel, pour la France et le ROFUE sont rapportés dans les tableaux, respectivement 55 et 56.

Tableau 54 : Recettes et coûts des secteurs de la production végétale pour la France dans MATSIM_B (2011-2013)

Secteur	système	Recettes (€/ha)	Coûts (€/ha)					X
			Terre	Nmin	Norga	Phyto	Travail	
ABLE	conv	2 078	200	115	33	115	27	1 588
ABLE	bio	2 519	200		119		37	2 162
AMAIS	conv	2 578	150	152	33	76	27	2 140
AMAIS	bio	3 124	150		149		37	2 788
AORGE	conv	1 703	150	72	33	87	27	1 335
AORGE	bio	2 064	150		85		37	1 793
ARIZ	conv	1 992	830	103	28	71	27	932
ARIZ	bio	2 411	830		106		37	1 438
ACERDI	conv	1 540	150	78	28	71	27	1 186
ACERDI	bio	1 866	150		86		37	1 594
APOIS	conv	1 182	172	50	23	187	27	723
APOIS	bio	1 432	172		59		37	1 165
APULSES	conv	2 473	172	50	23	159	27	2 042
APULSES	bio	2 998	172		59		37	2 730
AFRUITES	conv	9 323	923	57	28	511	2 111	5 693
AFRUITES	bio	11 300	923		69		2 157	8 151
AVEGETABLE	conv	18 093	923	53	30	313	2 111	14 662
AVEGETABLE	bio	21 928	923		67		2 157	18 781
ASTARCHY_ROOTS	conv	13 810	220	37	33	423	140	12 957
ASTARCHY_ROOTS	bio	16 738	220		57		151	16 310
AGCOLZA	conv	2 012	172	87	34	176	27	1 517
AGCOLZA	bio	2 439	172		97		37	2 132
AGSOJA	conv	1 609	172	46	21	114	27	1 229
AGSOJA	bio	1 950	172		54		37	1 687
AGTOURNE	conv	1 374	172	89	32	75	27	979
AGTOURNE	bio	1 666	172		98		37	1 359
ABET_SUC	conv	4 319	222	101	34	217	140	3 605

Secteur	système	Recettes (€/ha)	Coûts (%)					X
			Terre	Nmin	Norga	Phyto	Travail	
ABLE	conv	2 078	9.6%	5.5%	1.6%	5.5%	1.3%	76.4%
ABLE	bio	2 519	7.9%	0.0%	4.7%	0.0%	1.5%	85.8%
AMAIS	conv	2 578	5.8%	5.9%	1.3%	3.0%	1.1%	83.0%
AMAIS	bio	3 124	4.8%	0.0%	4.8%	0.0%	1.2%	89.2%
AORGE	conv	1 703	8.8%	4.2%	1.9%	5.1%	1.6%	78.4%
AORGE	bio	2 064	7.2%	0.0%	4.1%	0.0%	1.8%	86.8%
ARIZ	conv	1 992	41.7%	5.2%	1.4%	3.6%	1.4%	46.8%
ARIZ	bio	2 411	34.4%	0.0%	4.4%	0.0%	1.5%	59.6%
ACERDI	conv	1 540	9.7%	5.1%	1.8%	4.6%	1.8%	77.0%
ACERDI	bio	1 866	8.0%	0.0%	4.6%	0.0%	2.0%	85.4%
APOIS	conv	1 182	14.5%	4.2%	1.9%	15.8%	2.3%	61.2%
APOIS	bio	1 432	12.0%	0.0%	4.1%	0.0%	2.6%	81.3%
APULSES	conv	2 473	6.9%	2.0%	0.9%	6.4%	1.1%	82.6%
APULSES	bio	2 998	5.7%	0.0%	2.0%	0.0%	1.2%	91.1%
AFRUITES	conv	9 323	9.9%	0.6%	0.3%	5.5%	22.6%	61.1%
AFRUITES	bio	11 300	8.2%	0.0%	0.6%	0.0%	19.1%	72.1%
AVEGETABLE	conv	18 093	5.1%	0.3%	0.2%	1.7%	11.7%	81.0%
AVEGETABLE	bio	21 928	4.2%	0.0%	0.3%	0.0%	9.8%	85.6%
ASTARCHY_ROOTS	conv	13 810	1.6%	0.3%	0.2%	3.1%	1.0%	93.8%
ASTARCHY_ROOTS	bio	16 738	1.3%	0.0%	0.3%	0.0%	0.9%	97.4%
AGCOLZA	conv	2 012	8.5%	4.3%	1.7%	8.7%	1.4%	75.4%
AGCOLZA	bio	2 439	7.0%	0.0%	4.0%	0.0%	1.5%	87.4%
AGSOJA	conv	1 609	10.7%	2.9%	1.3%	7.1%	1.7%	76.3%
AGSOJA	bio	1 950	8.8%	0.0%	2.8%	0.0%	1.9%	86.5%
AGTOURNE	conv	1 374	12.5%	6.5%	2.3%	5.5%	2.0%	71.2%
AGTOURNE	bio	1 666	10.3%	0.0%	5.9%	0.0%	2.2%	81.6%
ABET_SUC	conv	4 319	5.1%	2.3%	0.8%	5.0%	3.2%	83.5%

Tableau 55 : Recettes et coûts des secteurs de la production végétale pour la zone ROFUE dans MATSIM_B (2011-2013)

Secteur	système	Recettes (€/ha)	Coûts (€/ha)					X
			Terre	Nmin	Norga	Phyto	Travail	
ABLE	conv	1 472	252	135	34	57	51	943
ABLE	bio	1 784	252		137		69	1 327
AMAIS	conv	1 822	203	118	24	33	51	1 393
AMAIS	bio	2 208	203		115		69	1 822
AORGE	conv	1 163	203	87	36	42	51	744
AORGE	bio	1 410	203		99		69	1 039
ARIZ	conv	2 539	822	89	29	67	51	1 480
ARIZ	bio	3 074	822		95		69	2 088
ACERDI	conv	1 047	203	101	24	31	51	638
ACERDI	bio	1 270	203		101		69	898
APOIS	conv	600	178	48	23	89	51	212
APOIS	bio	727	178		57		69	423
APULSES	conv	1 242	178	56	30	86	51	841
APULSES	bio	1 506	178		70		69	1 189
AFRUIT	conv	10 169	1 434	58	26	367	646	7 639
AFRUIT	bio	12 325	1 434		68		740	10 083
AVEGETABLE	conv	23 281	1 434	58	41	230	646	20 872
AVEGETABLE	bio	28 216	1 434		80		740	25 963
ASTARCHY_ROOTS	conv	9 385	297	50	58	266	156	8 557
ASTARCHY_ROOTS	bio	11 374	297		88		197	10 792
AGCOLZA	conv	1 792	178	112	37	76	51	1 338
AGCOLZA	bio	2 172	178		121		69	1 805
AGSOJA	conv	1 446	178	26	28	84	51	1 080
AGSOJA	bio	1 753	178		43		69	1 463
AGTOURNE	conv	1 064	178	71	16	23	51	724
AGTOURNE	bio	1 290	178		71		69	972
AGARACHI	conv	353	178	73	9	14	51	28
ABET_SUC	conv	3 814	523	148	60	141	156	2 785
ABET_SUC	bio	4 622	523		169		197	3 734

Secteur	système	Recettes (€/ha)	Coûts (%)					X
			Terre	Nmin	Norga	Phyto	Travail	
ABLE	conv	1 472	17.1%	9.2%	2.3%	3.9%	3.5%	64.0%
ABLE	bio	1 784	14.1%	0.0%	7.7%	0.0%	3.8%	74.4%
AMAIS	conv	1 822	11.1%	6.5%	1.3%	1.8%	2.8%	76.5%
AMAIS	bio	2 208	9.2%	0.0%	5.2%	0.0%	3.1%	82.5%
AORGE	conv	1 163	17.4%	7.5%	3.1%	3.6%	4.4%	64.0%
AORGE	bio	1 410	14.4%	0.0%	7.1%	0.0%	4.9%	73.7%
ARIZ	conv	2 539	32.4%	3.5%	1.2%	2.6%	2.0%	58.3%
ARIZ	bio	3 074	26.7%	0.0%	3.1%	0.0%	2.2%	67.9%
ACERDI	conv	1 047	19.4%	9.6%	2.3%	3.0%	4.9%	60.9%
ACERDI	bio	1 270	16.0%	0.0%	7.9%	0.0%	5.4%	70.7%
APOIS	conv	600	29.7%	8.0%	3.8%	14.8%	8.5%	35.3%
APOIS	bio	727	24.5%	0.0%	7.9%	0.0%	9.4%	58.2%
APULSES	conv	1 242	14.3%	4.5%	2.4%	6.9%	4.1%	67.7%
APULSES	bio	1 506	11.8%	0.0%	4.6%	0.0%	4.6%	79.0%
AFRUIT	conv	10 169	14.1%	0.6%	0.3%	3.6%	6.4%	75.1%
AFRUIT	bio	12 325	11.6%	0.0%	0.5%	0.0%	6.0%	81.8%
AVEGETABLE	conv	23 281	6.2%	0.2%	0.2%	1.0%	2.8%	89.7%
AVEGETABLE	bio	28 216	5.1%	0.0%	0.3%	0.0%	2.6%	92.0%
ASTARCHY_ROOTS	conv	9 385	3.2%	0.5%	0.6%	2.8%	1.7%	91.2%
ASTARCHY_ROOTS	bio	11 374	2.6%	0.0%	0.8%	0.0%	1.7%	94.9%
AGCOLZA	conv	1 792	9.9%	6.3%	2.1%	4.2%	2.8%	74.7%
AGCOLZA	bio	2 172	8.2%	0.0%	5.5%	0.0%	3.2%	83.1%
AGSOJA	conv	1 446	12.3%	1.8%	1.9%	5.8%	3.5%	74.6%
AGSOJA	bio	1 753	10.2%	0.0%	2.5%	0.0%	3.9%	83.4%
AGTOURNE	conv	1 064	16.7%	6.7%	1.5%	2.2%	4.8%	68.1%
AGTOURNE	bio	1 290	13.8%	0.0%	5.5%	0.0%	5.3%	75.4%
AGARACHI	conv	353	50.5%	20.8%	2.4%	3.9%	14.4%	8.0%
ABET_SUC	conv	3 814	13.7%	3.9%	1.6%	3.7%	4.1%	73.0%
ABET_SUC	bio	4 622	11.3%	0.0%	3.6%	0.0%	4.3%	80.8%

Les enseignements de ces tableaux sont les suivants :

- Les recettes des secteurs de production biologique sont supérieures aux recettes des secteurs de production conventionnelle. La principale raison est que notre hypothèse sur le différentiel de rendement défavorable du bio (0.8) est plus que compensée par notre hypothèse sur le rapport de prix favorable aux produits bio (1.5).
- La marge réalisée, qui sert à rémunérer les facteurs fixes capital et travail non-salarié, correspond à une partie du coût des autres facteurs et intrants X (égal à la recette moins la somme des autres coûts connus). Sous l'hypothèse que le coût des autres intrants intégrés dans X n'est pas significativement supérieur en bio relativement au conventionnel, la marge servant à rémunérer les facteurs fixes est supérieure en systèmes bio.
- Le coût de l'agrégat X étant important en termes relatifs, les parts des différents autres postes de charges considérés dans la recette sont relativement faibles quel que soit le secteur. En France, pour les grandes cultures, le fermage représente moins de 10% de la recette (ou du coût total), la fertilisation moins de 8%, les produits phytosanitaires moins de 6% et le travail salarié moins de 2%.
- Les recettes sont globalement moins importantes dans la zone ROFUE qu'en France à l'exception des secteurs où les autres pays européens sont plus performants en moyenne que le France (fruits et légumes).

4.2 Les marges dans les secteurs de la production animale

Pour les secteurs de la production animale, nous procédons de la même manière que dans le cas précédent des productions végétales. Toutefois, pour les secteurs de production animale, l'agrégat des autres facteurs et intrants est élargi au cheptel comme un élément du capital et aux frais vétérinaires comme un élément des autres intrants.

Comme dans le cas précédent, l'hypothèse de profit nul et la normalisation du prix de l'agrégat des autres facteurs et intrants de production à 100 nous permet de déduire la quantité de cet agrégat :

$$X_{B_{j,s,r}} = \left(\frac{\sum_i ((PB_{B_{i,s,r}} + \overline{SUBO}_{i,r}) * YS_{B_{i,j,s,r}}) + \sum_i (PNorg_{B_r} * \overline{NorgCoef_KgperKg}_{i,s,r} * YS_{B_{i,j,s,r}})}{-\sum_{ialim} (QfeedJ_{B_{ialim,j,s,r}} * PB_{B_{ialim,s,r}}) - QfeedMfour_{B_{j,s,r}} * PFeedMfour_{B_{s,r}} - Qfeedgrass_{B_{j,s,r}} * Pgrass_{B_r} - \overline{QFeedRes0}_{B_{j,s,r}} * \overline{PFeedRes0}_{B_{j,s,r}}} \right) / PX_{B_{j,s,r}}$$

Avec les deux premiers termes du numérateur représentant les recettes du secteur, recettes sur les produits d'abord puis recettes sur l'engrais organique, les termes suivants étant les éléments de coût de l'alimentation animale (respectivement, concentrés, maïs fourrage, herbe et aliments résiduels). Les résultat des calculs des différentes recettes et coûts figurent dans le Tableau 56 pour la France et le Tableau 57Tableau 55 pour la zone ROFUE.

Tableau 56 : Recettes et coûts des secteurs de la production animale pour la France dans MATSIM B (2011-2013)

Secteur	système	Recettes (€/tonne)				Coûts (€/tonne)					X
		Total	Viande	Lait	Norga	Feed					
						Concentré	Maïs four.	Herbe	Resid.		
ABOVILAITML	conv	588	58	516	14	65	41	3	6	474	
ABOVILAITML	bio	876	88	772	17	50	41	4	5	775	
ABOVIVIANDEML	conv	6 173	5 848		325	1 488	352	175	380	3 778	
ABOVIVIANDEML	bio	9 150	8 771		378	1 431		293	24	7 401	
AOVINCAPRINML	conv	4 911	4 801		110	175		138	7	4 591	
AOVINCAPRINML	bio	7 323	7 201		122	262		155	8	6 897	
APORCIN	conv	2 025	1 961		64	1 512			128	385	
APORCIN	bio	3 018	2 941		77	2 586			139	293	
AVOLAILLE	conv	2 316	2 276		40	854			294	1 168	
AVOLAILLE	bio	3 479	3 414		65	1 815			414	1 251	

Secteur	système	Recettes (%)				Coûts (%)					X
		Total	Viande	Lait	Norga	Feed					
						Concentré	Maïs four.	Herbe	Resid.		
ABOVILAITML	conv	588	10%	88%	2%	11.1%	7.0%	0.5%	0.9%	80.6%	
ABOVILAITML	bio	876	10%	88%	2%	5.7%	4.7%	0.5%	0.6%	88.5%	
ABOVIVIANDEML	conv	6 173	95%		5%	24.1%	5.7%	2.8%	6.2%	61.2%	
ABOVIVIANDEML	bio	9 150	96%		4%	15.6%	0.0%	3.2%	0.3%	80.9%	
AOVINCAPRINML	conv	4 911	98%		2%	3.6%	0.0%	2.8%	0.1%	93.5%	
AOVINCAPRINML	bio	7 323	98%		2%	3.6%	0.0%	2.1%	0.1%	94.2%	
APORCIN	conv	2 025	97%		3%	74.7%	0.0%	0.0%	6.3%	19.0%	
APORCIN	bio	3 018	97%		3%	85.7%	0.0%	0.0%	4.6%	9.7%	
AVOLAILLE	conv	2 316	98%		2%	36.9%	0.0%	0.0%	12.7%	50.4%	
AVOLAILLE	bio	3 479	98%		2%	52.2%	0.0%	0.0%	11.9%	35.9%	

Tableau 57 : Recettes et coûts des secteurs de la production animale pour la zone ROFUE dans MATSIM B (2011-2013)

Secteur	système	Recettes (€/tonne)				Coûts (€/tonne)					X
		Total	Viande	Lait	Norga	Feed					
						Concentré	Maïs four.	Herbe	Resid.		
ABOVILAITML	conv	589	58	516	15	73	38	4	5	469	
ABOVILAITML	bio	876	88	772	17	69	38	6	5	758	
ABOVIVIANDEML	conv	6 128	5 848		280	1 275	234	186	345	4 087	
ABOVIVIANDEML	bio	9 059	8 771		287	1 091		271	84	7 612	
AOVINCAPRINML	conv	5 048	4 801		248	338		214		4 497	
AOVINCAPRINML	bio	7 506	7 201		305	426		240		6 840	
APORCIN	conv	2 037	1 961		76	1 283			76	678	
APORCIN	bio	3 030	2 941		89	2 189			83	758	
AVOLAILLE	conv	2 316	2 276		39	1 029			352	934	
AVOLAILLE	bio	3 441	3 414		27	1 807			410	1 224	

Secteur	système	Recettes (%)				Coûts (%)					X
		Total	Viande	Lait	Norga	Feed					
						Concentré	Maïs four.	Herbe	Resid.		
ABOVILAITML	conv	589	10%	88%	2%	12.4%	6.4%	0.6%	0.8%	79.7%	
ABOVILAITML	bio	876	10%	88%	2%	7.9%	4.4%	0.7%	0.6%	86.5%	
ABOVIVIANDEML	conv	6 128	95%		5%	20.8%	3.8%	3.0%	5.6%	66.7%	
ABOVIVIANDEML	bio	9 059	97%		3%	12.0%	0.0%	3.0%	0.9%	84.0%	
AOVINCAPRINML	conv	5 048	95%		5%	6.7%	0.0%	4.2%	0.0%	89.1%	
AOVINCAPRINML	bio	7 506	96%		4%	5.7%	0.0%	3.2%	0.0%	91.1%	
APORCIN	conv	2 037	96%		4%	63.0%	0.0%	0.0%	3.7%	33.3%	
APORCIN	bio	3 030	97%		3%	72.3%	0.0%	0.0%	2.7%	25.0%	
AVOLAILLE	conv	2 316	98%		2%	44.5%	0.0%	0.0%	15.2%	40.4%	
AVOLAILLE	bio	3 441	99%		1%	52.5%	0.0%	0.0%	11.9%	35.6%	

Les enseignements de ces tableaux sont les suivants :

- Les recettes des secteurs de production biologique sont supérieures aux recettes des secteurs de production conventionnelle.
- La marge réalisée, qui sert à rémunérer les facteurs fixes capital et travail non-salarié, correspond à une partie du coût des autres facteurs et intrants X. Sous l'hypothèse que le coût

des autres intrants intégrés dans X n'est pas significativement supérieur en bio relativement au conventionnel, la marge servant à rémunérer les facteurs est supérieure en systèmes bio pour les systèmes animaux ruminants. Ceci provient d'une moindre consommation d'aliments concentrés. Pour les systèmes granivores, les marges réalisées sont généralement supérieures en système conventionnel (à l'exception de la volaille en France), du fait du coût supérieur des aliments concentrés bio, qui ne peuvent pas être substitués par des aliments fourragers.

4.3 Valeurs pré-attribuées à certaines élasticités pour le calibrage

Les valeurs pré-attribuées à certaines élasticités pour le calibrage étaient déjà présentes dans la version précédente du modèle. Leur origine et leur logique sont présentées en détails dans Forslund et al. (2013b) et Levert et al. (2017). La version précédente de MATSIM-LUCA travaillait avec les données pour l'agriculture totale et les élasticités se référaient à cette agriculture totale. Dans la version actuelle, nous avons « réparti » l'agriculture totale entre agriculture conventionnelle et agriculture biologique. En l'absence d'information nous permettant de différencier les valeurs préétablies de ces élasticités entre systèmes de production biologique et systèmes de production conventionnelle, nous avons attribué les mêmes valeurs aux élasticités quel que soit le système. Ces valeurs sont rapportées dans le Tableau 58.

Tableau 58 : Valeurs pré-attribuées à certaines élasticités du modèle pour le calibrage de MATSIM_B

Elasticités de substitution du côté de l'offre végétale :		
Terre/engrais vs. Phyto/travail/X	$\sigma_{j,s,r}^{suby}$	0.1
Terre vs. engrais	$\sigma_{j,s,r}^{subln}$	0.3
Azote min vs Azote organique	$\sigma_{j,s,r}^{subn}$	0.9
Entre phyto, travail et X	$\sigma_{j,s,r}^{subpwx}$	0.3
Vergers vs. autres cultures	$\sigma_r^{mltrees}$	0.1
Vergers bio vs. conventionnels	$\sigma_r^{mlfruits}$	0.3
Rizières vs. autres cultures	σ_r^{mlrice}	0.12
Rizière bio vs. conventionnelles	$\sigma_r^{mlricesys}$	0.3
Pâtures vs. autres cultures	$\sigma_r^{mlgrass}$	0.25
Autres cultures bio vs. conventionnelles	$\sigma_r^{mlcropS}$	0.5
Entre autres cultures d'un même système	σ_r^{mlcrop}	0.8
Maïs grain vs. maïs fourrage d'un même système	$\sigma_{s,r}^{mlcorn}$	0.9
Elasticités d'expansion du côté de l'offre végétale :		
Autres facteurs de production agricole	σ_r^{xcrop}	0.9
Terre agricole	$\sigma_r^{expland}$	0.02
Elasticités de transformation du côté de l'offre végétale :		
Autres facteurs de production agricole	σ_r^{mobxc}	1.1
Elasticités d'expansion du côté de l'offre animale		
Facteurs de production animale (sauf bovins)	$\sigma_{j,r}^{xother}$	0.2
Facteurs de production animale bovins	σ_r^{xbov}	0.5
Elasticités de transformation du côté de l'offre animale :		
Facteurs de production animale bovins	σ_r^{mobxb}	0.5

Elasticités de substitution en alimentation animale :			
Fourrages herbagers vs. autres aliments	$\sigma_{j,s,r}^{subtot}$	0.3	
Maïs fourrage vs. aliments concentrés	$\sigma_{j,s,r}^{subnotgrass}$	0.3	
Concentrés riches en protéines vs. riches en énergie	$\sigma_{j,s,r}^{sub3nest}$	0.3	
Concentré issu d'oléo-protéagineux vs. coproduits	$\sigma_{j,s,r}^{subprotcop}$	0.9	
Entre concentré issu d'oléo-protéagineux	$\sigma_{j,s,r}^{subprot}$	2	
Entre coproduits riches en protéines	$\sigma_{j,s,r}^{subcop}$	2	
Entre aliments riches en énergie	$\sigma_{j,s,r}^{subcere}$	0.9	
Elasticités d'expansion de la demande humaine :			
		<i>conv</i>	<i>bio</i>
Nid Céréales	$\sigma_{s,r}^{expCere}$	-0.1	-0.2
Nid huiles végétales	$\sigma_{s,r}^{expHuile}$	-0.1	-0.2
Nid protéines végétales	$\sigma_{s,r}^{expProte}$	-0.1	-0.2
Nid viande	$\sigma_{s,r}^{expViande}$	-0.1	-0.2
Autres aliments	$\sigma_{s,r}^{expFood}$	-0.1	-0.2
Elasticités de substitution en alimentation humaine :			
Entres céréales	$\sigma_{s,r}^{subcere}$	0.5	
Entres huiles végétales	$\sigma_{s,r}^{subHuile}$	3	
Entre protéines végétales	$\sigma_{s,r}^{subProte}$	0.5	
Entre viandes	$\sigma_{s,r}^{subViande}$	0.2	

5 Validation : première étape

Après la calibration du modèle, vient une phase de validation. Cette dernière comporte généralement une phase de test qui consiste à simuler différents scénarios pour vérifier comment réagit le modèle et si les résultats obtenus vont bien dans le sens des résultats attendus. C'est cette phase de test que nous présentons ici. Elle sera suivie d'une phase de calcul des élasticités prix ex-post du modèle et d'une phase d'analyse de sensibilité des résultats de simulation à certains paramètres. Cette seconde phase est en cours et n'est pas présentée ici.

Nous présentons d'abord les scénarios que nous avons simulés. Ils ont tous pour objectif de réduire l'utilisation de pesticides et de favoriser l'expansion de l'agriculture biologique en France et dans le reste de l'UE. Nous détaillons ensuite les résultats de simulation obtenus. Enfin nous discutons les limites de ces résultats.

5.1 Les scénarios simulés

Nous proposons 5 scénarios ayant pour objectif de développer l'agriculture biologique en France et dans l'Union Européenne. Ces scénarios sont basés sur différents instruments de politique susceptibles d'influer sur le comportement des producteurs ou des consommateurs et d'orienter les systèmes productifs dans la direction souhaitée par les pouvoirs publics.

Cet exercice a pour objectif de tester le comportement et les limites du modèle. Les résultats dépendent en grande partie des spécifications choisies, des hypothèses sur les données et des valeurs attribuées initialement à certaines élasticités. Au-delà des résultats obtenus, il permet essentiellement de valider et d'interroger sur les comportements et les interactions entre les agents et entre les marchés tels que représentés par le modèle.

Les instruments testés sont appliqués en France et dans le reste de l'Europe. Ils sont appliqués à leurs niveaux limites actuels de résolution par le modèle.

Les 5 scénarios sont les suivants :

SCENARIO 1, subvention au prix de la terre en agriculture biologique, de 40% : Les producteurs bio bénéficient d'un prix de la terre réduit artificiellement de 40% ce qui constitue un avantage par rapport aux producteurs conventionnels qui ne bénéficient d'aucun soutien supplémentaire.

SCENARIO 2, subvention au prix-producteur des produits biologiques, de 50% : Les producteurs de produits bio (végétaux et animaux) bénéficient d'une prime correspondant à 50% du prix des produits. Cette prime s'ajoute aux prix des produits bio déjà supérieurs aux prix des produits conventionnels dans la situation initiale.

SCENARIO 3, taxe sur l'utilisation des pesticides, à hauteur de 200%. Le prix des pesticides est multiplié par 3 pour les producteurs en systèmes conventionnels.

SCENARIO 4, Choc exogène de demande de produits bio, de +130%, compensé par un choc exogène de demande de produits conventionnels, de -10% : Mieux informée ou sous l'influence de politiques incitatives, la population consomme plus de produits bio. La substitution par une diminution de produits standards non modélisés est imputée artificiellement.

SCENARIO 5, Choc exogène de demande de produit bio, de +130%, compensé par un choc exogène de demande de produits conventionnels, de -20% : La hausse de la demande en produits bio est plus

que compensée par la baisse de la consommation de produits conventionnels traduisant une transition vers des régimes alimentaires moins riches.

Un dernier scénario additionne différents instruments afin de combiner les différents effets recherchés :

SCENARIO 5', Choc exogène de demande correspondant au scénario 5 avec une taxation des pesticides, de 100%.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable**. Tableau 59 synthétise les résultats de simulation sur quelques variables clés. Nous focalisons ici la présentation sur la France et sur le marché du blé en particulier. L'ensemble des résultats de simulations pour l'ensemble des marchés, des zones ainsi que les différents indicateurs calculés sont disponibles auprès des auteurs.

Tableau 59 : Résultats de simulations des scénarios

	Valeurs initiales		SCEN 1 Subvention Terre Bio UE 40%		SCEN 2 Subvention Prix producteur Bio UE 50%		SCEN 3 Taxe phyto 200% (x3)		SCEN 4 +130% Demande Bio -10% Demande conv.		SCEN 5 +130% Demande Bio -20% Demande conv.		SCEN 5' +130% Demande Bio -20% Demande conv. Taxe phyto 100% (x2)	
	CONV	BIO	CONV	BIO	CONV	BIO	CONV	BIO	CONV	BIO	CONV	BIO	CONV	BIO
Marché du blé FR :														
Production (Mt)	37.984	0.319	-0.33%	5.22%	-0.14%	11.89%	-8.73%	1.27%	-4.04%	131.25%	-4.99%	131.20%	-9.60%	132.79%
Rendements (T/ha)	7.00	5.66	0.56%	-5.49%	0.07%	2.13%	-5.75%	-3.05%	2.75%	16.94%	2.25%	16.67%	-0.54%	15.82%
Terre (Mha)	5.426	0.056	-0.88%	11.33%	-0.21%	9.56%	-3.16%	3.32%	-6.61%	97.75%	-7.08%	98.16%	-9.11%	100.99%
Azote min (MT)	0.698	-	0.45%	-	0.11%	-	-14.09%	-	0.30%	-	-1.22%	-	-8.84%	-
Azote org (MT)	0.199	0.008	-1.80%	25.72%	-1.00%	15.50%	0.41%	2.44%	-13.35%	206.00%	-14.53%	205.15%	-14.75%	209.40%
Travail (1000 UTA)	8.698	0.123	-0.37%	8.47%	-0.14%	15.38%	-7.66%	1.04%	-4.48%	193.00%	-5.71%	192.70%	-9.68%	194.32%
Phytos (MT)	0.018	-	-0.37%	-	-0.14%	-	-33.58%	-	-4.48%	-	-5.71%	-	-26.64%	-
Autres (M€)	8 618	122	-0.58%	12.94%	-0.15%	24.00%	-11.73%	1.02%	-6.15%	404.17%	-8.02%	403.05%	-13.97%	406.09%
Ensemble des prod. végétales FR** :														
Terre (Mha)	13.978	0.306	-0.95%	9.85%	-0.25%	9.72%	-2.32%	3.65%	-7.38%	82.47%	-7.64%	82.74%	-9.23%	84.77%
Azote min (MT)	1.515	-	0.51%	-	-	-	-13.78%	-	0.75%	-	-0.58%	-	-8.01%	-
Azote org (MT)	0.481	0.028	-1.71%	27.38%	-0.97%	18.25%	0.05%	2.17%	-12.82%	237.67%	-13.82%	236.74%	-14.12%	242.60%
Travail (1000 UTA)	152	12	-0.86%	-0.25%	-0.49%	23.19%	-7.05%	1.5%	-13.76%	229.63%	-14.75%	229.76%	-17.88%	231.15%
Phytos (MT)	0.056	-	-0.49%	-	-0.24%	-	-33.86%	-	-7.01%	-	-7.97%	-	-28.51%	-
Autres (M€)	29 717	1 309	-0.64%	4.34%	-0.26%	30.96%	-10.01%	1.26%	-8.23%	435.22%	-9.74%	434.78%	-14.62%	436.99%
Autres indicateurs :														
FOOD Blé FR (Mt)	6.5844	0.322	-0.02%	-3.44%	-0.01%	10.45%	-0.20%	0.44%	-10.03%	97.32%	-19.91%	97.50%	-20.00%	98.06%
FEED Blé FR (Mt)	7.4576	0.1183	-0.08%	-0.80%	0.01%	2.22%	-1.23%	0.01%	-0.71%	58.31%	-1.88%	58.28%	-2.56%	58.23%
Prod Volaille FR (Mt)	2.570	0.065	0.01%	-2.66%	0.06%	3.66%	-0.17%	0.12%	-0.38%	63.17%	-0.82%	63.19%	-0.92%	63.24%
Prod Porcin FR (Mt)	2.143	0.027	0.03%	-14.76%	0.02%	16.03%	-0.95%	0.91%	-1.68%	91.76%	-3.45%	91.84%	-4.07%	92.04%
Prod Lait FR (Mt)	24.217	0.699	-0.08%	-1.75%	0.00%	0.11%	0.53%	0.20%	-1.54%	77.20%	-2.66%	76.07%	-2.40%	76.26%
Trade Blé UE (Mt)	18.081	-	-0.05%	-	-0.02%	-	-0.46%	-	-0.14%	-	-0.17%	-	-0.15%	-
Terre cultivées Monde (Mha)*	4 522	-	0.01%	-	0.00%	-	0.09%	-	-0.03%	-	-0.17%	-	-0.12%	-
Terres cultivées Monde (Mha)*	4522.494	-	0.460 Mha	-	0.198 Mha	-	4.048 Mha	-	-1.414 Mha	-	-7.520 Mha	-	-5.391 Mha	-
Terres cultivées FR (Mha)**	14.284	-	-0.102 Mha	-	-0.005 Mha	-	-0.313 Mha	-	-0.780 Mha	-	-0.815 Mha	-	-1.044 Mha	-
dont conventionnel	13.978	-	-0.132 Mha	-	-0.035 Mha	-	-0.324 Mha	-	-1.032 Mha	-	-1.068 Mha	-	-1.303 Mha	-
dont bio	0.306	-	0.030 Mha	-	0.030 Mha	-	0.011 Mha	-	0.252 Mha	-	0.253 Mha	-	0.259 Mha	-
Part surfaces bio FR**	2.14%	-	2.37%	-	2.35%	-	2.27%	-	4.13%	-	4.15%	-	4.27%	-
Part surfaces bio UE**	2.97%	-	3.11%	-	3.23%	-	3.06%	-	5.58%	-	5.61%	-	5.69%	-
Effets prix FR :														
Prix blé (€/T)	297	445	0.14%	21.02%	0.05%	-39.00%	1.38%	-2.24%	0.07%	130.75%	-1.06%	129.70%	-0.35%	126.40%
Prix terre blé (€/ha)	200	200	3.39%	156.00%	0.51%	20.75%	-27.59%	-18.26%	17.98%	405.71%	14.10%	395.19%	-2.31%	353.75%
Prix Azote min (€/T)	894	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azote org (€/T)	894	-	2.56%	-	1.26%	-	-15.91%	-	17.65%	-	17.44%	-	7.73%	-
Travail (€/UTA)	10967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phytos (€/T)	34499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Pâtures incluses ** Pâtures exclues

5.2 Analyse des résultats de simulations

Nous présentons les résultats pour la France, en décortiquant les effets pour le marché du blé, puis en élargissant à l'ensemble des autres productions végétales du modèle (hors herbe), puis aux productions animales.

SCENARIO 1, subvention au prix de la terre en agriculture biologique, de 40% :

Sur le marché du blé français, la subvention à la terre est capitalisée dans le prix de la terre exploitée en bio (+156% pour la terre cultivée en blé bio) et est répercutée en partie sur le prix du blé bio (+21.02%). Les consommateurs réagissent à la hausse du prix en diminuant leur consommation de produits bio (-3.44%). De même la hausse du prix des produits végétaux bio impacte négativement les productions animales bio qui voient leurs charges alimentaires augmenter (-2.66% pour la volaille, -14.76% pour la viande de porc, -1.75% pour le lait). Cette contraction de la demande en bio limite donc les investissements dans le bio. Dans la production de blé bio, l'utilisation de travail salarié diminue (-0.25%) tandis que l'utilisation des autres facteurs et intrants de production augmente (+4.34%). Les autres facteurs et intrants se substituent donc au travail salarié. Néanmoins, au total, l'expansion de la surface en blé bio (+11.33%) induite par la subvention au prix de la terre bio s'accompagne d'une diminution des rendements à l'hectare (-5.49%) si bien que la production française de blé bio n'augmente que de +5.22%³⁴.

On observe les mêmes mécanismes pour l'ensemble des productions végétales en France, avec des interactions et des substitutions entre produits conduisant à des variations de quantités et de prix, d'ampleurs différentes. Au total, les effets de la subvention à la terre bio profitent à l'agriculture biologique dont les surfaces (prairies non comprises) s'accroissent de 9.85% en France. Cette hausse des surfaces allouées à l'agriculture biologique contribue à une contraction des surfaces en agriculture conventionnelle (-0.95%) ainsi qu'à une baisse de l'utilisation des différents facteurs de production de l'ordre de -0.5 à -0.9% dans ces systèmes. Seule l'utilisation d'azote d'origine minérale augmente de +0.51% du fait d'une plus faible disponibilité de l'azote organique consécutive à une demande plus forte par les cultures en agriculture biologique (AB) et aussi une production animale en contraction.

L'offre conventionnelle étant réduite, les prix mondiaux des produits agricoles augmentent en proportion du poids représenté par l'Europe sur les marchés mondiaux correspondants. La demande alimentaire globale est impactée à la baisse et l'offre d'exportation de la France diminue. Pour le blé conventionnel, la hausse du prix mondial est de +0.14%, elle conduit à une diminution de la demande humaine en France de -0.02% et à une baisse des exportations de l'UE de -0.05%.

Finalement, en France, les surfaces cultivées (i.e., hors pâtures) en conventionnel diminuent de -132 Kha et les surfaces en bio s'accroissent de 30 Kha. Il y a donc une diminution globale des terres cultivées en France de l'ordre de -102 Kha. Ces pertes de surface en France (et en Europe) sont plus que compensées par l'accroissement des surfaces cultivées dans le monde (+460 Kha).

SCENARIO 2, subvention au prix-producteur des produits biologiques, de 50% :

Les mécanismes à l'œuvre sont sensiblement les mêmes que dans le scénario 1. La différence essentielle est la moindre capitalisation de la subvention dans le prix de la terre et le fait que les productions animales bénéficient également directement de la subvention.

³⁴ Dans la zone ROFUE, l'accroissement des surfaces en bio est plus modéré et la chute des rendements plus conséquente ce qui conduit à des baisses générales de production en agriculture biologique, notamment en blé (-5,20 %)

En blé, la subvention au producteur via le prix des produits bio bénéficie dans une moindre mesure aux propriétaires des terres certifiées bio et permet d'accroître plus significativement la production (+11.89%), avec un recours accru au travail salarié (+15.38%) et aux investissements en autres facteurs et intrants (+24%). La subvention et la hausse de production contribuent à la baisse du prix du blé bio de 39% et à une hausse de consommation de produits bio à base de blé (+10.45%).

Dans la spécification actuelle, les consommations humaines de produits bio et conventionnels étant indépendantes (produits non substituables) et les impacts sur le prix des terres plus modérés que dans le scénario 1, les produits conventionnels se trouvent moins impactés avec des assolements en baisse de seulement -0.21% en blé (au lieu de -0.88%), une baisse de 0.14% de la production et un prix du blé conventionnel en très légère hausse de +0.05%.

Finalement, les surfaces en cultures conventionnelles ne baissent plus que de -35 Kha en France et la surface en AB augmente de 30 Kha. Contrairement au scénario 1, les effets en France et dans le reste de l'UE vont dans le même sens et globalement, ce scénario est légèrement plus favorable au développement du bio au niveau européen.

Ces deux scénarios ont des impacts relativement modérés sur l'utilisation de pesticides avec des baisses inférieures à -0.5 %. Le scénario suivant vise à diminuer directement leurs usages.

SCENARIO 3, taxe sur l'utilisation des pesticides, à hauteur de 200% :

La multiplication par 3 du prix des pesticides payés par les agriculteurs ne diminue leurs usages que de 33.86% dans les systèmes conventionnels. Tous les facteurs et intrants de production utilisés en conventionnel sont d'ailleurs impactés négativement, sauf les engrais organiques.

Ainsi, pour le blé conventionnel en France, la taxe sur l'utilisation des pesticides conduit à une baisse des rendements (-5.75%), une réduction des surfaces cultivées (-3.16%) et donc une diminution de la production (-8.73%). Cette réduction des assolements et de la production en conventionnel bénéficie au blé biologique qui voit sa production augmenter (+1.27%) du fait de surfaces dédiées supplémentaires (+3.32%) qui font plus que compenser la diminution des rendements (-3.05%).

Dans ce scénario, le prix du blé conventionnel augmente de 1.38% tandis que celui du blé bio diminue de -2.24%. Les conséquences pour les produits animaux sont une baisse des productions de granivores en systèmes conventionnels (qui atteint près de 1% pour les porcins) et une hausse de la production pour tous les produits animaux en systèmes biologiques (de même ordre de grandeur en pourcentage). Globalement la production d'azote organique augmente et ses usages augmentent également aussi bien en agriculture conventionnelle (+0.05%) qu'en agriculture biologique (+2.17%). En revanche, l'utilisation d'engrais minéraux en systèmes conventionnels diminue significativement (-13,25%). Cette baisse est plus importante en termes relatifs que celle enregistrée par chacun des autres facteurs et intrants et son origine méritera quelques investigations supplémentaires.

En France, les surfaces en cultures conventionnelles sont réduites de -324 Kha dans ce scénario et les surfaces en AB ne progressent que de +11 Kha.

La baisse de la production Européenne réduit l'offre d'exportation de l'UE au reste du monde de -0.46% et les signaux prix conduisent à la mise en culture de +4.048 Mha dans le monde.

SCENARIO 4, Choc exogène de demande de produit bio, de +130%, compensé par une baisse de la demande de produits conventionnels, de -10% :

Dans ce scénario et dans les suivants, nous encourageons de manière exogène la consommation humaine de produits bio en introduisant un choc positif de demande qui traduit une modification des

préférences des consommateurs pour des produits plus respectueux de l'environnement. Le modèle n'intégrant pas à ce stade de modélisation de substitution à la demande entre produits bio et conventionnels, nous compensons artificiellement la hausse de +130% de la consommation de produits bio par une diminution -10% de la demande en produits conventionnels (de -20% dans les scénarios 5 et 5'suivants).

Après ajustements, les chocs de demande introduits ne se répercutent que de manière imparfaite. La demande française de blé bio augmente de +97.32%, les demandes de produits animaux bio augmentent également mais dans des proportions moindres (+91.76% pour la viande de porc, +63.17% pour la volaille) notamment du fait de la hausse des coûts alimentaires. De la même manière, la consommation alimentaire de blé conventionnelle est comme attendu, réduite de -10.03% alors que les consommations de produits animaux conventionnels ne baissent que de -0.38% pour la volaille à -1.68% pour les porcins.

Sous l'influence d'une hausse des prix des produits bio, les productions biologiques s'accroissent sensiblement sous l'effet d'une conversion importante des surfaces en AB (+97,75% pour le blé, +82.47% pour l'ensemble des autres cultures (hors prairies) et d'une utilisation accrue de facteurs et intrants de production (+193% et +229.63 %, pour le travail salarié, pour respectivement le blé et l'ensemble des cultures ; +206% et +237.67 % pour l'azote organique, pour respectivement le blé et les autres cultures ; +404% et +403.05 % pour les autres facteurs et intrants pour respectivement le blé et les autres cultures). On note là encore une capitalisation importante de la hausse des prix des produits bio dans les prix des facteurs et intrants utilisés en bio et notamment dans les prix de la terre (+405.71% pour le prix de la terre cultivée en blé bio par exemple).

En conventionnel, on assiste à la baisse des productions. Pour les productions végétales, la diminution de la production s'accompagne d'une réduction des surfaces (-7.38 % pour l'ensemble des cultures hors prairies) et de l'utilisation de tous les autres facteurs et intrants (de -7 à -14% selon les catégories, -7.01% pour les produits phytosanitaires) sauf les engrais minéraux. L'utilisation d'engrais minéraux s'accroît en effet du fait de la difficulté d'accès aux engrais organiques à la fois moins produits par les animaux en systèmes conventionnels et plus utilisés par les productions végétales en systèmes biologiques.

Les surfaces converties à l'agriculture biologiques représentent +252 Kha en France et la baisse des surfaces conventionnelles -1.032 Mha. La part de bio dans la sole des cultures hors prairies passe de 2.97% à 5.58% dans l'UE.

SCENARIO 5, Choc exogène de demande de produits bio, de +130%, compensé par une baisse de la demande de produits conventionnels, de -20% :

Dans ce scénario, la hausse de la demande en produits bio est compensée par une baisse plus importante de consommation de produits conventionnels. Les conséquences sont comparables à celles du scénario précédent sur les marchés des produits bio.

En revanche, les produits conventionnels sont deux fois plus impactés par la baisse de la demande. Toutefois, les baisses de production supplémentaires sont relativement plus faibles. De même, les utilisations de facteurs et intrants de production, y compris la terres, sont affectées négativement mais dans une bien moindre mesure que lors du premier choc de -10%. Ceci traduit une non-linéarité des effets selon la taille des chocs.

Les surfaces converties à l'agriculture biologique sont pratiquement identiques avec +253 Kha en France et la baisse des surfaces conventionnelles n'est que de -1.068 Mha, c'est-à-dire à peine plus

que dans le scénario précédent. La part de bio dans la sole en grandes cultures passe à 5.61% dans l'UE.

Une différence notable liée à l'effet de contraction de demande plus fort est l'impact sur le prix mondial du blé (et de la plupart des produits conventionnels) orienté à la baisse. Ceci se traduit par une diminution des surfaces en cultures dans le monde de -7.520 Mha.

SCENARIO 5', Choc exogène de demande correspondant au scénario 5 et taxation de l'utilisation des pesticides, de 100% :

Ce scénario permet d'analyser les conséquences de l'application combinée d'instruments de régulation aussi bien du côté offre que du côté demande.

L'ajout de la taxe sur les pesticides a donc pour effet attendu d'amplifier les effets souhaités du scénario précédent : les conversions à l'agriculture biologique sont légèrement plus importantes (+259 Kha en France vs. +253 Kha) mais c'est principalement l'usage des pesticides qui est réduit (-28.51% vs. -7.97%) ainsi que celui de l'azote minéral de synthèse (-8.01% vs. -0.58%).

Il y a alors une diminution -1.044 Mha de la surface cultivée en France du fait d'une baisse de -9.60% de la surface en cultures conventionnelles non compensée par la hausse de +132.79% des surfaces en cultures biologiques.

5.3 Quelques enseignements des exercices de simulations

- Les leviers d'action sur la demande sont plus efficaces pour une transition vers l'AB et une réduction des pesticides que les actions sur l'offre.
- Les effets sont sans doute trop capitalisés dans les prix des facteurs, notamment la terre. En encourageant le bio, on s'attend à un accroissement des surfaces cultivées en France et en Europe. Or tous les scénarios conduisent à une diminution des surfaces cultivées (hors pâtures).
- De même, les effets sont très limités sur l'offre d'exportation de l'UE alors que la baisse de production conventionnelle en UE devrait peut-être avoir un impact plus important sur le commerce mondial de produits sur lesquels l'UE est un acteur important.
- Enfin, la version actuelle du modèle présente des limites liées aux choix de modélisation : pas de substitution bio/conventionnel à la demande, pas de marché ni de commerce extra-UE de produits bio.

Améliorations attendues :

- Modélisation de la demande alimentaire avec l'introduction de substitutions entre alimentations bio et conventionnelle, cohérentes de manière agrégée avec les estimations économétriques de la littérature et du Workpackage 3, Tâche 3.1 du projet FAST.
- Analyse de sensibilité des résultats de simulation aux valeurs pré-attribuées à certaines élasticités lors du calibrage. Détection des élasticités jouant un rôle clé dans l'ordre de grandeur de la capitalisation des effets des instruments dans les prix des facteurs de production et notamment de la terre.

6 Annexes

6.1 Ecart de rendements entre les systèmes bio et conventionnels pour différentes cultures selon Seufert et al. (2012) et Ponisio et al. (2015)

Seufert et al. (2012) :

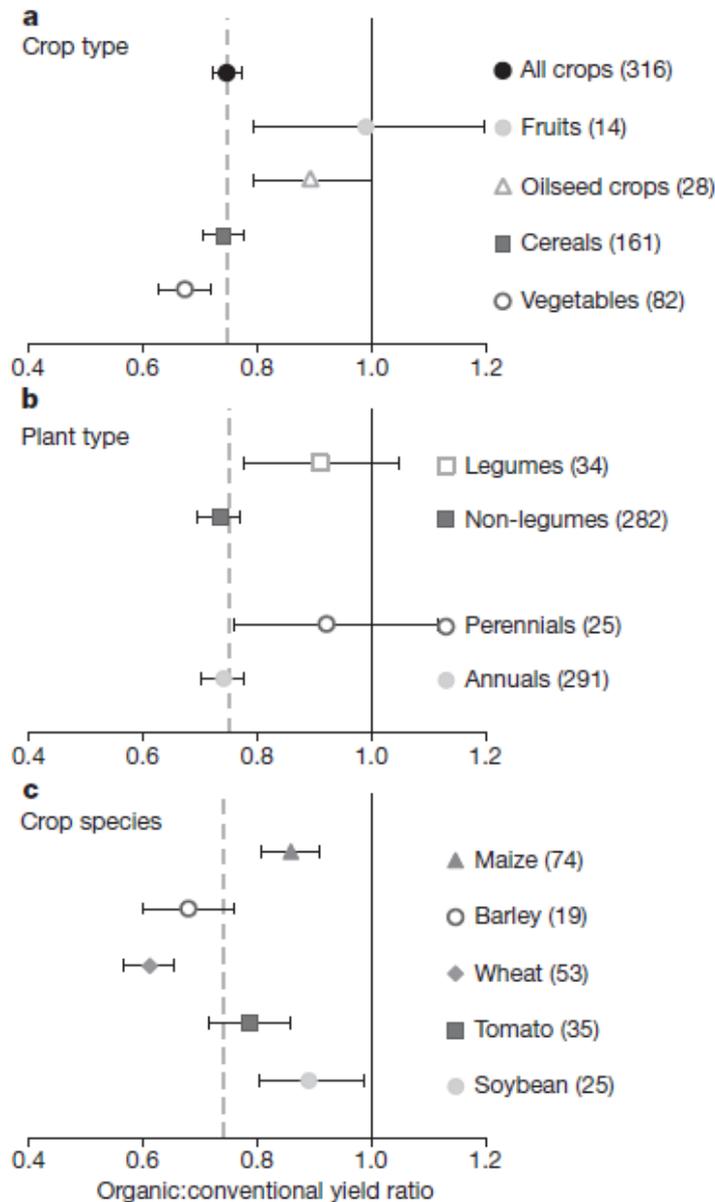


Figure 1 | Influence of different crop types, plant types and species on organic-to-conventional yield ratios. a–c, Influence of crop type (a), plant type (b) and crop species (c) on organic-to-conventional yield ratios. Only those crop types and crop species that were represented by at least ten observations and two studies are shown. Values are mean effect sizes with 95% confidence intervals. The number of observations in each class is shown in parentheses. The dotted line indicates the cumulative effect size across all classes.

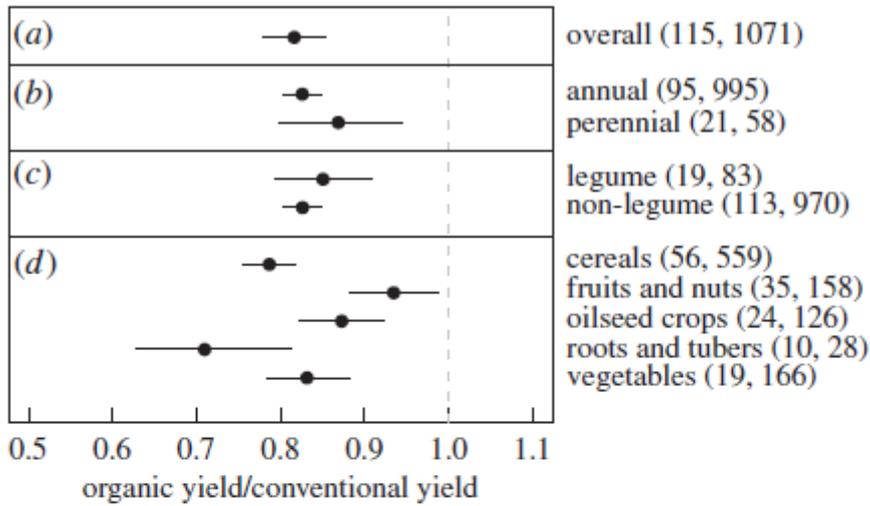


Figure 1. The organic-to-conventional yield ratio of (a) all crops, (b,c) plant types and (d) different crop types. Values are mean effect sizes with 95% credible intervals (i.e. 95% of the posterior distribution). The number of studies and observations in each category are shown in parentheses. Only categories with at least 10 yield comparisons from greater than five studies are shown. Organic and conventional yields were deemed significantly different from each other if the 95% credible interval of the yield ratio did not overlap one. Different levels of explanatory variables were considered to be significantly different if the posterior of the difference between the group means did not overlap zero.

6.2 Ecarts de productivité et d'efficacité alimentaire entre les systèmes animaux bio et conventionnels selon Gaudaré et al. (2021)

Table S2: Mean and standard error of each feed category share in the feed ration expressed in mass (kg of DM) for organic and conventional animal systems. Differences between organic and conventional systems were tested using a Kruskal-Wallis test whose results are represented by the p-value.

			Grassland and hay	Other forage	Non-legume grains	Legume grains	Non-legume by-product	Legume by-product	Other concentrate	Animal product	Concentrate	Food-competing feed	
Dairy cattle	Org	Mean	63.2%	7.2%	20.9%	3.2%	5.6%	0.0%	0.0%	0.0%	23.8%	24.9%	
		S.E.	15.4%	8.2%	7.6%	4.4%	11.0%	0.0%	0.0%	0.0%	11.0%	5.3%	
	Conv	Mean	43.6%	5.0%	38.5%	2.0%	7.8%	3.1%	0.0%	0.1%	39.7%	45.8%	
		S.E.	10.6%	6.9%	20.0%	2.7%	13.0%	3.0%	0.0%	0.1%	13.7%	11.3%	
Kruskal-Wallis test													
			p_value	0.0758	0.7382	0.206	0.9142	0.4354	0.05391	0.3173	0.3173	0.02828	0.01629
Pig	Org	Mean	0.6%	0.0%	65.0%	16.4%	15.2%	2.8%	0.0%	0.1%	99.4%	91.0%	
		S.E.	0.9%	0.0%	8.9%	11.4%	10.4%	4.3%	0.0%	0.2%	0.9%	5.7%	
	Conv	Mean	0.6%	0.0%	68.6%	9.1%	13.7%	4.8%	3.0%	0.2%	99.4%	94.1%	
		S.E.	0.7%	0.0%	13.8%	10.7%	12.3%	7.0%	4.9%	0.6%	0.7%	6.1%	
Kruskal-Wallis test													
			p_value	0.721	NA	0.5218	0.1659	0.631	0.3191	0.007397	0.902	0.721	0.4233
Poultry	Org	Mean	0.0%	0.0%	64.9%	0.0%	5.3%	28.8%	0.0%	1.0%	100.0%	92.8%	
		S.E.	0.0%	0.0%	4.2%	0.0%	5.6%	3.8%	0.0%	1.5%	0.0%	13.1%	
	Conv	Mean	0.0%	0.0%	65.3%	0.1%	6.6%	26.6%	0.3%	1.1%	100.0%	93.0%	
		S.E.	0.0%	0.0%	4.9%	0.2%	8.4%	7.2%	0.6%	1.7%	0.0%	11.9%	
Kruskal-Wallis test													
			p_value	NA	NA	0.9162	0.3173	0.6358	0.8334	0.02728	0.9079	NA	0.4616

6.3 Le marché alimentaire bio en 2018, AgenceBio, estimation des échanges extérieurs en valeur

En million EUR	2018 Stade de détail	Importa- tions UE	Importa- tions Pays tiers	Exporta- tions UE	Exporta- tion Pays Tiers	Total import	Total export	Valeur au prix de gros (hors RHD)
Fruits	896	165	178	25	3	343	26	597
Légumes	807	99	24	22		123	23	538
TOTAL Fruits et Légumes	1 703	264	202	47	3	466	49	1 135
Banane	194		129	1	-		1	129
Pomme	207	17	2	12	2	19	14	138
Agrumes	220	114	28	3	-	142	3	147
Pomme de Terre	103	3			-	3	-	69
Carotte	125	6		-	-	6	-	83
Courgette	37	12		1	-	12	1	25
Tomate	147	38		1	-	38	1	98
Kiwi	97	11	9	1	-	20	1	65
Oignon	42	19	8	1	-	27	1	28
Avocat	68	-	45	1	-	45	1	45
Concombres	28	11	-	1	-	11	1	19
Betterave (5ème gamme)	23	3		1	-	3	1	15
Poire	72	7	-	-	-	7	-	48
Raisin	27	11	-	-	-	11	-	18
Noix	17	-	-	6	1	-	7	11
Châtaignes	3	-	-			-	-	2
Autres FL	293	12	- 19	18	-	122	17	195
Œufs	452	3	-	4	-	3	4	260
Lait	376	6	-	16	-	6	16	220
Beurre	117			-	-	-	-	78
Crème	42			-	-	-	-	28
Fromage frais	67			-	-	-	-	45
Autres fromages de lait de vache	122	4	2	9	-	6	9	81
Fromages de brebis et de chèvre	124	2		-	-	2	-	83
Produits laitiers frais (yaourts et desserts)	240	1	1	10	-	2	10	160
Viande bovine hors steak haché et veau	264	-	-	1		-	1	176
Steak haché 100% pur Bœuf - frais	83	1	-	-	-	1	-	55
Viande de veau	27	-	-	-	-	-	-	18
Viande porcine	109					-	-	73
Viande agneau	65	1	1	-	-	2	-	43
Viande et produits élaborés de volaille	251	1	-	15	1	1	16	167
Charcuterie salaison hors jambon cuit	101	6	-	1	-	6	1	67
Jambon cuit	55	20	-	3	-	20	3	37
Saumon fumé	92	40	13			53	-	61
Truite fumée	29	6	-	2	-	6	2	19
Crevettes tropicales	50	-	33	-	-	33	-	33
Moules	30	10		1		10	1	20
Huitres	3	-	-	-	-	-	-	2
Bar et Dorade	7	1				1	-	5
Surgelés hors légumes	88					-	-	59
Légumes surgelés	61	23		3		23	3	41
Miel	58	11	6			17	-	39

En million EUR	2018 Stade de détail	Importa- tions UE	Importa- tions Pays tiers	Exporta- tions UE	Exporta- tion Pays Tiers	Total import	Total export	Valeur au prix de gros (hors RHD)
Fruits transformés : confitures, compotes, pâtes, fruits au sirops	255	45	20	8	1	65	9	170
Biscuiterie-Biscotterie-pâtisserie industrielle	158	16	18	11	2	34	13	105
Galettes, toasts	88	33	3	-	-	36	-	59
Café	104	-	69	-	10	69	10	69
Thés	51	-	34	-	3	34	3	34
Tisanes	50	3	7	-	2	10	2	33
Cacao	11	-	7	-	1	7	1	7
Chocolat "tablette"	95	-	63	14	2	63	16	63
Sucre (Saccarose)	32	-	21	-	-	21	-	21
Céréales Petit Déjeuner	121	43	6	-	-	49	-	81
Pain de mie et pain à cuire	73	14	-	3	-	14	3	48
Huiles olive	144	47	48	16	1	95	17	96
Huiles, autres	81	12	12	17	1	24	18	54
Epices, poivre, herbes aromatiques	27	2	12	-	-	14	-	18
Vinaigres	18	11	-	3	2	11	5	12
Condiments	4	-	1	-	-	1	-	2,5
Sauces autres que sauces tomates	13	2	4	-	-	5	-	9
Aides culinaires (crèmes soja, coco, ..)	63	-	17	1	1	17	2	42
Sauce tomate et Ketchup	75	27	16	-	-	43	-	50
Soupes	59	10	3	-	-	13	-	39
Légumes transformés autres que surgelés	124	18	6	6	-	24	6	83
Pâtes sèches	65	30	5	6	-	35	6	44
Riz	51	15	15	3	-	30	3	34
Farine	47	9	-	2	1	9	3	32
Légumes secs	28	4	6	4	-	10	4	19
Quinoa	28	-	20	2	-	20	2	19
Autres graines (céréales brutes, semoule, boulgour, autres)	70	21	14	7	1	35	8	47
Infantiles (hors lait)	110	12	20	7	-	32	7	73
Boissons et desserts végétaux	158	20	11	5	-	31	5	105
Jus et nectar d'orange et agrumes	56	-	32	-	-	32	-	37
Jus de pomme et raisin	82	10	12	2	1	22	3	55
Jus et nectars mélanges de fruits	58	15	15	-	1,00	30	1	39
Autres jus de fruits	20	1	4	-	-	5	-	13
Jus de légumes	7	3	-	-	-	3	-	5
Sirops	20	1	8	2	1	9	3	13
Autres boissons sans alcool	29	1	10	-	-	11	-	19
Cidre	14	-	-	-	-	-	-	10
Bières	39	4	-	-	-	4	-	26
Vins	1 053	2	-	242	215	2	457	702

Agence BIO - AND-International 2019 d'après IRI Symphonie, SSP et Agence BIO

7 Bibliographie

- AgenceBIO. 2015. "La bio en France des producteurs aux consommateurs." Pp. 38, edited by Les Carnets de l'Agence BIO.
- Agreste. 2020. "Pratiques phytosanitaires en production légumière en 2018. IFT et nombre de traitements." edited by Chiffres et données.
- . 2021. "Produits phytosanitaires : quelles performances économiques en grandes cultures ?", edited by Les Dossiers.
- Bertin, Chloé, Didier Cébron, José Masero, and Déborah Massis. 2016. "Démarches de qualité/diversification et emploi." *Agreste Les Dossiers*:25.
- Bouwman, A. F., K. W. Van der Hoek, B. Eickhout, and I. Soenario. 2005. "Exploring changes in world ruminant production systems." *Agricultural Systems* 84(2):121-53.
- Butault, Jean-Pierre, Nathalie Delame, Florence Jacquet, Patrick Rio, Guillaume Zardet, Marc Benoit, Alain Blogowski, Zouhair Bouhsina, Alain Carpentier, Dominique Desbois, Pierre Dupraz, Laurence Guichard, Jean-Marc Rousselle, François Ruas Jean, and Marc Varchavsky. 2009. "Ecophyto 2009. Vers des systèmes économiques en produits phytosanitaires. volet 1. TOME VI: Analyse ex-ante de scénarios de rupture dans l'utilisation des pesticides.": INRA.
- Cederberg, Christel, and Magnus Stadig. 2003. "System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production."
- de Ponti, Tomek, Bert Rijk, and Martin K. van Ittersum. 2012. "The crop yield gap between organic and conventional agriculture." *Agricultural Systems* 108:1-9.
- Forslund, Agneta, Fabrice Levert, Cyril Cuvelette, Chantal Le Mouel, and Alexandre Gohin. 2013a. "Etude complémentaire à l'analyse rétrospective des interactions du développement des biocarburants en France avec l'évolution des marchés français et internationaux et les changements d'affectation des sols - Volet 2 : Evaluation des effets du développement des biocarburants en France sur les marchés des grandes cultures et sur le changement d'affectation des sols - Rapport intermédiaire : La base de données du modèle MATSIM-LUCA." Pp. 50 p.
- Forslund, Agneta, Fabrice Levert, Alexandre Gohin, and Chantal Le Mouel. 2013b. "Etude complémentaire à l'analyse rétrospective des interactions du développement des biocarburants en France avec l'évolution des marchés français et internationaux et les changements d'affectation des sols - Volet 2 : Evaluation des effets du développement des biocarburants en France sur les marchés des grandes cultures et sur le changement d'affectation des sols : Le modèle MATSIM-LUCA." Pp. 119 p.
- . 2013c. "Etude complémentaire à l'analyse rétrospective des interactions du développement des biocarburants en France avec l'évolution des marchés français et internationaux et les changements d'affectation des sols - Volet 2 : Evaluation des effets du développement des biocarburants en France sur les marchés des grandes cultures et sur le changement d'affectation des sols : une analyse à l'aide du modèle MATSIM-LUCA : résultats des simulations."
- Forslund, Agneta, Fabrice Levert, Jonathan Hercule, and Chantal Le Mouel. 2017. "Etude CLAC-LUC, crop-livestock land competition: land use change and greenhouse gas emissions." Pp. 98 p. + annexes.
- Gaudaré, Ulysse, Sylvain Pellerin, Marc Benoit, Guillaume Durand, Bertrand Dumont, Pietro Barbieri, and Thomas Nesme. 2021. "Comparing productivity and feed-use efficiency between organic and conventional livestock animals." *Environmental Research Letters* 16(2):024012.
- Gohin, Alexandre, Fabrice Levert, and Agneta Forslund. 2017. "The EU-Argentinean trade dispute on biodiesel: an economic assesment." *German Journal of Agricultural Economics* 66(1):44-59.
- Guyomard, H. 2013. "Vers des agricultures à hautes performances. Volume 1. Analyse des performances de l'agriculture biologique." Pp. 368: Inra.
- Hercule, Jonathan, Fabrice Levert, Agneta Forslund, and Chantal Le Mouel. 2017. "Etude CLAC-LUC, crop-livestock land competition: land use change and greenhouse gas emissions: Extension de

- la base de données du modèle Matsim-Luca aux marchés des produits animaux." Pp. 49 p. + annexes.
- Herrero, Mario, Petr Havlík, Hugo Valin, An Notenbaert, Mariana C. Rufino, Philip K. Thornton, Michael Blümmel, Franz Weiss, Delia Grace, and Michael Obersteiner. 2013. "Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(52):20888-93.
- Leip, A., W. Britz, F. Weiss, and W. de Vries. 2011. "Farm, land, and soil nitrogen budgets for agriculture in Europe calculated with CAPRI." *Environ Pollut* 159(11):3243-53.
- Leip, A., G. Marchi, R. Koeble, M. Kempen, W. Britz, and C. Li. 2008. "Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe." *Biogeosciences* 5(1):73-94.
- Levert, Fabrice, Agneta Forslund, Jonathan Hercule, and Chantal Le Mouel. 2017. "Etude CLAC-LUC, crop-livestock land competition: land use change and greenhouse gas emissions." Pp. 55 p. + anexes.
- Massis, Déborah, and François Hild. 2016. "La pratique de l'agriculture biologique créatrice d'emploi ?" *Agreste Les Dossiers* 35:32.
- Midler, Estelle, Jean-Noël Depeyrot, and Cécile Détang-Dessendre. 2019. "Performance environnementale des exploitations agricoles et emploi." *Document de travail - Centre d'études et de prospectives* 14:35.
- Mora, Olivier, Jeanne-Alix Berne, Jean-Louis Drouet, Chantal Le Mouël, and Claire Meunier. 2023. "Prospective : Agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050." : INRAE.
- Offermann, F., and H. Nieberg. 2000. "Economic Performance of Organic Farms in Europe." in *Organic Farming in Europe: Economics and Policy*. Universität Hohenheim, Stuttgart - Hohenheim. .
- Opio, Carolyn, Pierre Gerber, Anne Mottet, Giuseppe Tempio, Michael MacLeod, Theun Vellinga, Martin Ecartot, B. Henderson, and Henning Steinfeld. 2013. "Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains - A global life cycle assesment." edited by Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome.
- Ponisio, L. C., L. K. M'Gonigle, K. C. Mace, J. Palomino, P. de Valpine, and C. Kremen. 2015. "Diversification practices reduce organic to conventional yield gap." *Proc Biol Sci* 282(1799):20141396.
- Salou, Thibault. 2017. "Combiner Analyse du Cycle de Vie et modèles économiques pour l'évaluation ex-ante d'instruments de politiques publiques—Application au secteur laitier français" in *Agrocampus Ouest*.
- Salou, Thibault, Haye Van Der Werf, Fabrice Levert, Agneta Forslund, Jonathan Hercule, and Chantal Le Mouel. 2017. "Could EU dairy quota removal favour some dairy production systems over others? The case of French dairy production systems." *Agricultural Systems* 153:1-10.
- Seufert, Verena, Navin Ramankutty, and Jonathan A. Foley. 2012. "Comparing the yields of organic and conventional agriculture." *Nature* 485:229.
- Velthof, G. L., Y. Hou, and O. Oenema. 2015. "Nitrogen excretion factors of livestock in the European Union: a review." *J Sci Food Agric* 95(15):3004-14.
- Veron, Emilien. 2022. "Comparative analysis of revenue and land prices between organic and conventional farming."18.
- Zhang, Xin, and Patrice Dumas. 2016. "Emissions and fertilizer balances in GlobAgri." Pp. 14.