



Documents de Travail

N° 2019/2 • Juin 2019

LE MODÈLE DE SIMULATION DU SECTEUR AGRICOLE FRANÇAIS

MAGALI 2.0

Xavier ORY
Olivia TOUZE

LE MODÈLE DE SIMULATION DU SECTEUR AGRICOLE FRANÇAIS

MAGALI 2.0

Xavier ORY

Olivia TOUZE

Ce document de travail n'engage que ses auteurs. L'objet de sa diffusion est de stimuler le débat et d'appeler commentaires et critiques.

- **Xavier ORY** est en poste à la Direction Générale du Trésor au Ministère de l'Économie et des Finances (France)
xavier.ory@dgtresor.gouv.fr (+33 1 44 87 14 38)
- **Olivia TOUZE** était en poste à la Direction Générale du Trésor au Ministère de l'Économie et des Finances (France)

Table des matières

1.	MAGALI 2.0 : UN MODÈLE D'OFFRE MACRO-ECONOMIQUE DU SECTEUR AGRICOLE	6
1.1	MAGALI 2.0 EST UN MODELE DYNAMIQUE D'OFFRE BASE SUR DES ESTIMATIONS ECONOMETRIQUES	6
1.2	MAGALI 2.0 UTILISE LES SERIES DE DONNEES ECONOMIQUES DU SECTEUR AGRICOLE DE 1975 A NOS JOURS.....	6
1.1.1	Les séries de données sont principalement issues de la statistique agricole ou économique	6
1.1.2	Une base de données améliorée est constituée à partir des données brutes	7
2.	ARCHITECTURE DU MODÈLE MAGALI 2.0	7
2.1.	MODULE 1 : ESTIMATION DU RENDEMENT DES PRODUCTIONS VEGETALES.....	8
2.2.	MODULE 2 : REPARTITION DE LA SURFACE AGRICOLE UTILE.....	8
2.2.1.	Dans le modèle, la surface agricole est répartie entre une ferme « culture » et une ferme « mixte ».....	8
2.2.2.	L'arbitrage entre les productions dépend des rapports de marge.....	8
2.2.3.	Module 2.1 : allocation des terres de la ferme « culture »	9
2.2.4.	Module 2.2 : allocation des terres de la ferme « mixte »	11
2.3.	MODULE 3 : ESTIMATION DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE EN VIANDES ET FORMATION DES PRIX DES VIANDES	12
2.4.	MODULE 4 : MODULE DEMOGRAPHIQUE DU CHEPTEL DANS LE SECTEUR BOVIN.....	13
2.4.1.	Dynamique du modèle démographique.....	13
2.4.2.	Equations de comportement	14
2.4.3.	Système laitier et effectifs de vaches	14
2.5.	MODULE 5 : ESTIMATION DE LA DEMANDE ET DES PRIX DES CONSOMMATIONS INTERMEDIAIRES	15
2.6.	MODULE 6 : ESTIMATION DES CHARGES SALARIALES ET DU REVENU DU SECTEUR	16
3.	UTILISATION DU MODÈLE	17
3.1.	UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION PUBLIQUE.....	17
3.2.	EXEMPLES D'APPLICATION	17
3.2.1.	Principe des variantes.....	17
3.2.2.	Variante n°1 : augmentation du prix du blé tendre de 10 %	18
3.2.3.	Variante n°2 : augmentation du prix du pétrole de 10 %	22
3.2.4.	Variante n° 3 : augmentation des importations de viande bovine de 10 %	25
3.2.5.	Variante n°4 : baisse de la consommation de viande de 10 %	29

Résumé

La Direction générale du Trésor du Ministère de l'Économie et des Finances et le Service de la statistique et de la prospective du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation ont développé un modèle de simulation du secteur productif agricole français. Le modèle *Magali 2.0* est un modèle d'offre de moyen terme. Le secteur agricole français est modélisé par une ferme « culture » et une ferme « mixte » (cultures et élevage). La répartition de la production est estimée sous certaines contraintes exogènes (ex. : prix des céréales, prix du pétrole, consommation de viande par habitant en France, quantité de viande importée, subventions, etc.). Les résultats économiques du secteur agricole sont également évalués. Principale évolution du modèle depuis sa précédente version (Mathieu et Ramanantsoa, 2008), un module démographique du cheptel bovin est intégré et permet de mieux prendre en compte les spécificités de la production bovine française (cheptel laitier et allaitant, réparti par sexe et par classe d'âge). Cette répartition permet de simuler plus finement les conséquences de certaines variations (ex. : hausse des importations de viande bovine). Plusieurs simulations de réponse à des chocs exogènes (« variantes ») ont été réalisées, afin de tester le comportement du modèle : augmentation du prix du blé tendre de 10 %, augmentation du prix du pétrole de 10 %, augmentation des importations de viande bovine de 10 % et baisse de la consommation de viande bovine de 10 %. Plus généralement, le modèle *Magali 2.0* permet de simuler l'impact de différentes politiques publiques ou d'un changement de l'environnement macro-économique sur le secteur agricole. Les simulations peuvent notamment porter sur une variation des taxes affectant les intrants (énergie, engrais, produits phytopharmaceutiques), une variation des soutiens publics (dans le cadre de la politique agricole commune notamment) par type de production ou une variation des importations d'un ou plusieurs produits agricoles.

Mots-clés : agriculture, production, politiques publiques, simulation, évaluation *ex ante*.

Classification JEL : C51, C81, L23, L78, Q11, Q18

Abstract

The Directorate-General of the Treasury of the Ministry of Economy and Finance and the Statistics and Prospective Department of the Ministry of Agriculture and Food have developed a simulation model of the French agricultural productive sector. *Magali 2.0* is a medium-term supply model. The French agricultural sector is modeled by a "crops" farm and a "mixed" farm (crops and livestock). The allotment of production is estimated under a few exogenous constraints (e.g. price of cereals, price of oil, consumption of meat *per capita* in France, quantity of imported meat, subsidies, etc.). The economic results of the agricultural sector are also measured. The main evolution since the previous version of the model (Mathieu and Ramanantsoa, 2008) is a demographic module of the cattle herd which makes it possible to better take into account the specificities of the French cattle production (dairy and nursing cattle, distributed by sex and by age categories). This distribution allows to simulate more accurately the consequences of some variations (e.g. increased imports of beef). Several simulations of response to exogenous shocks ("alternative scenarios") were carried out, in order to test the behavior of the model: increase of soft wheat price by 10%, increase of oil prices by 10%, increased imports of beef by 10% and reduction of beef consumption by 10%. More generally, the *Magali 2.0* model makes it possible to simulate the impact of different public policies or changes in the macroeconomic environment on the agricultural sector. The simulations can notably relate to a variation of the taxes affecting inputs (energy, fertilizers, plant protection products), a variation of the public supports (within the framework of the common agricultural policy in particular) by type of production or a variation of the imports of one or several agricultural products.

Key words: agriculture, production, public policies, simulation, *ex ante* assessment.

JEL classification numbers: C51, C81, L23, L78, Q11, Q18

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des adjoints et chefs du bureau Polsec4 « Environnement, climat et agriculture » (Direction générale du Trésor, Ministère de l'Économie et des Finances), ainsi que les agents du Service de la statistique et de la prospective (Secrétariat général, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation), en particulier José Ramanantsoa, qui ont contribué au développement du modèle *Magali 2.0*.

Introduction

Magali (Modèle Agricole Analysant les Liaisons Intra-sectorielles) est un modèle macro-sectoriel qui représente de façon agrégée l'ensemble de l'agriculture française. Il est développé conjointement par la Direction générale du Trésor et par le Service de la statistique et de la prospective du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. La version *Magali 2.0* comporte 312 « équations de comportement » estimées économétriquement et 1 702 équations de bouclage. C'est un modèle d'offre de moyen terme étendu à un équilibre partiel pour le secteur des viandes.

En pratique, *Magali 2.0* permet d'évaluer la réaction de l'agriculture française face à des *stimuli* externes tels que des mesures de politique agricole ou des modifications de l'environnement macroéconomique.

Héritier de modélisations précédentes (Boussard, 1973 ; Montfort, Ruch et Winter, 1974), ce modèle existe depuis 1983 (Albecker *et al.*, 1983). Il a fortement évolué depuis sa création, d'une part en raison des améliorations continues apportées, d'autre part en fonction des évolutions de la politique agricole nécessitant des modifications de structure et de conception. Ainsi, depuis 1991, il a été complètement repensé à trois reprises pour tenir compte des nouveaux mécanismes de la politique agricole commune (PAC). Depuis 1992, la PAC est principalement caractérisée par un système d'aides directes (aides à la surface ou au cheptel). En 2003, la réforme de la PAC a découplé la majorité des aides : la plupart ne sont désormais plus liées à la production mais directement allouées à l'exploitation en fonction d'une référence historique (droits à paiement unique). Enfin, parmi les modifications liées à la réforme de 2014, les changements des aides spécifiques aux exploitations de polyculture-élevage et d'élevage et les modifications des soutiens aux protéagineux ont à nouveau impliqué de restructurer en profondeur le modèle. La réforme en cours de la PAC, qui devrait entrer en vigueur en 2022 ou 2023, ne devrait pas modifier structurellement la répartition des aides au secteur agricole. Des ajustements devront être apportés au modèle, à la marge, notamment sur la répartition des futurs paiements pour services environnementaux le cas échéant.

Ce document présente la dernière version du modèle : *Magali 2.0*. Jusqu'en 2014, *Magali* considérait le secteur agricole dans son ensemble comme une unique « ferme France ». Or les mécanismes sous-jacents aux exploitations de polyculture-élevage se distinguent profondément de ceux des exploitations de cultures pures et des questions différentes de politiques se posent d'un système à l'autre avec la réforme de la PAC de 2014. Un chantier a donc été entrepris afin de distinguer la ferme France de type « élevage ou polyculture-élevage » de la ferme France de type « cultures », avec l'objectif de pouvoir préciser les analyses sur chaque secteur et d'améliorer la qualité globale du modèle.

Ce document de travail aborde dans un premier temps le fonctionnement de *Magali 2.0* : structure générale du modèle, modules d'équations et démographie du cheptel bovin. Dans un second temps, le comportement du modèle est présenté par le biais de quatre variantes, correspondant à des chocs exogènes sur certaines variables.

1. *Magali 2.0*: Un modèle d'offre macro-économique du secteur agricole

1.1 *Magali 2.0* est un modèle dynamique d'offre basé sur des estimations économétriques

Le modèle *Magali 2.0* décrit l'évolution de l'agriculture française en termes de production physique (surfaces, rendements, cheptels, volumes, etc.), de contraintes de production (consommations intermédiaires, subventions, charges salariales, etc.) et de résultats (valeur ajoutée, excédent brut d'exploitation, etc.).

Les relations économiques sont exprimées de manière simplifiée par des « équations de comportement ». Le modèle est principalement un modèle d'offre, centré sur la production. Toutefois, il est étendu à un équilibre partiel pour les productions animales (prix calculés par le modèle). Les prix du secteur végétal sont exogènes.

Le secteur agricole est considéré au niveau macro-économique, en séparant la ferme France en deux exploitations (exploitation « culture » et exploitation « mixte »). L'exploitant arbitre ses différentes productions, d'une part, entre les deux fermes (culture et mixte) et, d'autre part, au sein de chacune d'entre elle, en fonction des espérances de marges, sous contrainte de disponibilité de facteurs fixes tels que la terre agricole.

Les équations économétriques du modèle permettent d'estimer les variables endogènes. Les paramètres (ou coefficients) de ces équations sont estimés à partir des séries chronologiques réelles de l'ensemble des variables du modèle (cf. partie 1.2). Le modèle compte 312 équations économétriques et 1 702 équations de bouclage. Il permet de déterminer les variables endogènes. Les variables exogènes, qui ne sont pas évaluées par le modèle, peuvent être modifiées à des fins de simulation.

Magali 2.0 est un modèle dynamique et récursif. Les résultats obtenus pour une variable une année donnée peuvent influencer sur les résultats des années suivantes, pour la même variable ou d'autres variables. Le pas de résolution est annuel et l'horizon de simulation est de 7 ans (moyen terme).

1.2 *Magali 2.0* utilise les séries de données économiques du secteur agricole de 1975 à nos jours

1.2.1 *Les séries de données sont principalement issues de la statistique agricole ou économique*

Afin de réaliser l'estimation des équations économétriques, le modèle doit disposer des valeurs réellement constatées pour l'ensemble des variables endogènes et exogènes, depuis 1975 environ (ou précédemment lorsque les données sont disponibles).

Les principales sources de données utilisées sont les suivantes :

- Comptes de l'agriculture de la nation (Insee), pour les données de comptabilité nationale du secteur agricole ;
- Réseau d'informations comptables agricoles (RICA), sous format agrégé, pour les données relatives aux soldes intermédiaires de gestion et aux consommations intermédiaires ;
- Agreste, pour les données relatives aux volumes de production ;
- Base de données nationale d'identification (BDNI), pour les données de cheptel ;
- Agence de service et de paiement (ASP) et FranceAgriMer (FAM), pour les données relatives aux subventions agricoles ;
- Douanes et Eurostat, pour les données du commerce extérieur ;

- Enquêtes de l'Insee, pour les données macroéconomiques (PIB, Smic, population, etc.) ;
- Relevés MétéoFrance, pour les données météorologiques ;
- Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), pour les données de pollution.

1.2.2 Une base de données améliorée est constituée à partir des données brutes

Les données brutes issues des sources présentées ci-avant font l'objet de plusieurs traitements :

- La première étape consiste à rendre homogènes les différentes données relevant de la même unité. Par exemple, les volumes de production sont tous exprimés en milliers de tonnes.
- La deuxième étape consiste à calculer les agrégats à partir des niveaux fins de production. Par exemple, le nombre total de vaches correspond à la somme du nombre de vaches laitières et de vaches allaitantes.
- La troisième étape consiste au calcul de l'ensemble des variables endogènes et exogènes qui seront utilisées par le modèle. Par exemple, on déduit la marge unitaire pour la production « veau » à partir des volumes de production, des prix, des consommations intermédiaires et des subventions pour cette production.

Ces différentes étapes permettent de s'assurer que les données utilisées sont homogènes et cohérentes. L'ensemble de ces données constitue la « base améliorée » qui servira à l'estimation des coefficients des équations économétriques

Un travail préliminaire spécifique a été effectué sur les données des effectifs bovins afin de déterminer la répartition entre les bovins laitiers et les bovins allaitants, à l'aide d'équations économétriques. Les données ainsi estimées ont ensuite été ajustées avec les données existantes de la BDNI et rétropolées sur le passé pour obtenir des séries cohérentes.

2. Architecture du modèle *Magali 2.0*

Le modèle *Magali 2.0* est structuré par six modules d'équations (cf. tableau 1). Les différents modules sont dépendants les uns des autres : les résultats obtenus au sein d'un module servent aux équations d'un autre module.

Tableau 1 : Modules de *Magali 2.0*

Module	Contenu
Module 1	Estimation des rendements
Module 2	Répartition de la surface agricole utile
2.1	Allocation des terres de la ferme « culture » et calcul de l'offre
2.2	Allocation des terres de la ferme « mixte » et calcul de l'offre
2.2.1	Cultures de vente
2.2.2	Intra-consommations en céréales et oléo-protéagineux (COP)
2.2.3	Superficies fourragères
Module 3	Estimation de l'offre et de la demande en viande et formation des prix des viandes
Module 4	Module économique de démographie du cheptel dans le secteur bovin
Module 5	Estimation de la demande et des prix des consommations intermédiaires
Module 6	Estimation du revenu agricole

2.1. Module 1 : Estimation du rendement des productions végétales

La première étape du modèle consiste à estimer le rendement des productions végétales, correspondant à la quantité produite par hectare. Pour cela, le modèle résout un programme d'optimisation du rendement en prenant en compte la valeur qui peut être retirée d'une hausse du rendement et le coût associé en termes d'usage supplémentaire d'intrants. Ainsi, dans les équations d'estimation, le rendement dépend positivement du rapport entre le prix de vente de la culture et le prix des intrants (afin d'éviter la contemporanéité de toutes les variables estimées, les prix considérés sont ceux de l'année précédente).

Le rendement dépend par ailleurs d'une tendance de long terme représentant le progrès technique, ainsi que des variables agro-climatiques. La forme générale des équations de rendement est présentée en annexe 1.

2.2. Module 2 : Répartition de la surface agricole utile

2.2.1. *Dans le modèle, la surface agricole est répartie entre une ferme « culture » et une ferme « mixte »*

Dans le modèle, la surface agricole utile (SAU)¹ totale de la France est répartie entre la part correspondant à la ferme « culture » et la part de la ferme « mixte ». Cette SAU totale est fixe dans le modèle, en revanche la part correspondant à chaque ferme peut évoluer. À l'intérieur de chaque type de ferme, les superficies sont redistribuées selon les productions et en fonction de leur utilisation.

Au sein de la ferme « culture », les terres sont dédiées à la production de cultures destinées exclusivement à la vente.

Au sein de la ferme « mixte », qui regroupe les activités d'élevage et de culture, le modèle décompose les superficies en plusieurs catégories :

- les superficies fourragères, dont la production est uniquement dédiée à l'alimentation des animaux herbivores ;
- les cultures, qui sont réparties en deux catégories :
 - o les cultures pouvant être intra-consommées qui pourront être soit effectivement intra-consommées par l'ensemble des animaux, soit vendues ;
 - o les autres cultures, qui sont uniquement destinées à la vente.

Afin de répartir la surface agricole utile (SAU) de la ferme France entre la ferme « culture » et la ferme « mixte », on estime la part des superficies dédiées à la ferme « culture » au sein de la ferme France (dont la superficie est exogène). À ce niveau d'agrégation, les rentabilités relatives sont mesurées par le biais des excédents bruts d'exploitation par hectare (EBE/ha). L'excédent brut d'exploitation est obtenu à partir de la valeur ajoutée à laquelle s'ajoutent les subventions d'exploitation diminuées des charges salariales et des impôts à la production. Ainsi la part des superficies dédiées à la ferme de type « culture » dans l'ensemble de la surface agricole utile dépend positivement de cette part l'année précédente (effet d'inertie) et positivement du rapport, de l'année précédente également, entre l'EBE/ha de la ferme « culture » et l'EBE/ha de la ferme France. Par soustraction, on en déduit la part de la SAU dédiée à la ferme « mixte ».

2.2.2. *L'arbitrage entre les productions dépend des rapports de marge*

La marge brute d'une production est la variable clef indiquant les gains ou les pertes de rentabilité du produit. Plus la marge brute d'une production est élevée, plus l'exploitant aura tendance à allouer une superficie importante à cette production au détriment des autres, dont la marge est relativement plus faible.

¹ La surface agricole utile comprend les terres arables, les surfaces toujours en herbe et les cultures permanentes. Elle correspond à l'ensemble de la superficie « exploitée » par le secteur agricole. Elle ne comprend pas les surfaces forestières.

La marge brute d'une production est exprimée en euros par hectare pour les productions végétales et en euros par unité de gros bétail (UGB)² pour les productions animales. Elle est calculée comme la différence entre la valeur de la production (dont les subventions à la production) et la valeur des consommations intermédiaires. Ainsi, la marge dépend positivement du prix et du volume de la production ainsi que des subventions à la production et négativement du prix et du volume de chacune des consommations intermédiaires.

Pour les cultures, les consommations intermédiaires (également appelées *intrants*) retenues sont les semences, les engrais, les produits pétroliers et les produits phytopharmaceutiques. Pour les animaux, seuls les aliments industriels, les aliments intra-consommés et les produits vétérinaires sont pris en compte. Les aliments intra-consommés (fourrages, céréales et oléo-protéagineux) sont valorisés au coût de production diminué éventuellement des aides à la surface couplées à la production (cf. encadré 1).

Pour chaque culture, le modèle estime la part de la superficie de cette culture au sein du groupe de cultures dont elle fait partie. Cette part dépend positivement du rapport entre la marge de la culture et la marge du groupe de culture dont elle fait partie (les marges considérées sont celles de l'année précédente ; pour certaines cultures, on considère les rapports de marge sur les deux années précédentes³). Certaines équations peuvent contenir des tendances, des variables indicatrices et/ou la variable endogène de l'année précédente. Cette dernière spécification répond à une relative inertie de la production (contraintes de rotation, existence d'un coût d'ajustement, spécificité géographique de certaines productions, fixité à court terme des facteurs de production tels que le capital et le travail).

Encadré 1 : La prise en compte des aides de la PAC dans *Magali 2.0*

Les aides de la PAC sont prises en compte à différents niveaux dans *Magali 2.0* :

- les soutiens couplés à la production (ex. : aide au blé dur) sont pris en compte dès le calcul de la valeur totale de chaque production ;
- les soutiens découplés de la production (ex. : droit à paiement de base), ainsi que l'indemnité compensatrice de handicaps naturels (ICHN) pour la ferme mixte, sont pris en compte au niveau du calcul de l'excédent brut d'exploitation de chacune des fermes.

En revanche, certaines subventions, qui sont liées à des projets spécifiques, ne sont pas prises en compte. Il s'agit notamment des aides aux projets environnementaux (ex. : mesures agro-environnementales et climatiques ou aides à l'agriculture biologique), des aides à l'investissement ou des aides à l'installation des jeunes agriculteurs.

2.2.3. Module 2.1 : Allocation des terres de la ferme « culture »

Les superficies des cultures sont allouées selon une répartition en arborescence (cf. figure 1).

L'étape 0 de la répartition correspond à celle décrite en partie 2.2.1.

Pour les étapes qui suivent, les rentabilités relatives sont appréhendées à travers les rapports des marges brutes par hectare (cf. 2.2.2).

À l'étape 1 de la répartition, au sein des cultures pérennes, seules les superficies en fruits sont estimées. Les surfaces en vins sont exogènes.

À l'étape 2, au sein du solde découlant de l'étape 1, on estime individuellement les superficies en « végétaux divers » comprenant les légumes frais, pommes de terre (féculerie et autres pommes de terre), tabac, autres

² L'unité de gros bétail est une unité de référence permettant d'agréger le bétail de différentes espèces et de différents âges en utilisant des coefficients spécifiques établis sur la base des besoins nutritionnels. L'unité standard utilisée correspond à l'équivalent pâturage d'une vache laitière produisant 3 000 kg de lait par an, sans complément alimentaire concentré.

³ Dans certains cas, les rapports de marge sont considérés sur les deux années précédentes car les spécifications des équations étaient meilleures.

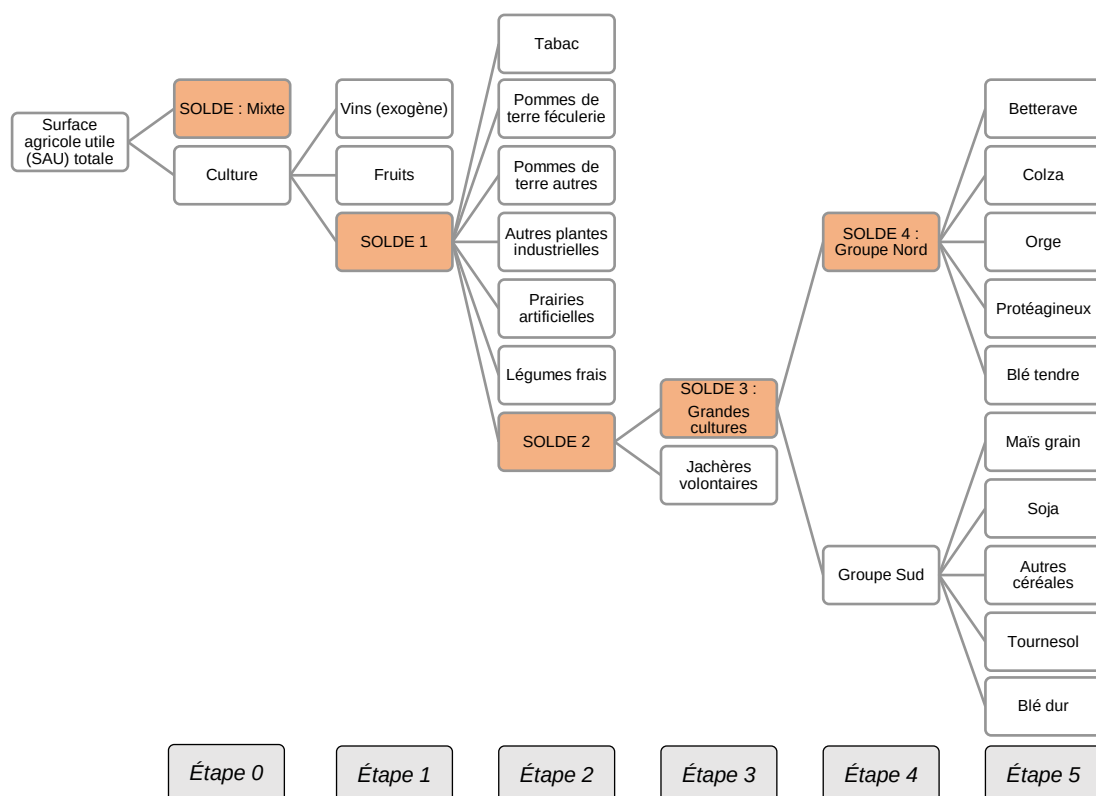
plantes industrielles. À cette étape, on estime également les superficies en prairies artificielles⁴. Au sein de la ferme « culture », ces dernières sont considérées comme des cultures de vente. En revanche, au sein de la ferme « mixte », elles sont considérées comme des fourrages au même titre que le maïs fourrage, les prairies temporaires et les superficies toujours en herbe qui seront, par hypothèse, intégralement intra-consommés.

À l'étape 3, dans le solde découlant de l'étape 2, on sépare les jachères du reste des terres cultivées pour les grandes cultures en fonction du rapport entre la marge d'un hectare de jachère et la marge d'un hectare de l'agrégat « grandes cultures ». Le terme *jachère* désigne une terre labourable ne donnant pas de récolte. Par conséquent, dans la mesure où il n'y a pas de vente de produit, la marge d'un hectare de jachère est approchée par le montant des aides perçues.

À l'étape 4, le solde découlant de l'étape 3 est séparé en deux sous-ensembles représentant les deux grands groupes d'assolement constatés en France : d'une part un premier groupe (« Nord ») rassemblant les productions de betterave, de blé tendre, de colza, de protéagineux et d'orge ; d'autre part un second groupe (« Sud ») rassemblant les productions de maïs grain, de tournesol, de soja, de blé dur et d'autres céréales.

À l'étape 5, les surfaces en grandes cultures sont réparties au sein des deux sous-ensembles présentés à l'étape 4, en fonction des rapports de marges à l'hectare. Lors de cette dernière étape, tant au sein du groupe « Nord » qu'au sein du groupe « Sud », il n'y a pas de production dont la superficie est significativement supérieure à toutes les autres, contrairement aux étapes précédentes. Ainsi, on ne calcule pas de solde au sein de ces groupes, mais on estime une répartition relative de chacune des cultures (ex. : part de la culture « blé tendre » au sein du groupe « Nord »). On en déduit la superficie en rapportant cette part à la superficie du groupe.

Figure 1 : Étapes de la répartition des superficies pour la ferme de type « culture »



Note de lecture : À l'étape 2, on estime les superficies en tabac, pommes de terre féculerie, pommes de terre autres, autres plantes industrielles, prairies artificielles et légumes frais, en fonction du rapport entre la marge de chaque de ces cultures la marge moyenne de l'ensemble du groupe « Solde 1 ». On en déduit le « Solde 2 », qui est la différence entre le « Solde 1 » et la somme des superficies de chacune des cultures listées ci-avant.

⁴ Une prairie artificielle est ensemencée avec au moins 80 % de légumineuses. Cette prairie est dite artificielle car elle a été créée récemment par un travail de la terre et des semis (source : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation).

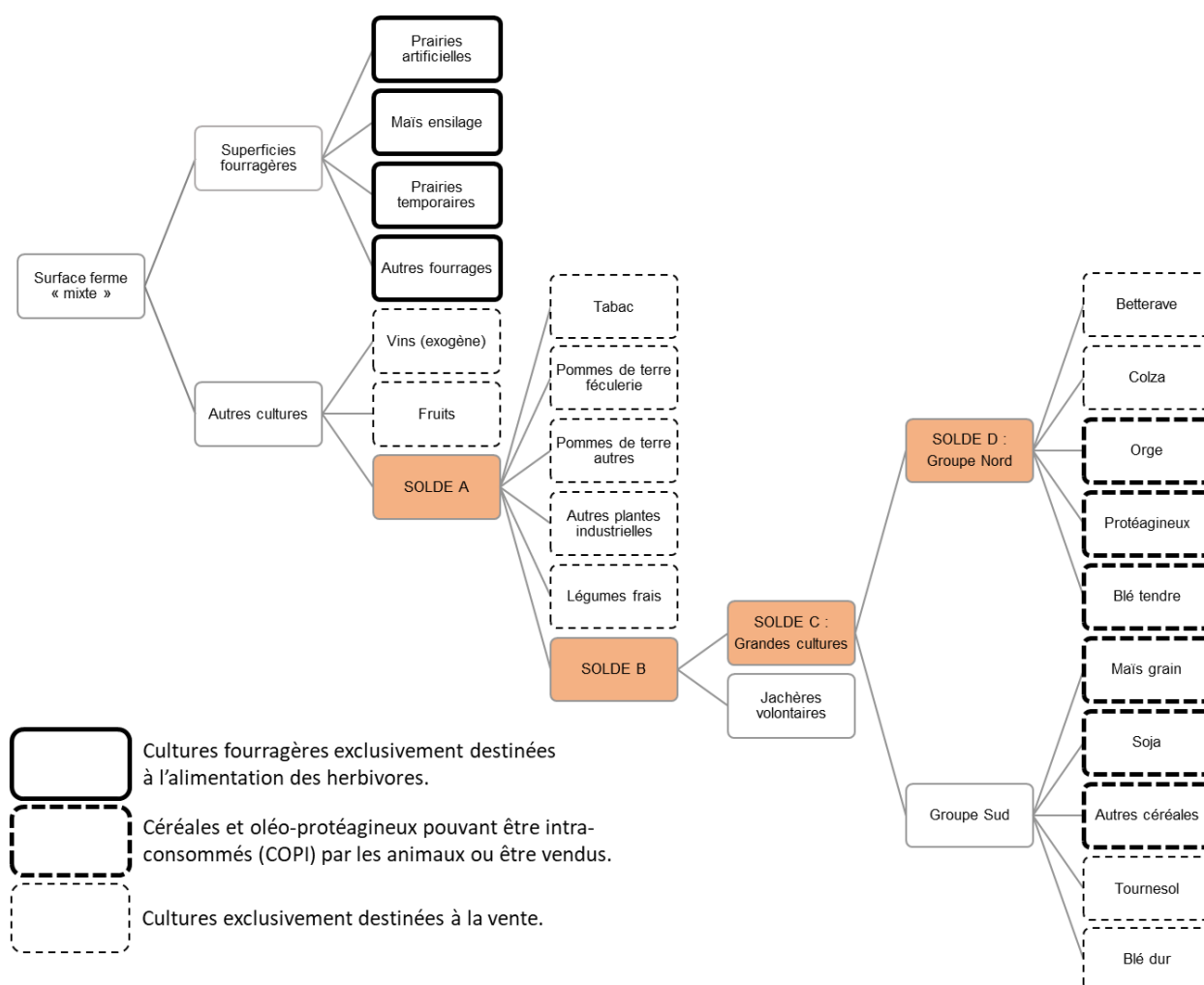
2.2.4. Module 2.2 : Allocation des terres de la ferme « mixte »

Dans un premier temps, on estime la part des cultures vendues et la part des cultures intra-consommées dans la superficie de la ferme « mixte ». Ces parts dépendent des rapports de marge de chacun des groupes (cf. 2.2.2).

La répartition des cultures vendues de la ferme « mixte » suit la même logique que celle présentée en partie 2.2.3 pour la ferme « culture », à l'exception des prairies artificielles. En effet, dans la ferme « mixte », ces dernières sont intégrées dans les fourrages destinés exclusivement à l'intra-consommation.

Par ailleurs, au sein de la ferme « mixte », certaines cultures en céréales et oléo-protéagineux peuvent être soit vendues, soit intra-consommées. Il s'agit du blé tendre, de l'orge, du maïs grain, des protéagineux, du soja et des « autres céréales » (cf. figure 2). Ces cultures sont appelées « céréales et oléo-protéagineux intra-consommables » (COPI). Le choix entre la vente et l'intra-consommation dépend de la rentabilité relative entre la vente et l'utilisation comme alimentation animale pour les bovins (lait ou viande), ovins-caprins, porcins et volailles. Ainsi, la superficie dédiée à la production de COPI pour l'alimentation des animaux dépend négativement de la marge de la culture (plus la marge de la culture est élevée, plus l'exploitant est incité à la vendre sur le marché) et positivement de la marge de l'animal.

Figure 2 : Répartition des superficies au sein de la ferme « mixte »



Note de lecture : Dans le modèle, l'orge est une culture qui peut être soit vendue soit intra-consommée pour l'alimentation des animaux. Le blé dur est une culture qui est uniquement destinée à la vente. Les prairies temporaires sont uniquement destinées à l'alimentation des herbivores.

Ensuite, on détermine les superficies dédiées aux herbivores. La production animale est constituée d'herbivores (bovins allaitants, bovins laitiers et ovins-caprins) et de productions hors-sol (porcins, volailles et œufs). Pour leur alimentation, les herbivores consomment des fourrages, des COPI intra-consommés et des aliments industriels⁵. Les animaux hors-sol consomment uniquement des COPI intra-consommés et des aliments industriels.

La superficie dédiée aux herbivores (COPI et fourrages) est estimée en déduisant des superficies dédiées à la ferme « mixte » les superficies des cultures destinées à la vente et celles dédiées aux intra-consommations en COP du secteur hors-sol. Ces superficies sont ensuite réparties selon le type d'herbivores en fonction des rapports de marge entre les différentes productions d'herbivores. Les surfaces en fourrages dédiées à chaque type d'herbivore s'obtiennent en déduisant les surfaces des COPI.

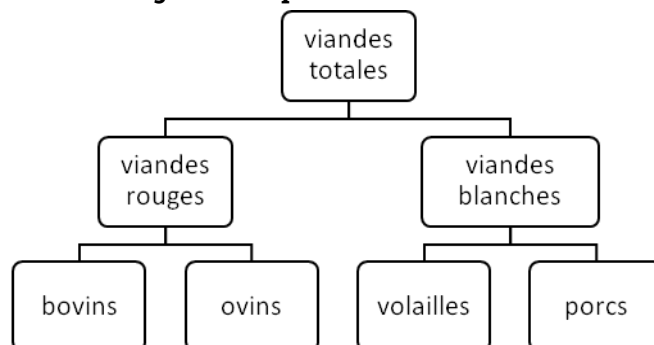
Enfin, on estime la superficie fourragère (maïs fourrage, prairies artificielles, prairies temporaires et autres fourrages) dédiée à chaque type d'herbivore (bovins allaitants, bovins laitiers et ovins-caprins). Le coût relatif des fourrages est, pour un animal donné, la variable clé de la consommation d'un type de fourrage particulier par rapport à un autre. Pour un animal donné, la part des superficies dédiée à la production d'un fourrage dépend négativement du coût de production à l'hectare du fourrage et positivement du coût de production à l'hectare de l'ensemble des fourrages.

2.3. Module 3 : Estimation de l'offre et de la demande en viandes et formation des prix des viandes

Le modèle intègre un système de demande en viande simplifié avec un équilibre partiel et calcule *in fine* les prix des viandes.

L'**utilisation intérieure (consommation)** totale de viande par habitant est exogène. L'utilisation intérieure de viande en France correspond à la consommation indigène brute. Deux sous-catégories sont distinguées : les viandes rouges d'une part (bovins et ovins) et les viandes blanches d'autre part (volailles et porcs) (cf. figure 3).

Figure 3 : Répartition des viandes



Le modèle estime la part de l'utilisation intérieure de chaque sous-catégorie de viande dans l'utilisation intérieure totale de viandes. Les demandes spécifiques pour un type de viande sont ensuite estimées à l'intérieur des sous-catégories viandes blanches et viandes rouges. Ces parts dépendent du prix relatif du produit au regard des viandes concurrentes.

Ainsi, la part de consommation d'une viande au sein de son groupe dépend positivement de cette part l'année précédente (effet d'inertie) et négativement du rapport entre le prix de cette viande et le prix moyen des viandes du groupe.

La production de produits hors-sol dépend d'une tendance (porc et œuf) ou des quantités offertes l'année précédente (volaille) ainsi que du prix de la viande concernée et des coûts de production correspondants.

⁵ Les aliments industriels sont des aliments achetés sur le marché, composés de céréales, oléo-protéagineux, ainsi que de tourteaux d'oléagineux (résidus solides après extraction de l'huile) et de pulpes de betteraves (résidus solides après extraction du sucre).

Les déterminants de la demande et du prix sont représentés en figure 4.

Le diagramme illustre les relations de causalité entre différents facteurs du marché de la viande, classés en endogènes et exogènes.

Variables Endogènes (encadrées dans un rectangle pointillé bleu) :

- Utilisation intérieure de viandes blanches
- Production de viandes blanches
- Prix moyen des viandes blanches
- Part de l'utilisation intérieure des viandes rouges
- Utilisation intérieure de viandes rouges
- Prix moyen des viandes rouges
- Production de viandes rouges
- Exportations de viandes rouges

Variables Exogènes (encadrées dans un rectangle plein orange) :

- Utilisation intérieure totale de viande
- Exportations de viandes blanches
- Importations de viandes blanches
- Prix de l'alimentation industrielle pour animaux
- Importations de viandes rouges

Flèches de causalité :

- Flèches bleues :** Effet direct.
- Flèches rouges :** Rétroaction.

Signes des flèches :

- Plus (+) :** Effet positif.
- Moins (-) :** Effet négatif.

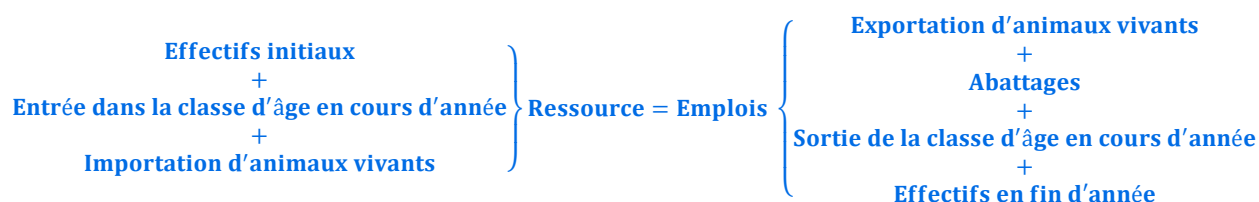
Principales interactions :

- L'utilisation intérieure totale de viande (exogène) a un effet direct positif (+) sur la part de l'utilisation intérieure des viandes rouges (endogène).
- La part de l'utilisation intérieure des viandes rouges (endogène) a un effet direct positif (+) sur l'utilisation intérieure de viandes blanches (endogène) et un effet direct négatif (-) sur l'utilisation intérieure de viandes rouges (endogène).
- L'utilisation intérieure de viandes blanches (endogène) a un effet direct positif (+) sur la production de viandes blanches (endogène).
- La production de viandes blanches (endogène) a un effet direct positif (+) sur le prix moyen des viandes blanches (endogène).
- L'utilisation intérieure de viandes rouges (endogène) a un effet direct positif (+) sur la production de viandes rouges (endogène).
- La production de viandes rouges (endogène) a un effet direct positif (+) sur le prix moyen des viandes rouges (endogène) et un effet direct positif (+) sur les exportations de viandes rouges (endogène).
- Le prix moyen des viandes blanches (endogène) a un effet direct négatif (-) sur les importations de viandes blanches (exogène) et un effet direct positif (+) sur les exportations de viandes blanches (exogène).
- Le prix moyen des viandes rouges (endogène) a un effet direct négatif (-) sur les importations de viandes rouges (exogène) et un effet direct positif (+) sur les exportations de viandes rouges (endogène).
- Le prix de l'alimentation industrielle pour animaux (exogène) a un effet direct positif (+) sur le prix moyen des viandes blanches (endogène) et un effet direct positif (+) sur le prix moyen des viandes rouges (endogène).
- Les importations de viandes blanches (exogènes) ont un effet direct négatif (-) sur le prix moyen des viandes blanches (endogène).
- Les importations de viandes rouges (exogènes) ont un effet direct négatif (-) sur le prix moyen des viandes rouges (endogène).
- Les exportations de viandes blanches (exogènes) ont un effet direct positif (+) sur le prix moyen des viandes blanches (endogène).
- Les exportations de viandes rouges (endogènes) ont un effet direct positif (+) sur le prix de l'alimentation industrielle pour animaux (exogène).

Trésor
DIRECTION GÉNÉRALE

La représentation de l'équilibre ressources/emplois est présenté en figure 5. Cet équilibre s'applique à chaque classe d'âge et de sexe du secteur bovin.

Figure 5 : Équilibre ressources/emplois pour une classe donnée du secteur bovin



Le principe d'absence de pertes implique l'équilibre ressources/emplois d'une part et l'égalité entre les entrées en cours d'année dans une classe d'âge et les sorties en cours d'année de la classe d'âge antérieure d'autre part.

Par ailleurs, les sorties vers une classe d'âge postérieure sont nulles pour les vaches et les bœufs (classes d'âge finales). De proche en proche, on peut évaluer les entrées et sorties des classes d'âge antérieures, et ainsi reconstituer la totalité des flux et des stocks nécessaires pour modéliser la démographie des bovins (cf. figure 6).

Cet équilibre global ressources/emplois pour l'ensemble des bovins est ensuite éclaté afin de distinguer les cheptels laitiers et allaitants.

2.4.2. Équations de comportement

Le modèle calcule les abattages, les effectifs et les exportations de manière dynamique. Les données d'importation sont quant à elles exogènes. Les évolutions sont estimées par des déterminants à la fois démographiques et économiques. Chaque équation reflète un arbitrage entre l'abattage et l'élevage pour chaque sexe et chaque classe d'âge.

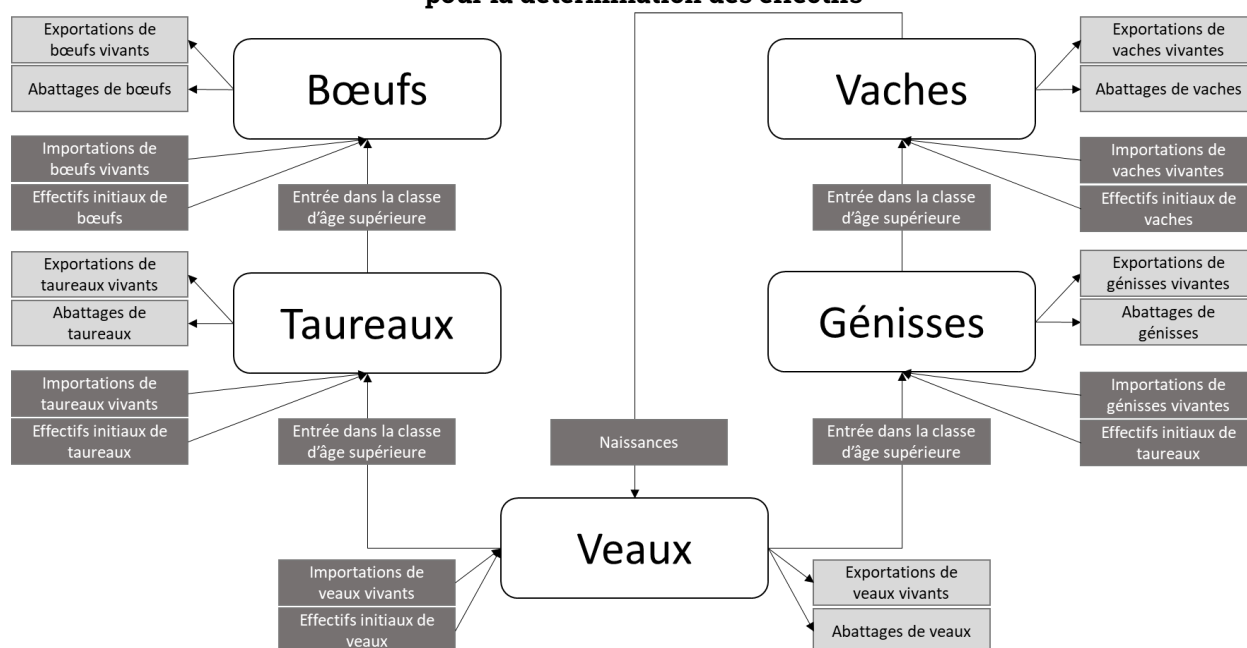
De manière générale, le taux d'abattage, défini comme le rapport entre les effectifs abattus et les ressources d'une classe donnée, dépend positivement de la marge ou du prix du produit (viande) pour la classe d'âge en cours et négativement de la marge ou du prix du produit pour la classe d'âge suivante. Lorsque des aides couplées existent, elles sont également prises en compte. Les prix réagissent à l'offre et à la demande par le biais du système simplifié de demande issu du module 3.

2.4.3. Système laitier et effectifs de vaches

Sur la période d'existence des quotas laitiers, l'effectif de vaches laitières dépend, dans le modèle, essentiellement du rendement laitier par le biais du quota. En d'autres termes, le volume de lait autorisé par le quota détermine l'effectif de vaches compte tenu de l'évolution du rendement laitier. À ce jour, le modèle prolonge la même tendance au-delà de la date de fin des quotas laitiers (à partir de l'année 2016).

Ces équations sont complétées par des équations structurelles liant les effectifs de fin d'année avec les ressources et les abattages, les naissances de veaux avec l'effectif de vaches et les entrées en taureaux et génisses avec les sorties en veaux.

Figure 6 : Interactions entre les classes d'âge et de sexe du cheptel bovin pour la détermination des effectifs



2.5. Module 5 : Estimation de la demande et des prix des consommations intermédiaires

Les consommations intermédiaires comprennent les aliments pour animaux achetés, les produits énergétiques, les produits phytopharmaceutiques, les engrais (azote, phosphore et potassium), les semences et les produits vétérinaires. Par ailleurs, au niveau des agrégats, l'entretien du matériel et des bâtiments et les « autres consommations intermédiaires » sont également pris en compte. La nomenclature utilisée est celle de la comptabilité nationale.

Les demandes en produits pétroliers, en produits phytopharmaceutiques, en engrais et en semences sont détaillées pour chacune des grandes cultures et calculées au niveau des agrégats pour les autres productions végétales.

Pour les cultures des groupes Nord et Sud (*cf.* figure 2, *supra*), la demande d'une consommation intermédiaire pour une production donnée dépend positivement du prix de la production (ou du groupe de production) et négativement du prix de l'intrant (ou négativement du rapport entre le prix de l'intrant et le prix de la production). Pour les cultures autres que celles des groupes Nord et Sud, on utilise les coefficients techniques⁷ de chaque culture pour déterminer la demande en consommation intermédiaires. Ces coefficients techniques sont exogènes.

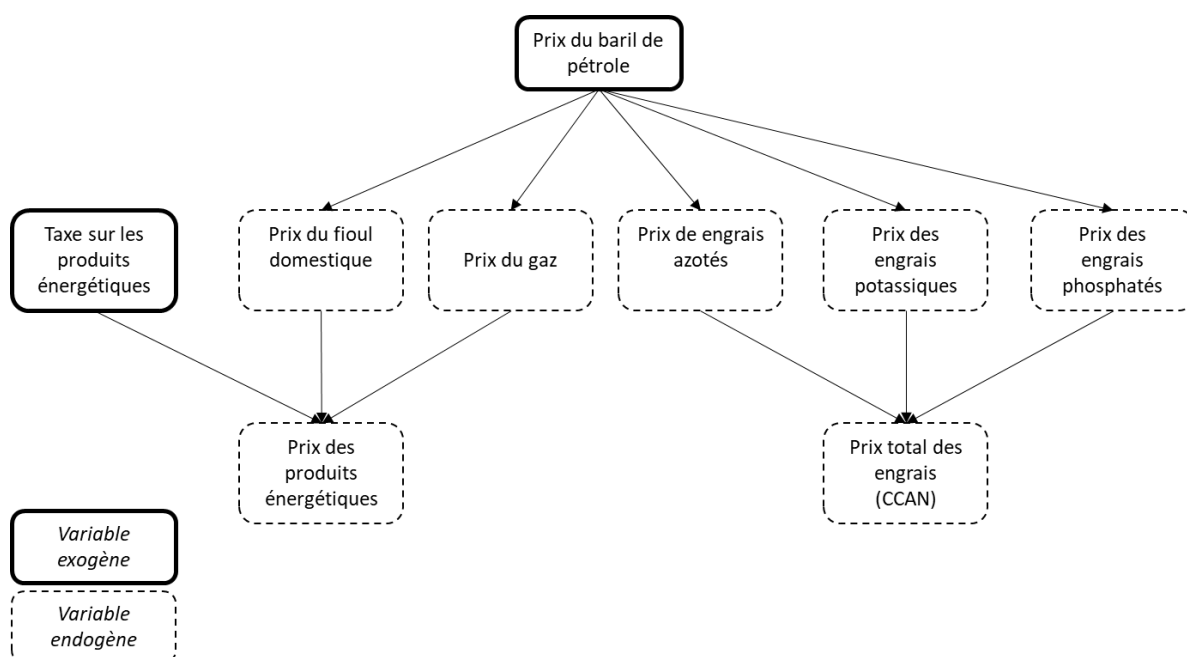
Pour les animaux, en particulier les produits vétérinaires, la demande dépend de l'évolution de la structure du cheptel.

Les quantités d'aliments industriels achetés sur le marché, rapportées au nombre d'unité gros bovins, sont le résultat de la différence entre les besoins en alimentation des animaux (en unités fourragères) et l'alimentation déjà fournie par ailleurs aux animaux (fourrages et COPI intra-consommés). Le prix de ces aliments industriels dépend des prix des COPI, des tourteaux et des pulpes entrant dans leur composition.

Les prix des différents produits énergétiques ainsi que les prix des engrais dépendent du prix du pétrole sur le marché mondial qui est une variable exogène (*cf.* figure 7). La taxe sur les produits énergétiques est également prise en compte dans la détermination du prix.

⁷ Les coefficients techniques correspondent à des volumes d'intrants utilisés en moyenne par culture.

Figure 7 : Déterminants du prix des produits énergétiques et des engrais



2.6. Module 6 : Estimation des charges salariales et du revenu du secteur

2.6.1 Nombre d'unités de travail annuel salariées et rémunération des salariés

Pour chaque type de ferme (« culture », et les deux volets culture et élevage pour la ferme « mixte »), le modèle estime le nombre d'unités de travail annuel (UTA) salariées par hectare ou par UGB ainsi que les charges salariales correspondantes. Le nombre de salariés dépend de la structure de la production via les coefficients techniques, de l'évolution de la rentabilité de chaque type de ferme et du coût de la main d'œuvre.

Ainsi, pour la ferme « culture », le nombre d'UTA salariées par hectare dépend positivement du poids de chaque production dans la production totale, pondérée par son coefficient technique (nombre d'UTA/ha), et d'une pondération sur les trois dernières années de l'EBE par hectare avant paiement des charges salariales. Par ailleurs, il dépend négativement de l'anticipation du coût de la main d'œuvre, dépendant lui-même du Smic.

De façon similaire, pour le volet « production animale » au sein de la ferme « mixte », l'évolution de la main d'œuvre dépend de la structure du cheptel (certaines productions animales sont plus intensives en main d'œuvre que d'autres). On en déduit la rémunération, avec charges, à partir du nombre d'UTA de chaque ferme.

2.6.2 Revenu des fermes « culture » et « mixte »

L'estimation de toutes ces variables en amont ainsi que les équations de bouclage permettent d'évaluer *in fine* l'excédent brut d'exploitation (EBE) pour chaque type de ferme (« culture » et « mixte »), avec la distinction des volets « cultures de vente » et « production animale » pour la ferme « mixte ». Ces EBE permettent de répartir les superficies entre la ferme « culture » et la ferme « mixte » pour les années suivantes.

L'équation de bouclage permettant de déterminer l'EBE utilise la définition de la comptabilité nationale. L'EBE correspond à la valeur ajoutée brute (valeur de la production réduite de la valeur des consommations intermédiaires), à laquelle on ajoute les subventions d'exploitation et on déduit les impôts sur la production et la rémunération chargée des salariés.

3. Utilisation du modèle

3.1 Un outil d'aide à la décision publique

Le modèle *Magali 2.0* permet de simuler à moyen terme l'impact d'un choc exogène sur le secteur productif agricole français par rapport à une situation de référence. Ce choc est introduit en modifiant la valeur d'une ou plusieurs variables exogènes et en observant le résultat en moyenne à moyen terme (moyenne de cinq à sept ans après le choc).

La variation introduite peut correspondre à une évolution de politiques publiques ou à des modifications de l'environnement macro-économique. À titre indicatif, il est possible d'étudier l'impact sur le secteur agricole français de l'évolution, à la hausse comme à la baisse, des variables suivantes :

- prix des productions végétales ;
- surface agricole utile totale de la ferme « France » ;
- prix des intrants (semences, engrais, produits phytopharmaceutiques, produits pétroliers et énergétiques, produits vétérinaires, etc.) ;
- subventions à la production (aides couplées) ou à l'exploitation (aides découplées) ;
- valeur du Smic ;
- impôts sur la production ;
- volume d'importations de viande ou d'animaux vivants ;
- volume de consommation de viande ;
- volume d'exportation d'animaux vivants (sauf bovins) ;
- coefficients techniques des productions végétales hors grandes cultures, pour la consommation d'intrants ;
- population française ;
- intensité de main d'œuvre moyenne des productions animales et végétales.

À titre d'exemple, la précédente version de *Magali* a permis d'évaluer *ex ante* l'application de réformes de la PAC (Mathieu et Ramanantsoa, 2008).

En revanche, par construction, le modèle *Magali 2.0* ne permet pas d'étudier l'impact macro-économique global de certaines évolutions exogènes comme l'impact d'un accord commercial sur l'évolution des exportations ou des importations, car les interactions avec les partenaires commerciaux, et l'impact qu'aura un tel accord sur leur secteur agricole, n'est pas estimé.

3.2 Exemples d'application

3.2.1 Principe des variantes

On simule l'ensemble du modèle *Magali 2.0* en intégrant tous les modules comprenant les équations économétriques et les équations d'identité et/ou de bouclage. Les hypothèses retenues sont les valeurs observées des variables exogènes à partir du choc.

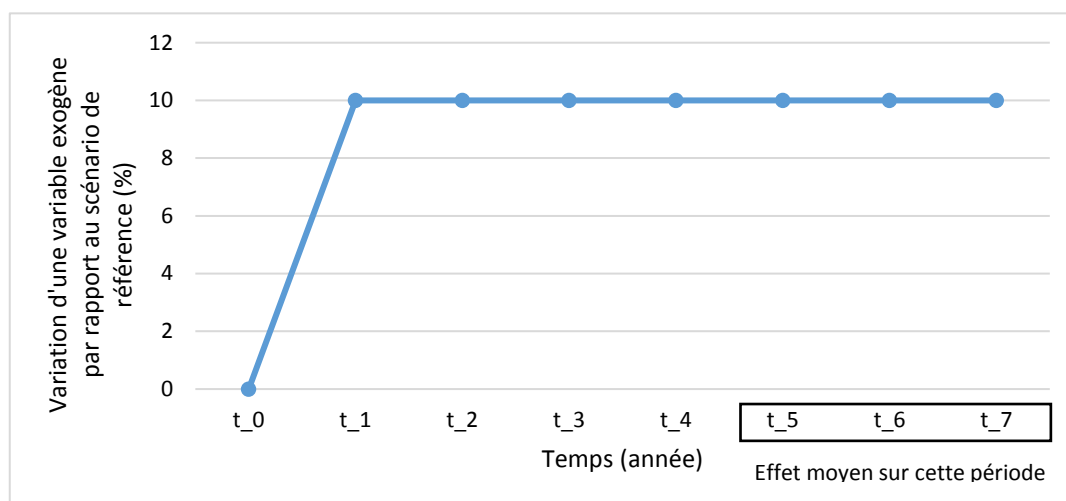
On évalue la réponse du modèle suite à différents chocs rétrospectifs, effectifs à compter de t_0+1 , en écart à la situation observée. Dans les variantes présentées ci-après, les chocs correspondent à l'augmentation ou à

la baisse de 10 % de la valeur d'une variable exogène pendant 7 ans (cf. graphique 1). Les effets sont observés en moyenne à moyen terme (moyenne t_0+5 à t_0+7). Chaque choc est destiné à étudier le comportement du modèle. Sauf mention contraire, **les résultats sont exprimés en pourcentage d'écart par rapport aux valeurs réelles observées qui constituent le scénario de référence.**

Les variantes étudiées sont les suivantes :

- hausse du prix du blé tendre de 10 % ;
- hausse du prix du pétrole de 10 % ;
- hausse des importations de viande bovine de 10 % ;
- baisse de la consommation de viande 10 %.

Graphique 1 : Choc entretenu de 10 % d'une variable exogène pendant 7 ans



3.2.2 Variante n°1 : augmentation du prix du blé tendre de 10 %

Dans cette variante, on augmente de 10 % la variable exogène « prix du blé tendre » de t_0+1 à t_0+7 .

i. Suite à la hausse des prix, les surfaces et le rendement du blé tendre augmentent pour l'ensemble de la « ferme France »

Le prix du blé tendre augmente de 10 % par construction. La hausse du prix du blé incite l'agriculteur à augmenter son rendement (+0,4 %). Cette hausse de prix conduit également l'exploitant à augmenter sa consommation d'intrants pour le blé tendre, en particulier de semences et d'engrais (respectivement +1,0 % et + 4,0 % en volume), afin d'augmenter son rendement. Ainsi, **les coûts de production à l'hectare du blé tendre augmentent de 1,7 %.**

La hausse de prix et de rendement d'une part, atténuée par la légère hausse des coûts de production d'autre part, entraîne une **amélioration sensible de la marge du blé** (+20,6 %).

Par conséquent, il y a une **réorientation des surfaces au profit du blé tendre** (+3,2 % dans l'ensemble de la branche). Cette hausse représente l'équivalent de 0,5 % de la SAU totale de la ferme France.

L'amélioration du rendement du blé et la hausse de la surface en blé entraînent une hausse de la production. **La production de blé tendre augmente en volume** de +4,1 % pour la ferme culture et de +3,8 % pour la ferme mixte. L'évolution est plus modérée pour la ferme mixte en raison de la possibilité d'utiliser certaines cultures (dont le blé tendre) pour l'alimentation des animaux via l'intra-consommation (le coût d'opportunité d'intra-consommer le blé tendre limite l'augmentation de la production). Ainsi, l'élasticité-prix de la production de blé est plus faible pour la ferme mixte que pour la ferme culture.

L'effet prix combiné à l'effet volume entraîne une **hausse de la valeur de la production de blé tendre** de 13,9 %.

ii. Au sein des cultures, le blé tendre devient plus avantageux et entraîne une réduction de la part des autres cultures

Les prix des autres cultures sont fixes car exogènes. Leurs rendements sont stables, de même que leurs marges à l'hectare⁸. Cependant, l'augmentation de la marge du blé tendre incite à augmenter les superficies dédiées à cette production au détriment des autres cultures⁹. Les cultures autres que le blé tendre connaissent toutes une baisse de leur superficie, notamment les protéagineux (-13,4 %), le soja (-2,9 %), l'orge (-2,7 %) ainsi que le blé dur (-1,8 %). En part de SAU, la hausse de 0,5 point de la SAU est principalement compensée par les baisses de superficie pour l'orge (0,2 point) et la betterave (0,2 point) – les 0,1 point restant étant répartis entre les autres cultures¹⁰.

iii. Pour la ferme mixte, il devient plus intéressant de produire et de vendre du blé tendre que de l'utiliser pour les productions animales

Le blé tendre entre dans la composition de l'alimentation animale, soit dans les COP (céréales, oléagineux et protéagineux) intra-consommés soit dans l'alimentation achetée.

La hausse de prix du blé tendre entraîne une augmentation du prix de l'alimentation animale et donc du coût de production par tonne des animaux (+2,5 %). Cette hausse du coût de production est particulièrement marquée pour les productions hors-sol (porcs, volailles, œufs – hausse de 4,1 %) dont l'alimentation est principalement composée d'aliments achetés sur le marché, dont le prix dépend du prix des COP, dont le blé tendre. Pour les herbivores l'impact sur les coûts de production est plus limité (+1,8 %), d'une part parce que la proportion de COP et aliments achetés sur le marché dans leur alimentation est plus faible que pour les productions hors-sol et, d'autre part, parce qu'il est possible d'adapter leur ration alimentaire pour substituer une partie de ces aliments par des fourrages.

L'alimentation totale des animaux, exprimée en « unités fourragères »¹¹, est stable par construction. Cependant, au sein de la ferme mixte, on observe une diminution des superficies (en ha/UGB) consacrées à la production d'aliments intra-consommés (fourrage ou COPI) de 0,6 %. En revanche, le volume d'aliments achetés sur le marché augmente (+1,1 %), malgré une hausse de leur prix (+2,4 %) sous l'effet de la hausse du prix du blé. **Ainsi, l'agriculteur est incité à réduire ses surfaces dédiées à l'alimentation des animaux afin de produire du blé tendre destiné à la vente, et à compenser cette perte d'alimentation animale par des achats d'aliments sur le marché** (cependant, comme indiqué au point i, l'augmentation de la production de blé tendre est plus faible pour la ferme mixte que pour la ferme culture). Cette augmentation du prix de l'alimentation animale conduit à une baisse de la marge (en €/UGB) des produits animaux (-0,2 %).

Par ailleurs, la hausse des coûts de production pèse sur la production intérieure (volumes de production en baisse de 0,4 % pour les viandes rouges et de 0,2 % pour les viandes blanches) et est répercutée sur le prix de production des animaux, qui augmente également (+3,7 % pour les viandes blanches, +1,2 % pour les viandes rouges). Ce dernier agit sur la part de demande de chaque produit animal dans la demande totale en produits animaux (NB : la demande totale est exogène). **Ainsi, la plus forte augmentation du prix des viandes blanches entraîne un report de la consommation de viande blanche (-0,2 %) vers la viande rouge (+0,3 %).**

L'excédent brut d'exploitation par hectare (EBE/ha) de la ferme culture s'améliore davantage que la ferme mixte (cf. partie 4). Le rapport d'EBE/ha évolue en faveur de la ferme culture : ainsi, la SAU de la ferme mixte diminue légèrement au profit de la ferme culture. **À l'échelle de l'ensemble de la SAU de la ferme France, cela représente 0,03 % de la SAU totale qui passe de la ferme mixte à la ferme culture.** Au sein de la ferme mixte, on observe un transfert des superficies consacrées à l'alimentation des animaux vers les cultures de vente.

⁸ À l'exception des protéagineux, du fait du soutien couplé à l'hectare qui augmente à mesure de la baisse des surfaces cultivées. En effet, le montant total du soutien couplé aux protéagineux pour la ferme France est fixe, donc le montant unitaire (en €/ha) est calculé comme le rapport entre le montant total de l'enveloppe de soutien couplé aux protéagineux et la superficie totale de protéagineux.

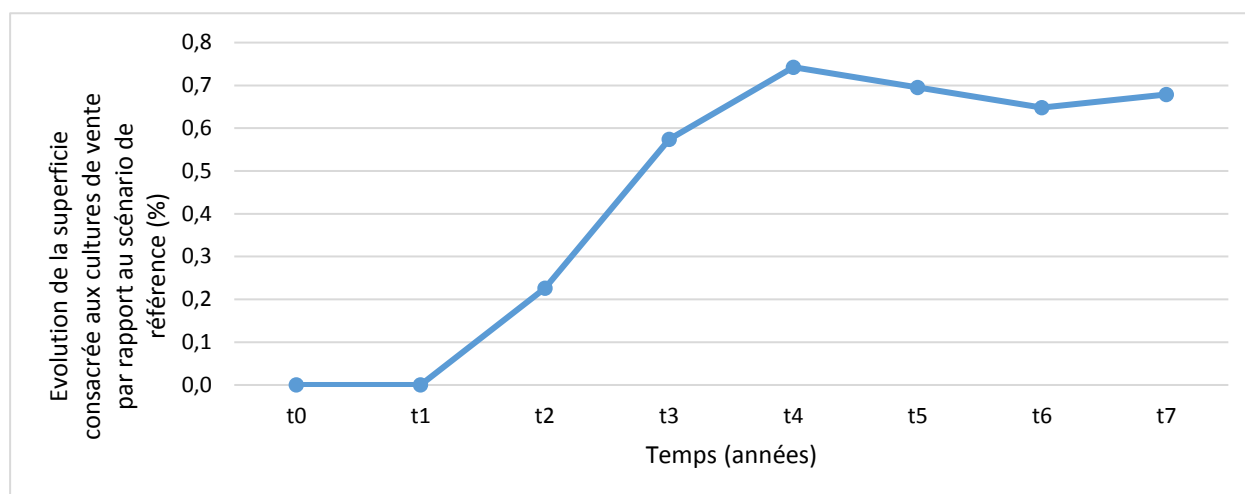
⁹ En effet les superficies respectives pour chacune des cultures sont estimées à partir du rapport entre la marge de la culture et la marge du groupe. L'augmentation de la marge du blé tendre déplace le rapport de marge en faveur du blé tendre et on observe donc une baisse des superficies des autres cultures.

¹⁰ Les variations de cet ordre de grandeur (0,1 point) peuvent ne pas être significatives et faire partie de la marge d'erreur du modèle.

¹¹ Une unité fourragère correspond à la quantité d'énergie contenue dans un kilogramme d'orge.

Ce transfert représente 0,3 % de la SAU de la ferme mixte. Cette augmentation se stabilise à partir de la 4^e année après le choc (cf. graphique 2).

Graphique 2 : Évolution de la superficie des cultures de vente au sein de la ferme mixte



À moyen terme, le volume de production animale diminue très légèrement ($-0,1\%$), une petite partie de l'augmentation des coûts de production ayant été absorbée dans la marge. Malgré cela, la baisse des surfaces qui leur sont consacrées est plus importante et le nombre d'UGB/ha augmente ($+0,6\%$) : **le choc sur le prix du blé tendre entraîne une intensification¹² du secteur.**

iv. L'excédent brut d'exploitation par hectare (EBE/ha) augmente

In fine, l'EBE/ha de l'ensemble de la branche s'améliore (cf. tableau 2). L'augmentation de la rentabilité entraîne une hausse des unités de travail agricole (UTA) salariées. Au sein de la ferme mixte, l'activité de production de culture de vente « recrute ».

Tableau 2 : Évolution des superficies, de l'emploi salarié et de l'EBE (écart en %)

	Ensemble de la branche	Ferme culture	Ferme mixte	Dont cultures vendues	Dont animaux
Variation de la superficie en part de la SAU totale	Exogène	+0,03 de la SAU	-0,03 de la SAU	+0,19 de la SAU	-0,22 de la SAU
UTA salariées/ha	+0,5	+0,4	+0,5	+0,8	+0,1
EBE/ha	+3,9	+4,3	+3,7	+7,0	-0,1

¹² Augmentation du nombre d'animaux par hectare.

Encadré 1 : Hausse de prix de 10 % pour l'ensemble des céréales, oléagineux et protéagineux intra-consommables

On peut également simuler une hausse du prix de 10 % pour l'ensemble des céréales, oléagineux et protéagineux intra-consommables (COPI). Les COPI sont les céréales, oléagineux et protéagineux qui peuvent être utilisés pour l'alimentation des animaux en intra-consommation à la ferme. Ces cultures peuvent également être vendues directement sur le marché. Les COPI pris en compte dans le modèle *Magali 2.0* sont le blé tendre, l'orge, le maïs grain, les autres céréales, les protéagineux et le soja¹³.

Les résultats de cette simulation accentuent la situation observée lors de la simulation de l'augmentation du prix du seul blé tendre.

Tout comme pour la simulation « blé tendre », l'augmentation du prix de vente des COPI entraîne une augmentation de leur rendement (par construction de l'équation de rendement) ainsi qu'une augmentation du volume d'intrants utilisés. Malgré l'augmentation des coûts de production, l'augmentation des rendements et des prix entraîne une augmentation des marges à l'hectare pour ces cultures (cf. tableau 3).

Tableau 3 : Évolution des rendements et des marges (écart en %)

	Blé tendre	Protéagineux	Orge	Soja	Maïs grain	Autres céréales
Rendement	+ 0,4	+2,0	+1,1	+1,7	+0,7	+1,1
Coûts de production/ha	+1,8	+3,0	+0,3	+1,7	+0,7	+1,1
Marge/ha	+20,5	+14,7	+24,4	+17,4	+20,8	+85,8 ¹⁴

Bien que la hausse de prix soit la même pour tous les COPI (+10 % par construction), les variations de marge sont différentes principalement du fait des différences d'évolution des rendements et des coûts de production entre les cultures (l'élasticité du rendement et des coûts de production par rapport au prix de vente de la culture est différente entre les cultures).

L'augmentation des marges des COPI entraîne une augmentation des surfaces de ces cultures (+1,5 %) au détriment des autres cultures non COPI.

Tout comme pour la simulation « blé tendre », la hausse de prix des COPI fait augmenter le prix de l'alimentation animale achetée. Ainsi, le coût de production par tonne des animaux augmente (+4,3 %), en particulier pour les animaux hors-sol (+7,1 %) qui ne consomment que des aliments à base de COP ou des aliments achetés sur le marché composés pour partie de COP.

Au sein de la ferme mixte, la superficie dédiée à l'alimentation animale diminue (diminution équivalente à 0,4 % de la SAU totale) au profit, d'une part, des cultures de vente de la ferme mixte (augmentation équivalente à 0,3 % de la SAU totale) et, d'autre part, de la ferme culture (augmentation équivalente à 0,1 % de la SAU totale).

La branche agricole voit son EBE/ha s'améliorer (+6,7 %).

¹³ Les autres cultures, qui ne sont pas considérées comme des COPI, sont le colza, la betterave, le blé dur et le tournesol, ainsi que les autres productions végétales (cultures pérennes, légumes, pommes de terre, prairies artificielles...).

¹⁴ La forte augmentation de la marge des « autres céréales » est due à la proportion des recettes et des coûts dans le calcul de la marge (à t6 et t7, la marge était faible dans le scénario de référence et double suite au choc).

3.2.3 Variante n°2 : augmentation du prix du pétrole de 10 %

Dans cette variante analytique, on augmente de 10 % la variable exogène « prix du pétrole » de t_0+1 à t_0+7 , les autres variables exogènes (ex. : prix du blé) n'étant pas modifiées¹⁵.

i. La hausse du prix du pétrole entraîne une hausse du prix des intrants et une baisse de leur consommation

Les prix des produits énergétiques et des engrais sont estimés à partir du prix du pétrole (dépendance positive au prix du pétrole). Ainsi, la hausse du prix du pétrole entraîne une augmentation du prix de ces produits (cf. tableau 4). Leur élasticité prix par rapport au prix du pétrole varie entre 0,5 pour les engrais azotés et 0,9 pour le fioul domestique.

Tableau 4 : Effet d'une hausse de 10 % du prix du pétrole sur les produits énergétiques pour l'ensemble de la branche agricole (en %)

Variable	Variation
Prix du pétrole	+10,0
Fioul domestique	+8,9
Carburants	+7,6
Produits pétroliers	+5,8
Gaz	+6,6
Engrais	+4,8
dont azotés (N)	+4,5

La hausse de prix des intrants entraîne une baisse de leur consommation. L'élasticité apparente de la consommation d'engrais par rapport à son prix serait de -0,3 (-0,2 pour l'azote). Celle de l'énergie serait plus faible (-0,1) (cf. tableau 5).

Tableau 5 : Consommation et élasticité-prix des engrais et de l'énergie

Variable	Consommation en volume (%)	Élasticité prix
Engrais	-1,2	-0,3
dont azote	-0,7	-0,1
Énergie	-0,5	-0,1
dont produits pétroliers	-0,5	-0,1

Note de lecture : Lorsque le prix des engrais azotés augmente de 1 %, la consommation de ces produits pour l'ensemble de la branche diminue de 0,1 %.

¹⁵ Généralement, quand on observe une hausse du prix du pétrole, on observe également une hausse des prix des céréales. Dans cette variante analytique, on isole le paramètre « prix du pétrole », qui est le seul qui connaît un choc.

ii. *Le rendement des cultures diminue suite à l'augmentation du prix des consommations intermédiaires*

Le rendement des cultures dépend positivement de leur prix de vente et négativement du prix des consommations intermédiaires. Or, le prix des cultures est exogène et le prix des consommations intermédiaires augmente, entraînant ainsi une baisse du rendement des cultures (cf. tableau 6). Par ailleurs, la quantité d'intrants utilisés varie en fonction du type de cultures et du prix des intrants. La hausse du prix du pétrole étudié dans cette variante conduisant à l'augmentation du prix de certains intrants (engrais et carburants), on observe une baisse la quantité d'intrants utilisés, ce qui limite la hausse de coûts de production.

Tableau 6 : Évolution du coût de production et du rendement pour les principales cultures (en %)

Variable	Blé tendre	Orge	Colza	Maïs grain	Cultures pérennes	Tournesol	Blé dur
Coût de production / ha	+0,9	+2,7	+2,8	+1,7	+0,1	+1	+3,1
Rendement	-0,1	-0,3	-0,5	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2

iii. *La marge des cultures diminue suite à la baisse de rendement et à l'augmentation des coûts de production*

La baisse des rendements entraîne une diminution de la valeur de la production pour les cultures. Ainsi, la diminution de la valeur de la production d'une part et l'augmentation des coûts de production d'autre part provoque une baisse de la marge des cultures (cf. tableau 7).

Tableau 7 : Évolution de la marge pour les principales cultures (en %)

Variable	Blé tendre	Orge	Colza	Maïs grain	Cultures pérennes	Tournesol	Blé dur
Marge/ha	-1,3	-4,0	-4,0	-2,3	0,0	-1,7	-4,7

iv. *Les coûts de production de l'alimentation animale augmentent, en particulier pour les herbivores*

La hausse du prix du pétrole augmente le coût de production des cultures produites sur la ferme et utilisées pour l'alimentation animale : céréales, oléagineux et protéagineux (COP) pour les animaux hors-sol, ainsi que COP et fourrages pour les herbivores. Cependant, les animaux hors-sol consomment principalement des aliments industriels achetés sur le marché, dont le prix n'est pas impacté par le choc étudié. Ainsi, le coût de production augmente sensiblement pour les herbivores (+2,2 %) alors que le coût de production est stable pour les animaux hors-sol (0,0 %) (cf. tableau 8).

Le prix à la consommation des viandes rouges augmente sensiblement (+1,2 %) alors que la hausse de prix à la consommation des viandes blanches n'est pas perceptible (+0,03 %). Cela oriente la consommation de viande vers ces dernières (la consommation totale de viande est exogène).

Tableau 8 : Évolutions dans le secteur des viandes (écart en %)

Variable	Superficies	Volume produit	Prix à la conso.	Consommation	Coûts de prod./tonne
Total animaux	+0,1	-0,03	+0,6	0,0 (exogène)	+1,2
Herbivores / viande rouge	+0,05	-0,04	+1,2	-0,3	+2,2
Hors-sol /viande blanche	+0,7	-0,003	+0,03	+0,1	+0,03

v. *L'excédent brut d'exploitation du secteur agricole se dégrade*

L'excédent brut d'exploitation par hectare de l'ensemble de la branche agricole baisse de 2,0 %. La baisse de l'EBE/ha est plus marquée pour la ferme culture (-2,4 %) que pour la ferme mixte (-1,8 %), entraînant une faible perte de superficie de la ferme culture au profit de la ferme mixte (équivalent à 0,02 % de la SAU totale). La baisse de l'EBE entraîne également une diminution de l'emploi salarié pour la branche agricole (-0,2 %) (cf. tableau 9).

Tableau 9 : Évolution de l'EBE, de l'emploi salarié et des surfaces (écart en %)

Variable	Ensemble de la branche	Ferme culture	Ferme mixte
EBE/ha	-2,0	-2,4	-1,8
Variation de la superficie en part de la SAU totale	(exogène)	-0,02 de la SAU	+0,02 de la SAU
UTA ¹⁶ salariées/ha	-0,2	-0,1	-0,1

vi. *Les émissions de gaz à effet de serre sont réduites de 0,5 %*

Les émissions de gaz à effet de serre diminuent de 0,5 %, principalement du fait d'une moindre consommation d'énergie et d'engrais azotés. Les émissions de GES dues aux animaux sont stables (cf. tableau 10).

Tableau 10 : Évolutions des émissions de gaz à effet de serre (écart en %)

Variable	Émission de GES
Ensemble	-0,5
Énergie	-0,5
Engrais azotés	-0,7
Animaux	0,0
Herbivores	0,0
Animaux hors-sol	0,0

¹⁶ UTA : unité de travail annuel.

3.2.4 Variante n° 3 : augmentation des importations de viande bovine de 10 %

Dans cette variante, on augmente de 10 % la variable exogène « volume d'importations de viande bovine » de t0+1 à t0+7.

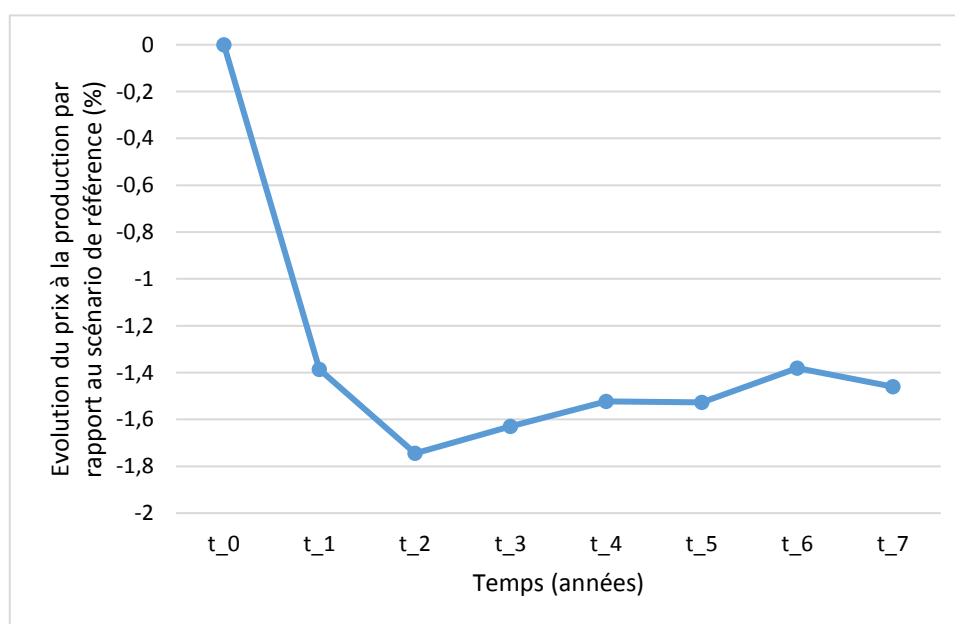
i. Les prix à la production de la viande bovine baissent de 1,5 %

Suite au choc d'importation de viande bovine, on observe une augmentation de l'offre totale de viande bovine de 1,8 % à moyen terme et une baisse des prix à la production pour les différentes productions de viande bovine, comprise entre -0,3 % pour les veaux et -2,2 % pour les vaches, avec une moyenne à -1,5 % pour l'ensemble de la viande bovine (cf. tableau 11 et graphique 3). Le caractère oscillant de la réponse entre t0+1 et t0+7 est dû aux différentes boucles de rétroaction au sein de la production bovine (cf. figure 4 *supra*).

Tableau 11 : Évolution du prix à la production (en %)

Classe d'âge des bovins	Prix à la production
Bœuf	-1,7
Vache	-2,2
Taureau	-1,7
Génisse	-1,3
Veau	-0,3
Tous bovins	-1,5

Graphique 3 : Évolution du prix des bovins à la production



ii. Les abattages de viande bovine augmentent légèrement

Suite au choc d'offre, on observe une décapitalisation (réduction des effectifs) afin que la production intérieure s'adapte à la baisse du prix. Toutes classes d'âge confondues, les effectifs de bovins diminuent de

0,5 % (cf. tableau 13) et les volumes d'abattage de viande bovine, augmentent de +0,2 % (cf. tableau 12 et graphique 4). La décapitalisation entretient à court terme la baisse des prix à la production des bovins (la baisse des prix est la plus forte à t+2 avant de s'amoindrir).

Toutefois, les effets diffèrent en fonction des classes d'âge. À moyen terme, l'abattage des bœufs, des vaches et des veaux est quasi-stable (on atteint le niveau cible du cheptel après adaptation au choc), alors que l'abattage augmente légèrement pour les génisses (+0,4 %) et les taureaux (+0,6 %). En effet, le taux d'abattage est estimé différemment suivant la classe d'âge et le type d'animal (laitier ou allaitant) dans le modèle *Magali 2.0*. **Dans l'ensemble, pour les classes d'âge veau, taureau et génisse, les équations traduisent un arbitrage entre le revenu qui peut être espéré par un abattage à court terme et le revenu qui peut être espéré à moyen terme si l'animal est élevé, notamment pour atteindre une classe d'âge supérieure :**

- Pour les vaches, malgré des volumes d'abattage stables, l'augmentation des abattages pour les génisses se traduit par une baisse des « entrées » en classe d'âge vache (−0,2 %), faisant ainsi diminuer les effectifs de vaches (−0,4 %).
- Pour les génisses et les taureaux, dont le taux d'abattage est estimé de façon similaire à celui des vaches, la baisse des effectifs s'explique principalement par l'augmentation des abattages, eux-mêmes entraînés par la baisse des prix et des marges pour les gros bovins, bien que les entrées dans les classes d'âge respectives soient quasi-stables pour les génisses (−0,1 %) et en légère augmentation pour les taureaux (+0,2 %).
- Pour les veaux, l'augmentation de leur marge unitaire et la baisse de la marge unitaire des gros bovins conduit à une augmentation des abattages de veaux. Par ailleurs, la diminution des effectifs de vaches entraîne une diminution des naissances de veaux (−0,3 %).

Cette décapitalisation est observée lors de la simulation sur les effectifs d'animaux en fin d'année sur toutes les classes d'âge, hormis sur le bœuf (+1,1 %). En effet, pour les bœufs, il n'y a pas de classe d'âge supérieure, l'arbitrage est effectué grâce au prix de vente. Pour la classe d'âge *bœuf*, le taux d'abattage dépend en effet positivement du prix des bœufs pour l'année n-1. Ainsi, l'augmentation des effectifs de bœufs (cf. tableau 12) traduit une « accumulation » des bœufs, le producteur n'étant pas incité à abattre ses bêtes du fait de la baisse des prix. On peut noter que les bœufs représentent une faible part de l'effectif total bovin, le comportement de la classe d'âge *bœuf* influant ainsi peu sur l'ensemble du cheptel (cf. tableau 13).

Tableau 12 : Évolution des volumes d'abattage (en %)

Classe d'âge de viande bovine	Volumes d'abattage
Bœuf	−0,4
Vache	+0,02
Taureau	+0,6
Génisse	+0,4
Veau	+0,1
Tous bovins	+0,2

Graphique 4 : Évolution des volumes d'abattage pour les bovins

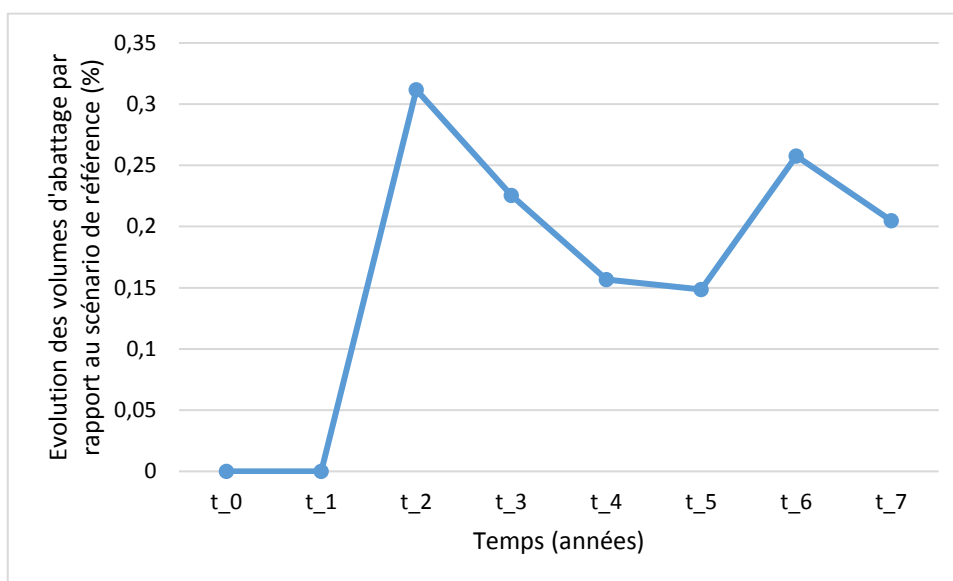


Tableau 13 : Évolution des effectifs bovins (en %)

Classe d'âge de viande bovine	Effectifs	Part de la classe d'âge dans le cheptel bovin (moyenne 2008-2014 dans le scénario de référence)
Bœuf	+0,9	2,3
Vache	-0,4	40,6
Taureau	-0,3	4,7
Génisse	-0,3	23,6
Veau	-0,5	28,8
Tous bovins	-0,5	100

iii. La consommation de viande bovine augmente, entraînant une baisse de consommation des autres types de viande

L'utilisation intérieure totale de viande est exogène et n'est donc pas affectée par le choc d'importation. En revanche, on observe une évolution de la répartition de la consommation entre les différentes catégories de viande. La consommation de viande bovine augmente (+0,4 %) au détriment des autres viandes (viande ovine : -0,7 % ; viande porcine : -0,1 % ; viande de volaille : -0,1 %) (cf. tableau 14).

Tableau 14 : Évolution de la consommation et du prix à la consommation (en %)

Catégorie de viande	Évolution de la consommation à moyen terme	Évolution du prix à la consommation à moyen terme
Viande	0,0 (exogène)	-0,7
Viande rouge	+0,3	-1,3
Viande bovine	+0,4	-1,4
Viande ovine	-0,7	-0,2
Viande blanche	-0,1	0,0
Viande porcine	-0,1	0,0
Viande de volaille	-0,1	0,0

En effet, la baisse de prix de la viande bovine conduit à une augmentation de la part de viande rouge dans la consommation totale de viande. Le prix de chaque catégorie de viande à la consommation est estimé par le modèle à partir du prix de chacune des catégories à la production.

iv. Les exportations de viande bovine augmentent

Les exportations de viande sont estimées à partir du solde entre, d'une part, la production, l'importation d'animaux vivants et l'importation de viande et, d'autre part, la consommation intérieure et l'exportation d'animaux vivants. Comme vu précédemment, l'augmentation des importations de viande bovine ont entraîné une baisse de la production et une hausse de la consommation intérieure. Cependant, ces deux effets ne sont pas suffisants pour compenser la hausse des importations de viande bovine. **Le choc d'importation provoque une perte de parts de marché domestiques qui se traduit par une augmentation de 4,8 % des volumes de viande bovine exportés.** L'exportation d'animaux vivants diminue légèrement (-0,6 %). NB : le modèle n'estime pas les exportations de viande par classe d'âge.

v. L'excédent brut d'exploitation de la ferme « mixte » diminue de 0,4 %

Suite au choc d'importation de viande bovine, l'excédent brut d'exploitation (EBE) de la ferme « mixte » diminue de 0,4 % à moyen terme. Au sein de la ferme mixte, l'EBE des seules productions animales baisse de 1,0 %, entraîné par la baisse de la marge des productions animales (-0,4 %). L'EBE/ha de l'ensemble du secteur agricole diminue de 0,2 %.

Par ailleurs, le volume total de la production agricole française augmente de 0,1 % mais avec une baisse de prix de 0,2 %. Ainsi, à moyen terme, la valeur de la production agricole diminue de 0,1 %.

Pour la production animale, si le volume est stable (+0,0 %), la baisse du prix (-0,4 %) entraîne une baisse de la valeur de la production (-0,4 %). Pour la production végétale, les prix sont stables (+0,0 %). En revanche, le volume de la production augmente (+0,2 %), entraînant une hausse de la valeur pour cette branche (+0,2 %).

vi. La surface agricole utile dédiée à l'alimentation animale recule

Le rapport des EBE est moins favorable à la ferme mixte qu'à la ferme culture. Ainsi, la surface agricole utile (SAU) dédiée à la ferme mixte diminue légèrement au profit de la SAU de la ferme culture : ce transfert représente l'équivalent de 0,03 % de la SAU totale.

Par ailleurs, au sein de la ferme mixte, les superficies consacrées aux cultures de vente augmentent (+0,1 %) au détriment des superficies consacrées aux herbivores (-0,1 %). La superficie consacrée aux différents fourrages (prairies artificielles et temporaires, maïs fourrage et autres fourrages) baisse de 0,1 %. **L'exploitant arbitre en faveur des cultures de vente du fait d'une baisse des marges pour les herbivores. Les prairies sont « labourées » pour y implanter des cultures de vente.**

3.2.5 Variante n°4 : baisse de la consommation de viande de 10 %

Dans cette variante, on diminue de 10 % la variable exogène « volume de viande consommée par habitant » de t_0+1 à t_0+7 , simulant un changement dans les habitudes de consommation¹⁷.

i. La baisse de la consommation de viande impacte principalement le cheptel bovin

La baisse de la consommation de viande se répercute à la fois sur la consommation de viande rouge (-8,9 %) et de viande blanche (-10,5 %).

En revanche, l'élasticité-prix est très différente est fonction des productions. **Le prix de la viande bovine baisse de 6,4 % quand celui de la viande porcine ou de volaille ne baisse que de 0,2 %** (cf. tableau 15). Le modèle *Magali 2.0* estime le prix de chacune des viandes en fonction de la demande intérieure, des importations, des exportations et de la production, ainsi que des coûts de production. Ainsi, les coefficients liant le prix à la demande intérieure sont plus faibles pour la viande blanche que pour la viande rouge, traduisant une élasticité prix-demande plus faible pour la viande blanche.

Tableau 15 : Évolution de la consommation et du prix de la viande et calcul de l'élasticité

Catégorie de viande	Consommation (demande) (%)	Prix (%)	Élasticité prix-demande
Viande	-10,0	-1,8	0,2
Viande rouge	-8,9	-5,4	0,6
Viande bovine	-8,5	-6,9	0,8*
Viande ovine	-11,7	-1,8	0,2
Viande blanche	-10,5	-0,2	0,0
Viande porcine	-10,5	-0,2	0,0
Viande de volaille	-10,5	-0,2	0,0

* Note de lecture : pour la viande bovine, une baisse de consommation de 10 % entraînera une baisse de prix de 8 %.

L'importante baisse de prix pour la viande bovine entraîne une réduction des marges pour les gros bovins (-7,3 % pour les marges par hectare, et -6,2 % pour les marges par UGB), alors que la baisse de marge est faible pour les viandes blanches (-0,2 % dans les deux cas).

Le cheptel bovin diminue (baisse de 1,8 % du nombre d'UGB), ainsi que le cheptel ovin dans une moindre mesure (-0,5 %). Les cheptels porcins et de volaille sont quasi-stables (-0,02 %).

NB : les importations sont exogènes donc ne subissent pas de baisse. En revanche, les exportations captent

¹⁷ La consommation de viande a baissé de 12 % entre 2007 et 2017 en France, notamment du fait de la prise en compte de l'impact de la viande sur la santé et l'environnement. Source : CREDOC, *Consommation et modes de vie* n° 300, septembre 2018.

une partie du surplus de production suite à la baisse de la consommation (ex. : augmentation des exportations de viande bovine de 20,1 %).

ii. Les superficies dédiées aux animaux, dont les prairies, diminuent au profit des cultures de vente

Conséquence directe de la baisse de la rentabilité de l'élevage, les superficies dédiées aux animaux diminuent de 0,6 % au sein de la ferme mixte, soit 0,3 % de la SAU totale. La moitié de ces terres sont transférées vers la ferme culture, et la moitié sont mises en valeur au sein de la ferme mixte pour produire des cultures de vente. **En particulier, les surfaces en prairies permanentes diminuent de 0,5 %.**

L'excédent brut d'exploitation par hectare de l'ensemble du secteur agricole diminue de 1,2 % (stable pour la ferme culture et -1,8 % pour la ferme mixte). Pour le seul secteur de la production animale, la perte d'EBE/ha est de 4,2 %.

Annexe 1 : Détermination des rendements

La forme générale des équations de rendement des productions végétales dans *Magali 2.0* est la suivante :

$$y_t = \alpha \frac{p_{t-1}}{w_{t-1}} + \beta T_t + \sum_{k=1}^K \delta_k cl_{(k,t)} + \sigma + e_t$$

Avec :

- y_t : rendement de la culture considérée à l'instant t ;
- p_{t-1} et w_{t-1} : représentant respectivement les prix de l'extrait et des intrants de la culture considérée à l'instant $(t-1)$;
- T_t : *tendance* représentant entre autres le progrès technique (productivité physique) qui se présente pour certaines cultures sous forme de *spline* linéaire (trend coudé) traduisant le net infléchissement du rythme d'accroissement des rendements depuis les années 1990 ;
- $cl_{(k,t)}$: représentant les k variables agro-climatiques impactant le rendement de la culture.
- α, β, δ_k et λ : coefficients à estimer.

Cette équation résulte analytiquement d'une maximisation de la marge à l'hectare anticipée :

$$m_t = y_t \cdot p_{t-1} - c_t \cdot w_{t-1}$$

sous contrainte d'une fonction de coûts/ha c_t quadratique par rapport aux rendements y_t (avec θ une constante) :

$$c_t = \frac{1}{2\alpha} y_t^2 - \frac{1}{\alpha} (\beta T_t + \sum_{k=1}^K \delta_k cl_{(k,t)} + \lambda) y_t + \theta$$

Cette forme de fonction de coût permet d'approximer l'hypothèse généralement admise de rendement décroissant en agriculture (Butault et Requillart, 2012).

Par ailleurs, les plus fortes variations interannuelles du rendement résultent du climat. Il est donc essentiel d'inclure des variables agro-climatiques dans les spécifications des équations pour obtenir une bonne estimation du rôle des autres facteurs explicatifs. Les variables agro-climatiques utilisées sont les suivantes :

- évapotranspiration potentielle ;
- durée d'insolation ;
- somme des précipitations ;
- température moyenne de l'air ;
- bilan hydrique.

Ces indicateurs sont disponibles depuis 1970 pour 13 stations régionales réparties sur le territoire métropolitain (Angers, Bourges, Carcassonne, Cognac, Colmar, Dijon, Mont-de-Marsan, Nîmes, Rostrenen, Rouen, Saint-Quentin, Toulouse, Trappes).

Dans un premier temps, un choix de variables agro-climatiques est fait parmi les rendements régionaux expliquant au mieux la variabilité du rendement au niveau national (les estimations économétriques montrent qu'au plus 4 régions suffisent à expliquer 90 % de cette variabilité). Le choix des variables agro-climatiques est effectué dans les stations météorologiques localisées dans ces régions et sur la période située entre les semis et la récolte. Ce choix doit, dans la mesure du possible, être cohérent avec les résultats des études monographiques d'écophysiologie disponibles dans la littérature (Gate et Fischer, 1995 ; Munier-Jolain *et al.*, 2005 ; Picard, 1990).

Bibliographie

Albecker C., Bechouda L., Lefebvre C., Mahe L.-P. et G. Rini (1983), « Le modèle à moyen terme de l'agriculture française (Magali) », *Économie rurale*, n° 155, pp. 47-50.

Boussard J.-M. (1973), « Un modèle historico-statistique de l'agriculture française », INRA.

Butault J.-P. et V. Requillart (2012), « L'agriculture et l'agro-alimentaire françaises à la recherche d'une compétitivité perdue », *INRA sciences sociales*.

Gate Ph. et T. Fischer (1995), « Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture », *Tec&Doc Lavoisier*.

Mathieu M.-A. et J. Ramanantsoa (2008), « Le scénario central 2005-2012 du modèle Magali », *Notes et études économiques*, n° 31, Ministère de l'agriculture et de la pêche.

Montfort A., Ruch J.-M. et G. Winter (1974), « Un modèle agricole à long terme de simulation SIMAGRI », *Statistiques et études financières*, n° 16, 28-51.

Munier-Jolain N., Biarnès V., Chaillet I. et J. Lecœur (2005), « Agrophysiologie du pois protéagineux », *Éditions Quae*.

Perrin J.-B., Ducrot C., Vinard J.-L., Hendrikx P. et D. Calavas (2011), « Analyse de la mortalité bovine en France de 2003 à 2009 », *INRA Productions animales*, n° 24(3), pp. 235-244.

Picard D. (1990), « Physiologie et production du maïs. La vie du maïs », *Éditions Quae INRA-AGPM*.