

Le déficit protéique français – Une analyse prospective

Protein Deficit in France – A Prospective Analysis

Alexandre Gohin* et Alice Issanchou*

Résumé – Depuis près de 50 ans, le déficit français en matières riches en protéines est déploré. Nombre de plans protéines soutenant l'offre de légumineuses se sont succédés sans parvenir à le résoudre. Pour autant, l'agriculture française est-elle économiquement verrouillée dans la production de céréales facilitée par des importations d'engrais de synthèse et une production d'animaux hors sol facilitée par des importations de soja ? L'originalité de notre analyse quantitative est d'inclure le rôle de la demande potentielle des consommateurs français pour des produits alimentaires sans organismes génétiquement modifiés (OGM). Nos simulations prospectives montrent que cette demande est un levier beaucoup plus puissant pour réduire les importations de tourteau de soja OGM que les traditionnelles subventions aux légumineuses. Par contre, il ne conduit pas à une amélioration significative de l'autonomie protéique, car les importations nettes des autres matières riches en protéines augmentent. À l'inverse, de réels progrès pourraient être obtenus par une amélioration de la productivité des surfaces fourragères.

Abstract – France's deficit in protein-rich products dates back nearly 50 years. Many protein plans aimed at boosting the supply of legumes have succeeded one another without managing to solve the issue. So, is French agriculture economically tied to grain production facilitated by imports of synthetic fertilisers and to off-farm livestock production facilitated by soya imports? The uniqueness of this quantitative analysis is that it considers the role of the potential demand of French consumers for products that are free from genetically modified organisms (GMOs). Our prospective simulations show that, while this demand is a far more powerful driver for reducing imports of GMO soya cake than traditional subsidies for legumes, it is unlikely to lead to a significant improvement in protein self-sufficiency, as net imports of other protein-rich products are increasing. In contrast, substantial progress could be made by improving the productivity of forage land.

JEL : Q11, Q16, Q18

Mots-clés : autonomie protéique, organismes génétiquement modifiés, marchés, France

Keywords: protein self-sufficiency, genetically modified organisms, markets, France

* UMR SMART, Institut Agro – INRAE, Rennes. Correspondance : alexandre.gohin@inrae.fr

Cet article a bénéficié d'un cofinancement de deux régions françaises (Bretagne et Pays de la Loire) et du Fonds européen agricole pour le développement rural 2014-2020 (PEI 16.1), à travers le projet SOS-PROTEIN.

Reçu en août 2021 accepté en juillet 2022.

Les jugements et opinions exprimés par les auteurs n'engagent qu'eux-mêmes et non les institutions auxquelles ils appartiennent, ni a fortiori l'Insee.

Citation: Gohin, A. & Issanchou, A. (2022). Protein Deficit in France – A Prospective Analysis. *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 536-37, 115–131. doi: 10.24187/ecostat.2022.536.2083

Depuis l’embargo américain sur le soja en 1973 suite à une sécheresse majeure outre atlantique, la France a mis en œuvre différents plans protéines pour favoriser sa production et limiter ses importations de matières riches en protéines (MRP) d’origine végétale (comprenant la graine et le tourteau de soja, le pois protéagineux, la féverole, le tourteau de colza, les lentilles, le pois chiche). D’abord motivés par des considérations purement économiques, les récents plans protéines soulignent de plus en plus les avantages environnementaux directs de la production de ces cultures. Par leur capacité à fixer l’azote de l’air, les cultures légumineuses limitent les utilisations d’engrais de synthèse sur les surfaces dédiées et par la suite les émissions directes de gaz à effet de serre (GES).

Malgré près de 50 ans de soutien public à cette filière, la France demeure largement dépendante d’importations de MRP, tout spécialement de tourteau de soja pour l’alimentation animale. Les montants de soutien public et les rapports de prix entre matières premières n’ont jusqu’à présent pas significativement modifié les décisions des producteurs et utilisateurs français en faveur des MRP domestiques. Les résultats obtenus ces dernières années s’expliquent davantage par le développement de la filière de biocarburants de première génération, dont les volumes de consommation sont dorénavant plafonnés, que des plans protéines français. Par ailleurs, le développement des cultures légumineuses n’apparaît pas systématiquement comme la meilleure solution pour atténuer les émissions de GES d’origine agricole (Pellerin *et al.*, 2017). Un fort soutien public aux légumineuses au titre de la lutte contre le changement climatique n’est donc pas acquis pour les prochaines années. Enfin, les échanges commerciaux de MRP sont politiquement gérés au niveau de l’Union européenne. Or de nombreux États membres, encore plus dépendants des importations des pays tiers que la France, considèrent que le recours à la spécialisation et à l’échange international basé sur les avantages comparatifs est une source de gain potentiel de niveau de vie (Mahé, 2005). Les pays tiers disposant d’avantages comparatifs dans la production de protéines (le soja tout particulièrement), le recours à des importations leur semble préférable à l’approvisionnement local. Ceci se reflète par exemple dans les positions sur les traités de libre-échange, avec le Canada et les pays du Mercosur.

Pour autant, la France restera-t-elle toujours très dépendante des importations de MRP ? En d’autres termes, l’agriculture française est-elle économiquement verrouillée dans la production

de céréales facilitée par des importations d’engrais de synthèse et une production d’animaux hors sol facilitée par des importations de MRP, générant alors des excès d’azote polluant les sols, les eaux et l’air (Magrini *et al.*, 2015) ? Le nouveau plan national pour les protéines végétales annoncé en décembre 2020 est-il nécessairement voué comme ses prédécesseurs à de modestes résultats ?

Notre objectif dans cet article est de contribuer quantitativement au débat complexe et récurrent sur les protéines végétales en incluant une nouvelle dimension, de plus en plus discutée mais peu mesurée jusqu’à présent : la demande de consommateurs français pour des produits alimentaires locaux et sans Organismes Génétiquement Modifiés (OGM). Les MRP importées, spécialement le soja, sont majoritairement issues de cultures génétiquement modifiées. Par conséquent, le levier du consommateur pourrait contribuer à réduire la dépendance protéique française en diminuant ces importations à base d’OGM. Plusieurs enquêtes témoignent d’une demande potentielle de consommateurs français pour des produits alimentaires exempts d’OGM, plus généralement d’aliments produits localement (FranceAgriMer, 2018). Face à cette demande potentielle, les acteurs des filières agroalimentaires se positionnent de plus en plus pour y répondre, comme détaillé lors des États généraux de l’alimentation (Terres Univia, 2017).

Cette potentielle demande des consommateurs français s’exprime pour les légumes secs et les produits transformés (viandes et produits laitiers). Pour analyser quantitativement ce nouveau levier de la demande du consommateur et le comparer aux plus traditionnels leviers des soutiens publics, une méthodologie considérant les différents produits et acteurs des filières alimentaires est essentielle. Aussi nous développons un modèle original d’équilibre général calculable (EGC) séparant les filières non OGM et les filières dites conventionnelles. Les modèles EGC sont très utilisés pour mesurer *ex ante* les impacts de politique publique (comme les accords de libre-échange et les politiques agricoles), à la fois en termes de production, d’échanges commerciaux, de demande, de prix et plus généralement de nombreux impacts marchands. Notre modèle statique permet la quantification de nombreuses conséquences de différents scénarios prospectifs, comme sur les surfaces françaises cultivées en légumineuses ou la dépendance aux importations de soja OGM, mais aussi sur les éventuelles réductions d’exportations de céréales et/ou de produits

animaux. Ainsi il permet d’apprécier si des gains d’autonomie protéique ne sont pas réalisés au détriment d’une perte d’autonomie dans les autres filières et au risque *in fine* d’une perte d’excédent commercial agroalimentaire. Les impacts sur les revenus générés par les activités agricoles et agroalimentaires sont aussi mesurés, nous permettant d’apprécier l’éventuelle tension entre l’autonomie protéique et l’économie des filières. Notre approche quantifie donc, de manière unifiée et cohérente, différents enjeux autour de la vaste problématique des protéines végétales. Toutefois, notre modèle statique ne couvre pas tous les enjeux, comme les effets transitoires et de long terme sur la biodiversité ou encore les émissions nettes de GES, raison pour laquelle nous ne procédons pas à une analyse normative de l’objectif d’un moindre déficit protéique français.

Nos simulations prospectives montrent que cette potentielle demande des consommateurs est un levier beaucoup plus puissant pour réduire les importations de tourteau de soja OGM que les traditionnelles subventions aux légumineuses. Par contre, cela ne conduit pas à une amélioration significative de l’autonomie protéique, car les importations nettes des autres MRP augmentent. À l’inverse, de réels progrès pourraient être obtenus par une amélioration de la productivité des surfaces fourragères. Les revenus agricoles et agroalimentaires français s’améliorent davantage avec le changement de la demande des consommateurs qu’avec les subventions publiques.

L’article est organisé comme suit : la première section expose plus avant la problématique étudiée ; la deuxième section synthétise les résultats majeurs de la littérature existante ; la troisième section est consacrée au modèle développé, avec un accent sur les originalités introduites, et présente les scénarios testés ; la quatrième section analyse les résultats de ces scénarios et offre une analyse de sensibilité. La conclusion résume les principaux résultats et suggère des extensions possibles de ce travail empirique.

1. Le contexte : l’autonomie protéique française et européenne

1.1. De quoi parle-t-on ?

Les protéines végétales et animales sont toutes deux composées d’acides aminés. La valeur nutritionnelle d’une source protéique va dépendre de sa capacité à fournir des acides aminés pour la croissance de l’organisme concerné et le renouvellement de ses protéines corporelles. Toutes les sources de protéines

n’ont pas la même teneur en acides aminés. Pour les besoins nutritifs humains, les protéines de source animale sont plus équilibrées en acides aminés que les protéines végétales, ce qui peut se corriger par l’association de différentes sources de protéines végétales (céréales et légumineuses par exemple)¹.

Dans cet article, nous nous concentrons sur les protéines animales et les protéines végétales utilisées pour l’alimentation animale. Nous omettons donc de l’analyse, faute d’informations disponibles au niveau macroéconomique, les protéines végétales utilisées directement dans l’alimentation humaine. Selon les informations microéconomiques rassemblées par Agrosynergie (2018), il s’agit essentiellement de légumes secs (lentilles, pois chiches, fèves, etc.) et de graines de soja. Elles constituent un marché de niche mais en croissance, associé notamment au développement de régimes végétariens. Ces protéines bénéficient d’une image “positive” en termes de santé et d’environnement mais négative en termes de digestibilité et de praticité (temps de préparation). Les perspectives de ces marchés dépendent principalement de la stratégie de recherche publique dans le domaine et du comportement des acteurs de la transformation (Magrini *et al.*, 2018).

Pour produire 1 kg de protéine animale, il faut apporter en moyenne (pondérée par les poids des différentes espèces animales) 4.9 kg de protéines végétales (Guéguen *et al.*, 2016). En effet, les animaux d’élevage ont des besoins spécifiques en apports protéiques pour leur croissance et entretien. Cet apport protéique est assuré par les fourrages grossiers (herbe pâturée/récoltée, maïs/betterave fourragère, etc.) et les aliments concentrés simples ou composés. Ces derniers sont obtenus à partir de diverses matières premières, celles contenant plus de 15 % de protéines constituant les MRP. Ainsi, les céréales sont essentiellement composées d’amidon, source d’énergie, et ne font pas partie des MRP même si elles contiennent des protéines. À l’inverse, les tourteaux d’oléagineux sont riches en protéines, spécialement les tourteaux de soja. Les graines protéagineuses (pois et féverole) ont des compositions intermédiaires d’amidon et de protéines.

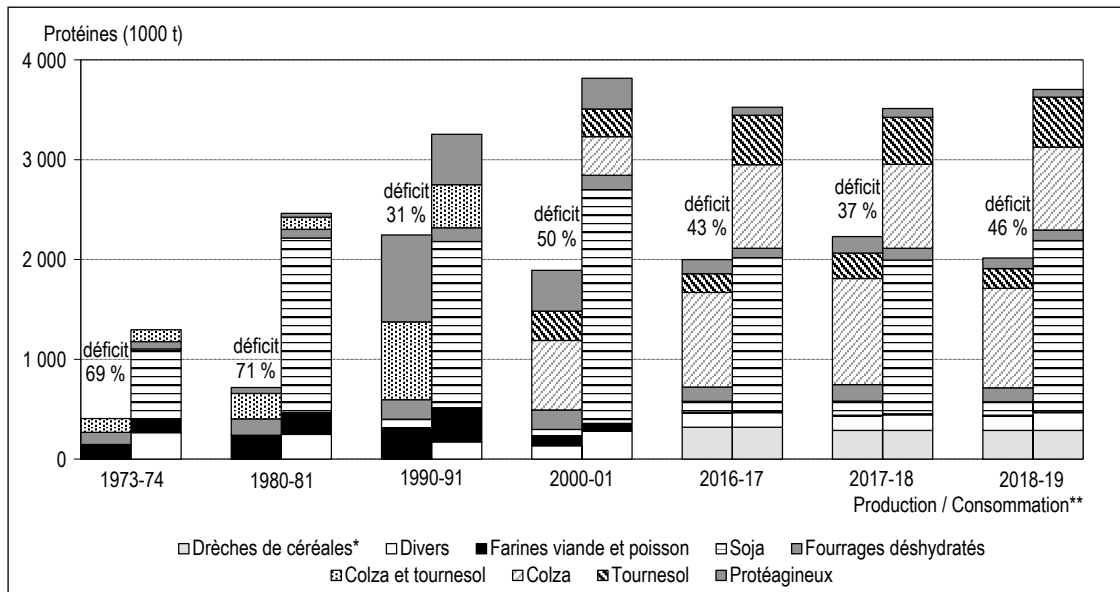
Les figures I et II ci-dessous retracent les évolutions depuis 1973 des productions et utilisations de MRP pour l’alimentation animale en France et en Europe. Elles montrent que les utilisations

1. Une présentation plus complète de la problématique est disponible dans Agrosynergie (2018).

ont augmenté fortement au début de la période. Depuis 2000, elles progressent marginalement en Europe et même régressent en France, du fait d'une progression plus modeste des volumes de productions animales et d'une productivité accrue de ces filières. Le tourteau de soja est la MRP la plus consommée, suivie par les tourteaux des autres graines oléagineuses (colza et tournesol). Les productions des MRP ont aussi significativement augmenté au début de la période, plus modestement depuis le début

des années 2000. Les productions de tourteau de colza et de tournesol ont considérablement augmenté, pour partie liées au développement des filières de biocarburant. À l'inverse, les productions de graines protéagineuses ont considérablement diminué sur cette période. Le déficit français en MRP a toujours été moins prononcé que le déficit européen, pour partie en raison des surfaces agricoles disponibles, de l'importance des productions animales et des mesures politiques nationales.

Figure I – Évolution du bilan français de matières riches en protéines (MRP) pour l'alimentation animale

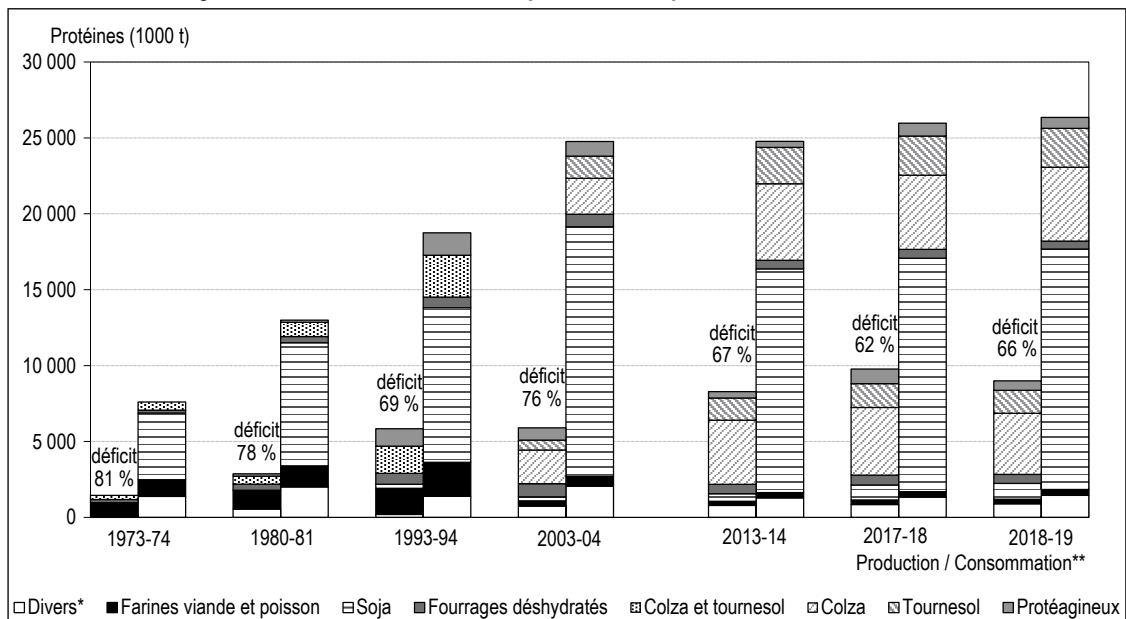


* données (estimées) non disponibles avant 2009-10.

** pour chaque période, la première barre correspond à la production, la seconde à la consommation.

Source : Terres Univia (estimation).

Figure II – Évolution du bilan européen de MRP pour l'alimentation animale



* hors drèches de céréales (données non disponibles).

** pour chaque période, la première barre correspond à la production, la seconde à la consommation.

Source : Terres Univia (estimation).

1.2. Le rôle des politiques publiques

Les déficits français et européen de MRP destinés à l'alimentation animale s'expliquent en partie par un compromis datant des années soixante entre l'Europe et les États-Unis. Ce compromis permettait à l'Union européenne (UE) de mettre en place une politique de soutien des prix pour ses céréales à condition d'exempter de droits de douane les entrées de graines oléagineuses américaines sur le territoire européen (Hache, 2015). Il en a résulté une dépendance de l'UE et de la France aux importations de graines et tourteaux de soja provenant des États-Unis, de l'Argentine et du Brésil. Cette dépendance, dans un marché mondial du soja hautement concentré, est une source de vulnérabilité pour le secteur de la production animale européen (en 1973, les États-Unis avaient réduit leurs exportations de soja suite à une forte sécheresse). Aussi, l'Europe a mis en place plusieurs plans protéines afin de relancer la production européenne de légumineuses, dont le premier date de 1975 et le dernier de 2020.

Une mesure récurrente dans les plans protéines est le soutien aux surfaces ou productions de graines protéagineuses et de soja². Depuis 1992 et la réforme MacSharry de la Politique agricole commune (PAC), ce soutien aux surfaces (ramené à l'hectare) a globalement diminué, mais moins que pour les autres cultures concurrentes dans l'utilisation des surfaces agricoles. Toutefois, les évolutions combinées de ces soutiens, des prix des cultures, des rendements et des coûts variables de production ont provoqué de 1992 à 2008 une baisse des marges à l'hectare des surfaces de légumineuses, relativement aux marges à l'hectare des cultures concurrentes (Ramanantsoa & Villien, 2012). Ceci a contribué à la forte baisse des surfaces françaises allouées aux protéagineux³. Avec le bilan de santé de la PAC en 2008, le soutien relatif pour les surfaces de protéagineux augmente, provoquant une augmentation des surfaces dédiées.

Le dernier plan réalisé (période 2014-2020) s'inscrit dans le cadre de la PAC post 2013, avec toujours des soutiens couplés aux surfaces légumineuses, dont les fourragères avec des montants variant entre 100 et 200 €/ha. Ces cultures sont à présent aussi indirectement soutenues par les critères d'éligibilité aux paiements directs du premier pilier de la PAC, qui capturent l'essentiel du soutien budgétaire agricole. Ces critères, dits de verdissement, imposent des minimums de surfaces d'intérêt écologique dont font partie les surfaces de protéagineux. Les mesures agroenvironnementales et climatiques du second

pilier de la PAC constituent un autre instrument public favorisant les cultures de protéagineux, valorisant leurs impacts environnementaux positifs (réduction d'intrants *via* des rotations plus longues). En contrepoint, des restrictions/interdictions de traitements phytosanitaires (contre la bruche de la fêverole, par exemple) réduisent l'attractivité de ces cultures auprès des agriculteurs. Au cours de cette période, les surfaces consacrées aux graines protéagineuses en France ont modestement augmenté. À l'inverse, celles consacrées au soja ont fortement progressé, en partie du fait de nouvelles variétés de semences plus adaptées aux différents territoires, la mise en œuvre d'une charte « soja de France » impliquant les différents acteurs de la filière voulant répondre à la demande française de soja non OGM. Malgré cette augmentation, les légumineuses représentent toujours une modeste part (4 %) des surfaces arables françaises, largement dominées par les céréales.

La crise sanitaire apparue début 2020 a renforcé la problématique de la souveraineté française, d'abord en termes d'équipements médicaux (masques) mais aussi en termes alimentaires. Jaravel & Méjean (2021) montrent tout d'abord que, après le secteur de la chimie, l'approvisionnement agroalimentaire français est très vulnérable. Ces auteurs proposent ensuite trois types de mesure pour une stratégie de résilience réaliste et efficace sans être trop protectionniste : une plus grande diversification des approvisionnements, un développement des capacités de stockage pour les produits à faible valeur ajoutée et enfin un renforcement de l'innovation pour les intrants vulnérables à la frontière technologique. Le plan gouvernemental France Relance inclut cependant d'autres mesures visant à stimuler l'offre française, dont l'offre de protéines végétales. Ce nouveau plan a pour ambition un doublement des surfaces consacrées d'ici 2030, soit 8 % de la surface agricole. Concrètement, ce plan doté initialement de 100 millions d'euros, mobilise des fonds publics pour aider à la structuration des filières (inspirée en partie par l'exemple de la filière soja) et favoriser l'investissement dans les exploitations agricoles (l'enveloppe initiale de 20 millions d'euros a été totalement consommée la première année et une nouvelle enveloppe d'un même montant a

2. Pour le détail, voir : https://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/AgresteNA_AR_67_proteagineux-lien_cle8119fc.pdf

3. D'autres facteurs ont contribué à ce déclin, comme la volatilité plus importante des rendements de ces cultures ou encore le verrouillage des filières (Zander et al., 2016 ; Magrini et al., 2016). Il n'existe pas à notre connaissance des quantifications économétriques des contributions relatives de ces différents facteurs dans l'évolution des surfaces/productions/bilans de MRP.

été décidée en 2021). Ces montants restent bien en deçà des soutiens couplés aux surfaces de légumineuses (dans la stratégie nationale bas carbone, le budget annoncé pour la seule année 2027 s'élève à 236 millions d'euros). Comme les précédents plans, il inclut des actions visant à promouvoir la consommation humaine de légumineuses (non explicitement traitée dans cet article) et à soutenir la recherche variétale.

À cet égard, les cultures de semences OGM ne sont pas autorisées en France depuis 2008 (une seule culture – de maïs – est autorisée en Europe et est essentiellement cultivée en Espagne). En revanche, une centaine de cultures OGM et de leurs produits dérivés sont autorisés pour l'importation et l'utilisation en alimentation humaine et animale. Cela inclut notamment les graines de soja et les produits dérivés que sont les huiles et tourteaux de soja. Ces produits OGM autorisés font l'objet d'obligations de traçabilité et d'étiquetage, avec un seuil d'exemption pour tenir compte de cas possibles de présence accidentelle (par exemple dans la gestion du transport de matières premières). Ces obligations ne s'appliquent pas aux produits (lait, viande) issus d'animaux pouvant être nourris avec des matières premières OGM. Les opérateurs de ces filières peuvent volontairement signaler que leurs animaux ont été nourris sans OGM, avec des surcoûts à supporter et/ou transmettre aux consommateurs.

Les cultures d'OGM ont débuté au milieu des années 1990 et n'ont cessé de croître depuis pour approcher les 190 millions d'hectares récemment, soit plus de 10 % des surfaces arables mondiales, concentrées dans trois pays : États-Unis, Brésil et Argentine (respectivement 75, 50 et 24 millions d'hectares). Elles concernent principalement le soja, le maïs, le coton et le colza avec respectivement près de 96, 60, 25 et 10 millions d'hectares. Il en résulte que près de 80 % du soja cultivé mondialement est OGM, rendant de plus en plus compliqué l'approvisionnement en soja certifié non OGM en France et Europe.

Cette expansion des cultures OGM résulte en partie des autorisations sans cesse croissantes de nouvelles semences OGM (Nes *et al.*, 2021). Les résistances aux herbicides (spécialement au controversé glyphosate) et aux insectes sont toujours les traits dominants des cultures OGM. Des nouvelles semences OGM visent d'autres caractéristiques, comme une résistance accrue à des aléas climatiques ou une modification de la composition nutritionnelle des produits. Par ailleurs, si un OGM est un organisme dont le matériel génétique a été modifié d'une manière

détectable, tel n'est pas le cas des semences obtenues par les nouvelles technologies, généralement regroupées sous le vocable d'édition génomique, apparues dans les laboratoires au milieu des années 2000. Ces technologies, aussi utilisées en thérapie génique (Parisi & Rodríguez-Cerezo, 2021), n'insèrent pas dans le génome d'un organisme un ou plusieurs gènes provenant d'un autre organisme ; elles modifient de façon ciblée une séquence génétique d'un organisme par différents processus, tels que la mutation, l'activation ou encore l'extinction de gènes. Les produits issus de ces nouvelles technologies peuvent aussi être obtenus par les techniques conventionnelles (naturelles) de sélection variétale. Un avantage majeur de ces nouvelles technologies est leur moindre coût d'obtention en recherche et développement (seulement 5 % du coût des techniques conventionnelles – Bullock *et al.*, 2021). La culture de ces nouvelles semences a débuté récemment aux États-Unis (Gotch *et al.*, 2021).

Les pays européens ont longuement débattu sur le statut juridique des produits issus de ces nouvelles technologies. En juillet 2018, la Cour de justice de l'UE a temporairement tranché le débat en considérant qu'ils doivent être régis par les règles appliquées aux produits OGM. Toutefois, au printemps 2021, la Commission européenne a publié, suite à une demande du Conseil européen, un rapport plus favorable à ces nouvelles technologies et produits dérivés : elle souligne, d'une part, qu'ils peuvent contribuer à des systèmes alimentaires plus durables et donc aux objectifs du pacte vert et, d'autre part, que la législation européenne actuelle sur les OGM, adoptée en 2001, n'est plus adaptée. Les débats sur ces technologies et produits obtenus, comme de leurs possibles contributions à l'autonomie protéique, sont donc rouverts en Europe et en France (voir par exemple Le Déaut, 2021).

2. Revue de littérature

Les autonomies protéiques françaises et européennes sont des problématiques anciennes ayant suscité de multiples travaux de recherches. Nous nous limitons ici à une synthèse des récents travaux intégrant des calculs économiques.

Au niveau de l'offre, de nombreux travaux considèrent l'échelle de l'exploitation agricole, de grandes cultures et/ou de polyculture élevage. Ces travaux analysent majoritairement les compromis éventuels entre des objectifs économiques et environnementaux lorsque les niveaux de production/d'utilisation des légumineuses/MRP varient. Ces travaux comprennent

des analyses prospectives et des analyses comparatives *ex post*, mais qui ne cherchent pas à expliquer statistiquement les choix des agriculteurs en termes de niveaux de production des MRP. Magrini *et al.* (2015 ; 2016), synthétisant les résultats des divers travaux français conduits jusqu'alors, concluent à l'absence de compromis au niveau des exploitations agricoles françaises : le développement des légumineuses est bénéfique à long terme, dans le cadre de rotations appropriées, à la fois d'un point de vue environnemental et économique. Ces résultats ne sont pas toujours obtenus pour d'autres régions de production. À titre d'exemple, Reckling *et al.* (2016) évaluent les mêmes compromis entre les effets économiques et environnementaux de l'intégration des légumineuses dans cinq régions européennes. Ces auteurs trouvent que l'introduction de légumineuses conduit à des baisses significatives des émissions de protoxyde d'azote et des usages d'engrais azotés. Par contre, cette introduction conduit à diminuer les marges brutes de trois régions sur cinq. Plus récemment, Cortignani & Dono (2020) montrent que le développement de légumineuses favorisé par le verdissement de la PAC améliore comme attendu le bilan environnemental des exploitations italiennes mais au détriment des impacts économiques (revenus) et sociaux (travail salarié et non salarié). Enfin, Koutchadé *et al.* (2021) quantifient, à l'aide d'un modèle micro-économétrique tenant compte de l'hétérogénéité des exploitations agricoles françaises, l'importance des subventions couplées sur les marges extensives, i.e. sur les décisions d'inclure des légumineuses dans les assolements. Ils montrent aussi que ces subventions ont des impacts beaucoup plus limités sur les marges intensives, c'est-à-dire le nombre d'hectares cultivés une fois que la culture est intégrée dans les assolements.

Quelques analyses plus macroéconomiques examinent l'offre de légumineuses au niveau français. La dernière en date à notre connaissance est fournie par Ramanantsoa & Villien (2012). Ces auteurs ont simulé à l'échelle de la France les impacts de différentes modalités de soutien public à la production de protéagineux et de soja en utilisant le modèle d'offre MAGALI. Ils montrent que les évolutions de prix envisagées impactent plus les surfaces et productions de MRP que les soutiens directs. Ils soulignent par ailleurs que le coût de la réduction des émissions de GES est élevé par rapport à la valeur tutélaire du carbone.

D'autres travaux portent spécifiquement sur la demande française de MRP, plus particulièrement

par les firmes françaises de l'alimentation animale. Ainsi Le Cadre *et al.* (2015) étudie la possible valorisation de tourteaux de soja issus d'une production locale de soja certifié non OGM. Ces auteurs montrent les importantes substitutions entre matières premières et donc de nouveau l'importance des prix relatifs.

Les travaux à l'échelle européenne couvrant toutes les dimensions des marchés des légumineuses/MRP sont plus nombreux (les plus récents incluent Henseler *et al.*, 2013 ; Kalaitzandonakes *et al.*, 2014 ; Kuhlman *et al.*, 2017 ; Deppermann *et al.*, 2018 ; Jensen *et al.*, 2021 ; Gotch *et al.*, 2021). Utilisant le modèle CAPRI, Kuhlman *et al.* (2017) testent six scénarios et trouvent que les scénarios de refus des produits étrangers OGM (capté par une diminution des importations) en Europe et de mise en place d'une taxe carbone sont les plus efficaces pour promouvoir les surfaces légumineuses. Le scénario combinant une taxe sur la consommation de viande et une subvention à la consommation de légumes graines produit un effet neutre sur les surfaces de légumineuses, du fait de la baisse des surfaces de soja consécutive à la baisse de production de viandes. Deppermann *et al.* (2018) ont mobilisé le modèle Globiom pour simuler à l'horizon 2050 les impacts d'une restriction aux seules matières premières locales pour l'alimentation animale. Celle-ci conduit à une diminution de la production de lait et viandes, ainsi que des surfaces céréalières (remplacées par des surfaces légumineuses). Ces auteurs trouvent que le gain d'autonomie pour les protéines se fait au détriment de l'autonomie pour les produits animaux et céréales. Jensen *et al.* (2021) mobilisent le modèle Aglink-Cosimo développé par l'OCDE et la FAO pour quantifier l'impact de trois scénarios sur l'autonomie protéique européenne : une subvention couplée aux surfaces de légumineuses, une augmentation des rendements du pois et du soja et enfin un arrêt des importations d'huile de palme pour la production de biodiesel. *A priori*, ce dernier scénario devrait stimuler la production européenne d'huile de colza (pour remplacer l'huile de palme) et simultanément la production européenne de tourteau de colza, réduisant alors la nécessité d'importer du tourteau de soja. Ces auteurs trouvent que seul le deuxième scénario (accroissement des rendements) conduit à une amélioration notable de l'autonomie protéique européenne. Enfin, Gotch *et al.* (2021) étudie les enjeux économiques liés au statut juridique des cultures issues de nouvelles technologies d'édition génomique. Pour ces auteurs, les impacts économiques et environnementaux sont négatifs et considérables,

assez similaires à ceux calculés par Deppermann *et al.* (2018), si l'UE maintient ces produits dans la catégorie des produits OGM.

Dans tous les travaux précités, les méthodes développées ne distinguent pas explicitement les filières OGM des autres filières, essentiellement du fait du manque de données pour les mesurer. Par contre, des recherches plus théoriques étudient les impacts de l'introduction des techniques OGM et de leurs régulations. Par exemple, Moschini *et al.* (2005) concluent que l'introduction des produits alimentaires contenant des OGM serait négative pour l'économie européenne du fait d'importants coûts de traçabilité et de ségrégation. Cela résulte aussi de la résistance des consommateurs européens à accepter ces produits/techniques, comme encore mesurée récemment par Marette *et al.* (2021).

3. Modélisation et définition des scénarios

Par rapport aux différents modèles macroéconomiques mentionnés précédemment, notre modèle EGC permet de considérer à la fois les consommateurs, les producteurs et l'ensemble de la filière, et présente deux originalités majeures : la base de données construite et la spécification des comportements des agents économiques. En effet, ce modèle décrit très finement les filières agricoles et agroalimentaires françaises, avec distinction des filières que nous qualifions de certifiées non OGM des autres filières (dites conventionnelles). Cette séparation en deux de la diversité des filières agricoles françaises est évidemment réductrice, incluant par exemple dans la première les filières bio et d'autres utilisant des produits phytosanitaires. Mais cela constitue déjà une avancée par rapport aux modèles existants qui considèrent généralement un(e) seul(e) marché/technologie pour chaque produit. De plus, la spécification des comportements de producteurs/consommateurs est plus complexe que les fonctions de production ou d'utilité CES classiques, afin de mieux capter les arbitrages économiques de ces agents entre les deux filières.

Notre modèle EGC est par ailleurs traditionnel dans ses principes généraux : c'est un modèle statique, permettant d'analyser des états stationnaires et non la dynamique entre ces états ; il suppose une concurrence pure et parfaite sur tous les marchés de produits, avec le prix permettant d'équilibrer les offres et demandes. C'est un modèle mono-pays centré sur la France, les échanges avec les autres pays sont spécifiés

avec la traditionnelle spécification Armington. Les comportements économiques des agents du « Reste du Monde » sont spécifiés à travers des fonctions de demande d'exportation et d'importation.

Pour les règles de bouclage macroéconomique, nous supposons que l'investissement est déterminé par l'épargne, elle-même déterminée par un taux exogène d'épargne des ménages français. La consommation publique de biens et les taux de subventions/taxes sur les différents flux monétaires sont également fixes. L'équilibre du budget de l'État est assuré par une variation des prélèvements nets auprès des ménages. Enfin, le solde de la balance commerciale est fixe et le taux de change réel endogène. Kilkenny & Robinson (1990) ont montré que toutes ces hypothèses macroéconomiques n'avaient pas de conséquences notables sur les impacts mesurés sur les marchés étudiés dans cet article. Dans la même veine, Gohin & Moschini (2006) ont montré que, pour des scénarios de réforme de politiques agricoles, les impacts sur les marchés mesurés par un modèle EGC sont très proches d'un modèle d'équilibre partiel (EP) défini sur les mêmes secteurs d'intérêt. Dans cet article, nous privilégions l'utilisation du modèle EGC complet qui ne pose pas de difficultés supplémentaires de résolution et d'obtention de données ; la modélisation EGC, *via* la vérification de la loi de Walras, nous assure de la cohérence économique des résultats.

La base de données de notre modèle EGC est une matrice de comptabilité sociale (MCS) représentant les comptes macroéconomiques du système socioéconomique français ; sa construction est détaillée en encadré. Nous précisons dans la suite de cette section les principales spécifications des comportements économiques, puis les trois scénarios testés.

3.1. Principales caractéristiques du modèle d'équilibre général calculable

Les données de la MCS sont mobilisées dans un modèle EGC qui représente les comportements des entreprises en termes d'offre de produits, de demande d'intrants et d'utilisation de facteurs (capital, travail ou terre pour le secteur de l'agriculture) et le comportement des ménages en termes de consommation finale des produits et d'épargne. Ces comportements dépendent des prix, des contraintes techniques et budgétaires, mais aussi de contraintes réglementaires et de taxes ou subventions qui peuvent être modélisées. Nous supposons ici des producteurs qui maximisent leurs profits sous contrainte d'une

ENCADRÉ – La matrice de comptabilité sociale

La MCS de base au niveau français est construite à partir des tableaux de la comptabilité nationale (Insee) : tableau entrées sorties (TES) et tableau économique d'ensemble (TEE), dans la version qui comprend 17 activités. À ce stade, il y a un seul secteur agrégé pour les activités de l'agriculture, la sylviculture et la pêche. L'activité agricole est ensuite différenciée des activités de sylviculture et de pêche et les produits du secteur agricole français sont différenciés en utilisant différentes sources de données de l'Insee et d'Agreste : les équilibres ressources-emplois (ERE), les bilans d'approvisionnement, les comptes de l'agriculture et des données de prix ou de cotations. Nous distinguons également différents secteurs agroalimentaires ainsi que leurs consommations énergétiques en utilisant les bases du dispositif Élaboration des statistiques annuelles des entreprises de l'Insee (ESANE), les données statistiques de FranceAgriMer, les enquêtes triennales d'Agreste sur l'alimentation animale et l'enquête annuelle de l'Insee sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI).

Nous distinguons ensuite les exploitations agricoles bretonnes et ligériennes, régions particulièrement concernées par les productions animales, du reste de la France, en utilisant des données issues principalement des comptes régionaux de l'agriculture, des tableaux de l'agriculture bretonne (TAB), et du mémento de la statistique agricole des Pays de la Loire.

L'originalité principale de notre MCS est la distinction faite entre biens conventionnels et biens certifiés non OGM d'un certain nombre de produits issus de l'agriculture et des industries agroalimentaires, qu'ils soient produits, échangés ou consommés sur le marché français. Nous disposons de peu de données sur les produits animaux nourris avec ou sans OGM. Nous nous sommes basés sur l'étude de Tillie & Rodríguez-Cerezo (2015) dont les données datent de 2012 et portent sur les marchés européens du soja certifié non OGM et de ses sous-produits (voir le tableau ci-dessous). Les données de marché ont été collectées au niveau de 14 pays de l'UE, dont la France pour trois types de produits dérivés du soja : les graines de soja, les tourteaux de soja et les aliments composés contenant du soja pour le bétail. Nous utilisons ces données pour émettre des hypothèses sur les quantités et les prix de différents produits certifiés sans OGM (notamment aliments concentrés, lait, viande).

Tableau – Caractéristiques des marchés non OGM

Données	% non OGM (quantité)	Premium / surcoût (%)
Importation fèves de soja	10	+15.65
Importation tourteaux de soja	10	+20.10
Production aliment concentré volaille	10	
Production aliment concentré bovin	19	
Production aliment concentré porc	7	
Aliment concentré		+18.85
Coût de production poulet de chair		+19.50
Coût de production lait		+7.50
Coût de production porc		+14.50
Prix consommateur viande de volaille		+16.20
Prix consommateur œufs		+16.40
Prix consommateur lait		+12.70
Prix consommateur viande de porc		+14.00

Source : Tillie & Rodríguez-Cerezo (2015)

Nous disposons des quantités d'importations de soja et de tourteaux de soja certifiés non OGM et conventionnels, des quantités d'aliments composés certifiés non OGM produites en France pour la production de volailles, de bovins et de porcs. À partir d'enquêtes auprès des opérateurs, Tillie & Rodríguez-Cerezo (2015) fournissent également les coûts additionnels du soja, du tourteau de soja ou des aliments concentrés certifiés non OGM selon les seuils réglementaires de tolérance. Ces auteurs estiment également l'augmentation de coûts de production pour un kilogramme de poulet, de lait et de porc issu d'une alimentation certifiée non OGM, ainsi que la différence de prix au détail pour les produits animaux labellisés comme étant issus d'une alimentation certifiée non OGM.

Nous avons fait l'hypothèse que les aliments concentrés certifiés non OGM ou standard ont la même valeur nutritionnelle et le même rendement. Ensuite nous avons estimé la quantité d'animaux nourris avec des aliments certifiés non OGM au prorata des aliments concentrés certifiés non OGM produits en France. Pour déterminer la valeur de la production certifiée non OGM des différents produits animaux, nous y appliquons des prix au producteur majorés en supposant que ces prix au producteur reflètent la hausse des coûts de production estimée dans Tillie & Rodríguez-Cerezo (2015). Pour la filière agroalimentaire, nous supposons que sa production de produits issus d'animaux nourris sans OGM est proportionnelle à la production domestique d'animaux nourris sans OGM et que la hausse des coûts de production au niveau de l'éleveur se répercute le long de la filière.

Pour la consommation des ménages, nous supposons que la part de biens certifiés non OGM est la même que celle de biens certifiés non OGM produits en France. Nous appliquons aux valeurs obtenues le premium payé par les

consommateurs pour des produits certifiés non OGM tel qu'estimé dans le rapport de Tillie & Rodriguez-Cerez (2015) et reporté dans le tableau.

Au total, notre analyse distingue 26 produits agricoles⁽ⁱ⁾ et 19 produits issus de l'industrie agroalimentaire⁽ⁱⁱ⁾.

⁽ⁱ⁾ Pour les productions végétales, nous distinguons le blé tendre, l'orge, le maïs, le colza, le soja non OGM, le soja conventionnel, le tournesol, le pois, la féverole et les autres oléoprotéagineux, les fourrages, les fruits et légumes, la betterave. Pour les productions animales, nous distinguons les gros bovins, les veaux, les porcs, le lait, les volailles, les œufs, et pour chacun de ces produits, nous déterminons la proportion de produits non OGM. Le reliquat est classé dans une catégorie « autres produits agricoles ».

⁽ⁱⁱ⁾ Pour les produits issus de l'agroalimentaire, nous distinguons la viande bovine (conventionnelle et non OGM), la viande porcine (conventionnelle et non OGM), la viande de volailles (conventionnelle et non OGM), les autres viandes, les produits laitiers (conventionnel et non OGM), l'huile de soja, les autres huiles, le tourteau de soja (conventionnel et non OGM), les autres tourteaux, les aliments composés (conventionnels et non OGM), le sucre, les boissons et le tabac, et enfin un reliquat « autres produits issus de l'agroalimentaire ».

fonction de production et des consommateurs qui maximisent leur utilité sous contrainte budgétaire.

3.1.1. Le comportement des producteurs agricoles

Nous considérons une exploitation agricole régionale multi-produits représentative. Il y a trois exploitations agricoles dans notre modèle : une représentative de l'agriculture des Pays de la Loire, l'autre de la Bretagne et une représentative du reste de la France. Nous distinguons, uniquement au niveau du stade de la production agricole car les données sont disponibles, les deux principales régions françaises en production animale. Chaque exploitation maximise son profit sous contrainte technique. Les variables de décision sont les intrants spécifiques à chaque extrant, les surfaces allouées aux différentes cultures, les nombres d'animaux, les consommations intermédiaires non allouables (telles que les services d'assurance) et les emplois salariés. Le programme de maximisation dépend des prix des intrants et des extrants, du niveau des facteurs fixes (capital matériel et bâtiment, surface agricole totale et travail non salarié) et des possibilités technologiques. Pour ces dernières, nous suivons Koutchadé *et al.* (2021) et modélisons les rendements végétaux par une fonction quadratique spécifique à chaque culture, qui dépend des quantités d'intrants utilisés (engrais et produits phytosanitaires). Ces rendements ne dépendent pas par contre du nombre d'hectares cultivés. Nous en déduisons des marges brutes par hectare pour chaque culture et supposons que les producteurs déterminent les assolements optimaux qui maximisent la somme de ces marges multipliées par les surfaces allouées à ces cultures moins une fonction de coût concave qui dépend des surfaces. Nous procédons de la même manière pour chaque activité animale : ainsi les rendements par animaux sont des fonctions quadratiques des aliments ingérés (concentrés et fourrages pour les herbivores),

les nombres optimaux d'animaux maximisent la somme des marges moins une fonction de coût concave qui dépend du nombre d'animaux.

Traditionnellement les technologies des secteurs multi-produits sont spécifiées avec des fonctions CES. Elle a par la suite été utilisée pour modéliser les arbitrages d'utilisation des terres, et fait l'objet d'une critique majeure sur la non additivité des quantités. Gohin (2020) résout ce problème en développant une approche quadratique. Cependant elle est gourmande en paramètres. Pour réduire le nombre de ces paramètres, nous spécifions des fonctions logistiques comme dans Koutchadé *et al.* (2021).

3.1.2. Le comportement des consommateurs français

Nous supposons que l'agent consommateur fait une série d'arbitrages : tout d'abord un choix entre la consommation de biens alimentaires et de biens non alimentaires selon une fonction de type LES (*Linear Expenditure System* ou système linéaire de dépenses). Nous supposons ainsi qu'il y a un montant minimum nécessaire alloué d'une part aux biens alimentaires et d'autre part aux biens non alimentaires. Ce système de dépense permet de capter des effets revenus non homothétiques, qui sont régulièrement estimés dans les études économétriques conduites tant sur des données microéconomiques que macroéconomiques. L'arbitrage entre la consommation des biens alimentaires et non alimentaires se fait selon une fonction de type Cobb-Douglas, ce qui n'est pas crucial dans notre analyse car les prix des autres biens varient peu dans les scénarios simulés.

Au sein des biens alimentaires, l'agent consommateur fait ensuite un arbitrage entre les viandes, les produits laitiers, les œufs, les huiles et les autres biens alimentaires, en utilisant de nouveau une fonction de type LES. L'arbitrage entre les autres biens alimentaires (fruits, boissons, etc.) se fait selon une fonction Cobb-Douglas, de

nouveau sans préjudice car les prix de ces biens varient peu dans nos scénarios. Il y a également un arbitrage entre les différentes viandes (bœuf, porc, volailles et autres) selon une nouvelle fonction de type LES. Un dernier niveau d'arbitrage se fait entre produits certifiés non OGM et conventionnels, concernant les œufs, les produits laitiers et les différentes viandes. Ce dernier niveau d'arbitrage est spécifié par une fonction de type CES-LES. Cette fonction, utilisée dans le modèle MIRAGE, est parcimonieuse, régulière et plus flexible que la fonction de type LES dans la prise en compte d'effets prix, cette dernière contraignant les biens à être des compléments bruts. Cela permet plus de pertinence dans l'analyse d'un changement de demande des consommateurs français vers des produits alimentaires sans OGM.

3.1.3. Paramétrage

Nous calibrons les paramètres des fonctions de production et d'utilité à partir des données de la MCS et des élasticités-prix ou dépenses. Pour l'offre agricole, les paramètres sont déterminés à partir des résultats économétriques de Koutchadé *et al.* (2021). Par exemple, l'élasticité de la production de blé par rapport à son propre prix est de 0.55, décomposé en un effet surface (0.50) et rendement (0.05). Pour le soja (non OGM) produit en France, ces élasticités s'élèvent à respectivement 0.80, 0.54 et 0.26. Pour la demande finale des ménages, nous nous appuyons essentiellement sur les résultats économétriques de Caillavet *et al.* (2016) et pour la distinction entre les biens alimentaires non OGM et conventionnels sur les récentes estimations économétriques sur les produits laitiers biologiques par Lindström (2021). Pour les échanges, nous supposons que la France est un petit pays sur les marchés mondiaux des produits agricoles et agroalimentaires. Aussi nous adoptons les mêmes valeurs pour les élasticités-prix des demandes d'exportation (au signe près), des offres d'importation et les élasticités de substitution Armington. Fontagné *et al.* (2022) ont estimé économétriquement ces élasticités et trouvent des valeurs proches de 10 pour les produits animaux. Nous adoptons donc cette valeur pour les produits alimentaires conventionnels. Par contre, pour traduire les préférences des ménages français pour les produits locaux et certifiés non OGM, nous retenons une valeur de 0.1 pour l'élasticité-prix propre d'offre d'importation, afin de capter le fait que les producteurs étrangers peuvent aussi vouloir offrir des biens alimentaires certifiés non OGM, venant concurrencer ceux produits

en France, spécialement auprès des ménages français situés près des frontières terrestres (avec l'Allemagne par exemple). De même, l'élasticité-prix propre de la demande d'exportation est fixée à -0.1 . Cela signifie que les consommateurs étrangers ont également des préférences pour leurs productions non OGM domestiques. Ces deux élasticités ne sont pas du tout supportées par des estimations économétriques, aussi nous conduisons une analyse de sensibilité des résultats à ces élasticités.

3.2. Définition des scénarios

Nombre de propositions ont été formulées pour améliorer l'autonomie protéique, au niveau français et/ou européen (voir la revue de littérature). Nous considérons trois scénarios contrastés en termes de stratégies d'indépendance protéique. Les trois sont directement testés sur notre modèle calibré sur l'année 2011, pour deux raisons. D'une part, cela nous évite de construire une situation de référence (par exemple à l'horizon 2030) qui s'avère un exercice délicat (on manque par exemple d'informations pour quantifier l'évolution tendancielle des filières certifiées non OGM en France sur les dix dernières années). D'autre part, les principales grandeurs économiques n'ont pas fondamentalement changé ces dix dernières années, les principales exceptions étant le recul régulier du nombre d'exploitations agricoles, le développement du soja et un recul du prix du sucre (élevé en 2011 par rapport à la moyenne des dix dernières années). À l'inverse, les niveaux des productions et prix des principaux produits agricoles observés en 2011 sont dans la moyenne des dix dernières années. Aussi les résultats que nous présentons doivent se comprendre comme les effets qui se seraient produits en 2011 si ces scénarios avaient alors été mis en place, que les acteurs économiques s'y étaient adaptés (selon les élasticités mentionnées précédemment) et que les marchés se soient équilibrés à un nouvel état stationnaire.

Le premier scénario (« subventions couplées ») est classique, figurant dans tous les plans protéines et régulièrement testé dans les analyses. Il s'agit de l'augmentation de l'aide couplée à la culture du soja et des cultures protéagineuses permise par la nouvelle PAC et déjà anticipée en France dans sa stratégie nationale bas carbone. Nous simulons une aide couplée aux surfaces de soja, de pois et de féverole de 200 €/ha (contre 0 €/ha pour le soja en 2011 et 155 €/ha pour le pois et la féverole), ce qui est un montant proche du montant maximum d'aide couplée versée depuis 10 ans à une légumineuse.

Dans le *deuxième scénario* (« progrès techniques »), nous simulons une amélioration variétale qui viendrait compenser le différentiel de productivité entre les légumineuses et le blé (Magrini *et al.* 2016), *via* un investissement dans la recherche, poussé au moins initialement par les pouvoirs publics. Comme souligné par Alston & Pardey (2021), il n'est pas aisé de déterminer les dépenses nécessaires en recherche-développement pour obtenir une amélioration variétale donnée ; aussi nous ignorons dans notre évaluation les coûts associés à ce scénario et, comme déjà indiqué dans l'introduction, ne conduisons pas d'analyse normative. Nous faisons l'hypothèse que cette amélioration variétale conduit, toutes choses égales par ailleurs, à une augmentation des rendements à l'hectare de 25 % pour le pois/féverole/soja et de 12.5 % pour les fourrages. Soulignons que Jensen *et al.* (2021) adoptent des hypothèses plus conservatrices (8 % pour les premières, 0 % pour les secondes), cohérentes pour ces secondes cultures avec des efforts quasi nuls ces dernières années en termes de sélections variétales sur espèces fourragères prairiales (ACTA, 2021). Ces hypothèses conservatrices sont également cohérentes avec la vision du verrouillage décrite dans Magrini *et al.* (2016), où les efforts de recherches sont toujours majoritairement portés sur les plantes « majeures ». En contrepoint, les nouvelles technologies d'édition génomique ne portent plus exclusivement sur ces plantes ; certaines sont appliquées aux cultures protéagineuses et fourragères (luzerne, *ray grass*) (Parisi & Rodríguez-Cerezo, 2021). Nous ne pouvons pas anticiper si ces nouvelles technologies seront autorisées en France et en Europe, dans un court-moyen ou long terme. Nous cherchons ici à tester un scénario de rupture.

Dans le *troisième scénario* (« demande »), nous simulons une hausse de la demande des consommateurs pour les produits français et certifiés non OGM. Ainsi nous supposons un doublement des demandes des œufs, de volaille et porc, toutes choses égales par ailleurs. Initialement ces demandes représentent 10 %, 10 % et 7 % des demandes totales de ces produits par les ménages français en volume. Pour la viande bovine et produits laitiers certifiés non OGM, les niveaux initiaux des demandes sont plus élevés (20 %) et nous supposons qu'ils augmentent de 50 %. Corrélativement les demandes pour les produits conventionnels diminuent, de telle façon que les budgets initiaux sont inchangés. Comme les prix des produits certifiés non OGM sont supérieurs à ceux des produits conventionnels, ces hypothèses impliquent une

baisse des quantités globales consommées. Ces évolutions supposées (toutes choses égales par ailleurs) s'appuient d'une part sur les augmentations constatées lors des dernières années de la consommation de produits biologiques et d'autre part sur les préoccupations sanitaires, environnementales et sociétales des ménages. Ainsi, selon des enquêtes du CRÉDOC synthétisées dans FranceAgriMer (2018), le critère « fabriqué en France » est devenu le premier critère de choix, avant les critères de prix ou de sécurité sanitaire. Ce troisième scénario s'inscrit dans une tendance identifiée dans Soler & Thomas (2020) de ménages français préférant consommer moins de quantités mais plus de qualité. Il est aussi complémentaire des analyses récentes quantifiant les effets d'une réduction de la consommation de viande rouge, motivées par des considérations de santé et d'environnement (Cavaillet *et al.*, 2016 ; Bonnet *et al.*, 2018). Enfin, la taille de nos chocs (conduisant à des parts de marché des produits non OGM variant entre 20 % et 30 %) est cohérente avec l'objectif affiché dans le pacte vert européen d'atteindre 25 % de produits biologiques d'ici 2030.

4. Résultats

Nous détaillons et commentons dans cette section les résultats obtenus pour les trois scénarios. Le tableau 1 les présente de façon synthétique.

4.1. Scénario subventions couplées

Sans surprise, le premier scénario d'augmentation des subventions couplées aux surfaces de soja, pois et fèves conduit à une augmentation de ces surfaces cultivées (par exemple, 8.6 % pour le soja). L'augmentation est plus forte en pourcentage pour le soja que les deux autres cultures car l'augmentation de la subvention couplée est aussi plus forte. Cependant, ces augmentations restent modestes et bien loin des objectifs affichés de doublement de la production. Considérons l'exemple du soja. Le scénario augmente la subvention couplée de 0 €/ha à 200 €/ha, ce qui représente un équivalent d'augmentation du prix de 17.1 % selon le rendement initial du soja. Toutes choses égales par ailleurs, et notamment avant modification des prix d'équilibre, cela stimule une augmentation des surfaces de soja de 9.2 % (sachant l'élasticité de 0.54 reportée précédemment) et donc de la production du même niveau. Nous obtenons des augmentations moindres, de 8.6 % pour les surfaces et de 8.1 % pour les productions (tableau 1-A). En effet, le supplément de production conduit à une baisse du prix de la graine de soja certifié non OGM (tableau 1-B) de

Tableau 1 – Résultats des simulations par scénario : variation en niveau et % par rapport à la valeur initiale

	Valeur Initiale	Scénario 1 « Subventions couplées »		Scénario 2 « Progrès techniques »		Scénario 3 « Demande »	
		niveau	(%)	niveau	(%)	niveau	(%)
A – Impacts sur les productions végétales françaises (surfaces en milliers d'hectares, production en milliers de tonnes)							
Surface blé	4 990	-1.70	-0.03	-4.95	-0.10	9.55	0.19
Production blé	36 236	-12.15	-0.03	-37.97	-0.10	69.86	0.19
Surface colza	1 560	-0.55	-0.04	-1.38	-0.09	2.49	0.16
Production colza	4 812	-1.60	-0.03	-5.85	-0.12	8.23	0.17
Surface soja	40	3.45	8.62	3.22	8.05	2.80	7.00
Production soja	137	11.06	8.07	44.12	32.20	13.63	9.95
Surface pois	180	3.02	1.68	11.89	6.60	0.31	0.17
Production pois	1 070	15.69	1.47	318.54	29.77	2.00	0.19
B – Impacts sur les prix (euros/tonne)							
Soja conventionnel	354	-0.13	-0.04	-1.03	-0.29	-1.00	-0.28
Soja non OGM	403	-7.34	-1.82	-34.62	-8.59	48.92	12.14
Tourteau soja convent.	300	0.16	0.05	-1.50	-0.50	-1.92	-0.64
Tourteau soja non OGM	340	-5.29	-1.55	-28.88	-8.49	55.41	16.30
Volailles convent.	1 880	0.02	0.00	4.17	0.22	-5.36	-0.28
Volailles non OGM	2 120	-2.12	-0.10	-12.13	-0.57	214.93	10.14
Blé tendre	183	0.02	0.01	-0.26	-0.14	0.14	0.08
C – Impacts sur les demandes de matières premières pour l'alimentation animale (milliers de tonnes)							
Blé	11 328	1.05	0.01	-146.56	-1.29	67.70	0.60
Tourteau soja convent.	3 416	-1.30	-0.04	-151.92	-4.45	-149.94	-4.39
Autres tourteaux	4 134	-3.73	-0.09	-145.33	-3.52	74.09	1.79
Tourteau soja non OGM	452	8.34	1.84	31.57	6.99	17.26	3.82
D – Impacts sur les productions animales (milliers de tonnes)							
Viande porcine convent.	1 895	0.00	0.00	-1.65	-0.09	-94.29	-4.98
Viande porcine non OGM	148	0.01	0.01	0.09	0.06	110.12	74.41
Viande volaille convent.	1 678	-0.03	0.00	-2.70	-0.16	-111.68	-6.66
Viande volaille non OGM	186	0.09	0.05	0.67	0.36	117.96	63.42
Lait de vache convent.	19 226	-0.55	0.00	416.40	2.17	-1 414.47	-7.36
Lait vache non OGM	5 880	0.07	0.00	-1.07	-0.02	2 136.26	36.33
E – Impacts sur les échanges							
Blé (mt)	18 267	-11.00	-0.06	124.58	0.68	-85.16	-0.47
Tourteau soja conv. (mt)	3 061	0.11	0.00	-141.03	-4.61	-142.48	-4.65
Viande porcine conv. (M€)	-13	0.05	-0.36	-11.81	90.87	183.52	-1 411.72
Viande volaille conv. (M€)	396	0.01	0.00	-9.95	-2.51	124.75	31.50
Produits laitiers conv. (M€)	2 344	-0.53	-0.02	388.70	16.58	988.64	42.18
MRP (M€)	-897	6.21	-0.69	174.37	-19.44	10.46	-1.17
Balance agri/agro (M€)	10 843	-12.90	-0.12	873.58	8.06	1 570.69	14.49
F – Impacts sur les revenus et emplois des activités							
Revenu agricole (M€)	38 114	10.93	0.03	643.16	1.69	336.34	0.88
Revenu IAA (M€)	29 814	0.04	0.00	74.10	0.25	590.48	1.98
Emploi salarié agricole	230 674	-8.03	0.00	4 449.33	1.93	2 743.49	1.19
Emploi salarié agroalim.	534 661	6.37	0.00	1 142.40	0.21	9 197.38	1.72

Pour les viandes, l'unité de mesure est la tonne équivalent carcasse (cf. <https://www.franceagrimer.fr/FAQ/VIANDES/Viandes-Que-signifie-T.E.C.>).
Source : calculs des auteurs.

l'ordre de 1.8 %, ce qui atténue l'effet initial de la subvention à la fois sur les surfaces plantées et sur les rendements (baisse de 0.5 %, cohérente avec l'élasticité-prix propre du rendement du soja). Un autre effet, plus limité, conduisant à une augmentation modeste de la production de

graines de soja en France vient de l'augmentation des surfaces cultivées en pois protéagineux et féveroles.

Ce supplément de graines de soja françaises non OGM va pour l'essentiel à l'industrie

française du corps gras, les échanges (importations et exportations) variant peu. L'augmentation de la production française de tourteau de soja certifié non OGM, de 8.4 %, est alors entièrement absorbée par l'alimentation animale. Cependant, cela ne représente qu'une augmentation de 1.8 % de ce tonnage car une grande partie (près de 80 %) est initialement importée (tableau 1-C). Les conséquences sont un peu différentes pour les pois et féveroles dans la mesure où, initialement, une part importante (de l'ordre de 30 %) est exportée. Les suppléments de production sont donc aussi pour partie exportés, ce qui contribue à une moindre baisse des prix (0.4 % contre 1.8 % pour la graine de soja).

Ces suppléments de MRP incorporés dans l'alimentation animale déplacent très modestement, de moins de 0.1 %, les usages de tourteaux de soja conventionnels et autres tourteaux (de colza notamment). L'utilisation de blé tendre en alimentation animale augmente même légèrement, pour compléter les rations fournies aux volailles. En fait, nous obtenons des augmentations très limitées des productions granivores et herbivores certifiées non OGM (tableau 1-D), la plus importante en pourcentage étant la production de volailles, plus dépendante en tourteau de soja que les autres productions animales.

En termes d'échanges de produits (tableau 1-E), les exportations nettes de blé tendre baissent légèrement, majoritairement du fait d'une légère baisse des productions et surfaces allouées. Plus surprenante est la quasi-stagnation des importations de tourteau de soja conventionnel alors que leur usage dans l'alimentation animale a légèrement baissé. Cela vient du fait que le secteur français des corps gras alloue ses usines de trituration plus souvent à la trituration de graines de soja certifiées non OGM qu'à la trituration de graines de soja conventionnelles. Il en résulte une baisse de la production française de tourteau de soja conventionnel. Par contre, nous obtenons une baisse des importations de graines de soja conventionnel, si bien que le solde français de MRP s'améliore de 6.4 millions d'euros. L'autonomie protéique s'est améliorée mais très modestement. En revanche, la balance commerciale agricole et agroalimentaire française se détériore, de l'ordre de 12.8 millions d'euros, essentiellement du fait du recul des exportations de céréales.

Ce scénario améliore les revenus agricoles de près de 11 millions d'euros pour une dépense budgétaire supplémentaire de 21 millions d'euros, soit une efficacité de transfert de 0.5 (tableau 1-F). Pour autant, cela ne conduit pas

à une augmentation du travail salarié en agriculture mais à une augmentation de la valeur locative des terres agricoles. En effet, les activités végétales sont favorisées par ce scénario et sont relativement moins intensives en travail et plus en terre. Les impacts sur les industries agroalimentaires ne sont pas perceptibles.

De manière générale pour ce scénario, les principaux résultats de notre simulation sont conformes à ceux obtenus dans la littérature (par exemple Jensen *et al.*, 2021) qui soulignent des impacts modestes des aides couplées aux surfaces sur les marchés. Notre apport principal est de montrer les impacts différenciés entre les filières conventionnelles et les filières certifiées non OGM. Ce premier scénario nous permet par ailleurs de crédibiliser nos choix de modélisation.

4.2. Scénario progrès technologiques

Certains des mécanismes identifiés ci-dessus sont aussi à l'œuvre dans notre deuxième scénario. En effet, toutes choses égales par ailleurs, une augmentation des rendements entraîne une augmentation des marges à l'hectare et donc incite à modifier les assolements en faveur des légumineuses à graines et fourragères. Ainsi nous obtenons une augmentation de 8 % des surfaces françaises en graines de soja non OGM (tableau 1-A). Contrairement au scénario précédent, les augmentations sont plus fortes en pourcentage des productions (proche de 32 % pour les graines de soja) sous l'effet de l'augmentation exogène des rendements. En fait, l'augmentation de production conduit de nouveau à des baisses de prix (dépassant les 8 % pour les graines de soja non OGM, tableau 1-B), qui contribuent à limiter l'augmentation des rendements et in fine de la production. L'augmentation des surfaces de légumineuses se fait au détriment de toutes les autres cultures arables ; les surfaces fourragères sont aussi en léger recul car la progression des rendements y est plus faible par hypothèse.

Au niveau de l'alimentation animale (tableau 1-C), nous obtenons de nouveau une augmentation de l'utilisation de tourteaux de soja certifiés non OGM, plus compétitifs en prix. Par contre, les réductions des utilisations des autres MRP sont significatives, spécialement celle du tourteau de soja conventionnel (de l'ordre de -150 000 tonnes) et même celle des céréales (pour le blé, d'un tonnage similaire). Cela s'explique par l'augmentation de la production de fourrages pour l'autoconsommation. D'ailleurs, la production des animaux herbivores augmente (tableau 1-D), par exemple, la production totale

de lait, de 1.6 %, soit encore plus de 400 millions de litres de lait.

Ce scénario conduit à une augmentation des productions granivores certifiées non OGM, au détriment des productions granivores conventionnelles, car le coût de l'alimentation animale certifiée non OGM est moins élevé. À l'inverse, la production de lait conventionnel augmente et la production de lait issue de vaches nourries sans OGM stagne. Ceci vient du poids plus important du fourrage dans les coûts de production du lait conventionnel que dans ceux du lait certifié non OGM. En effet, les fourrages produits en France sont tous non OGM et peuvent donc être utilisés dans les deux filières. Mais les filières non OGM subissent des coûts supplémentaires de traçabilité et étiquetage (cf. section 3.1 pour leur calibrage).

Au niveau des échanges (tableau 1-E), ce scénario débouche sur une diminution notable des importations de tourteau de soja conventionnel (près de 150 000 tonnes) et, dans le même temps, une augmentation presque équivalente des exportations nettes de blé, principalement sous les effets alimentation animale susmentionnés. Même si les exportations nettes de viandes blanches reculent, les exportations nettes de produits laitiers augmentent très fortement, contribuant aussi à l'amélioration de la balance commerciale agricole et agroalimentaire française : ce gain approche un milliard d'euros.

Ce scénario est aussi favorable sur les plans des revenus agricoles et agroalimentaires et de l'emploi salarié dans les deux secteurs (tableau 1-F). En particulier, l'augmentation de l'emploi salarié agricole est significative car les activités d'élevage (laitier tout spécialement) sont intensives en travail. L'emploi augmente relativement moins dans les industries agroalimentaires, les effets positifs obtenus dans les industries des viandes et laitières étant partiellement atténués par une baisse de l'emploi dans l'industrie des aliments composés.

De nouveau pour ce scénario, nos principaux résultats sont qualitativement conformes à ceux obtenus dans la littérature (par exemple Jensen *et al.*, 2021) qui soulignent l'importance des progrès technologiques. Nos résultats apparaissent plus forts, principalement parce que nous avons supposé une augmentation des rendements fourragers de 12.5 %. En fait ils dépendent crucialement de cette hypothèse. Si nous supposons au contraire l'absence de gains de rendement fourrager, les impacts redeviennent modestes comme dans le premier

scénario. Les fourrages sont plus rarement étudiés dans les approches macroéconomiques globales (Gohin, 2020), faute d'informations la plupart du temps. Mais notre analyse illustre bien l'importance de les prendre en compte dans les enjeux agro-environnementaux.

4.3. Scénario demande des consommateurs

La logique des résultats de ce troisième scénario est différente. La modification de la demande vers des produits français certifiés non OGM entraîne une augmentation des prix des produits correspondants (tableau 1-B). À l'inverse, il débouche sur des baisses de prix pour les produits conventionnels. Par exemple, dans le cas des viandes de volailles, l'augmentation atteint 10.1 % pour les premiers et la baisse 0.3 % pour les seconds. Ces évolutions de prix sont requises pour stimuler une modification de l'offre de la part des agriculteurs et industries agroalimentaires français. La demande en matières premières certifiées non OGM pour l'alimentation animale augmente, justifiant une hausse de prix du tourteau de soja certifié non OGM de plus de 16 %. L'augmentation du prix de la graine de soja certifiée non OGM augmente cependant un peu moins (12 %) car, dans notre scénario, l'huile de soja qui en est extraite n'est pas plus valorisée par le consommateur français.

Sans surprise, ce scénario conduit aussi à une augmentation des surfaces de graines protéagineuses et de soja (tableau 1-A) et, par contre, à une augmentation des surfaces en céréales et oléagineux. À l'issue de la simulation, seules les surfaces fourragères diminuent. L'explication principale est que l'augmentation des demandes des viandes blanches certifiées non OGM est supérieure à celle des demandes de produits herbivores (viande rouge et produits laitiers). Or les productions de viandes blanches ne mobilisent pas de fourrages, seulement des aliments concentrés simples et composés.

Ce scénario conduit lui aussi à un recul significatif de l'utilisation de tourteau de soja conventionnel en alimentation animale (150 000 tonnes, tableau 1-C). Ce recul est en partie compensé par du tourteau de soja certifié non OGM et pour partie par la consommation de tourteaux d'autres oléagineux, particulièrement de colza produit en France, donc non OGM. Nous obtenons aussi une augmentation des usages de blé tendre pour l'alimentation animale pour les mêmes raisons.

Les productions animales totales (certifiées non OGM et conventionnelles) augmentent (tableau 1-D) alors même que les demandes

françaises totales de ces productions diminuent. Par exemple, la production française de viande porcine augmente de 16 000 tonnes. Cela résulte de l'effet des termes de l'échange : les productions françaises conventionnelles deviennent plus compétitives en prix. En effet, les industries agroalimentaires dégagent de meilleures marges sur les produits certifiés non OGM vendus sur le marché national, ce qui leur permet de diminuer leurs marges sur les productions conventionnelles.

Ce scénario débouche sur une augmentation considérable de l'excédent de la balance commerciale française en produits agricoles et agroalimentaires, de plus d'1.5 milliard d'euros (tableau 1-E). Cela résulte essentiellement des produits animaux. À l'inverse, le déficit en MRP ne se résorbe quasiment pas (de seulement 10 millions d'euros). En fait, le recul des importations de tourteau de soja conventionnel est compensé d'abord par une augmentation des importations des autres tourteaux d'oléagineux et dans une moindre mesure par un recul des exportations de pois et féveroles.

Ce scénario est favorable aux revenus agricoles et agroalimentaires, ainsi qu'aux emplois salariés dans ces secteurs (tableau 1-F). Les effets en pourcentage sont forts pour les industries agroalimentaires, spécialement les industries du lait et des viandes, auxquelles s'adressent les nouvelles demandes des consommateurs français. Contrairement aux deux précédents, ce scénario ne conduit pas à une augmentation de la valeur locative des terres agricoles, donc l'augmentation des revenus agricoles profite d'abord aux agriculteurs actifs.

4.4. Robustesse

Les résultats présentés ci-dessus dépendent évidemment de nombreuses hypothèses de modélisation et choix de calibrage des paramètres de comportement. Comme nous l'avons souligné dans la section 3.1, le choix de nombreux paramètres s'est appuyé sur des travaux économétriques. L'exception notable concerne les paramètres gouvernant les échanges de produits non OGM. Jusqu'à présent, nous avons supposé des élasticités-prix propres des demandes d'exportation et d'offre d'importation de ces produits faibles (-0.1 et 0.1) par rapport aux produits conventionnels (-10 et 10). Dans cette analyse de sensibilité, nous supposons ces dernières valeurs pour les deux types de produits (soit -10 et 10). Il s'agit d'une calibration extrême dans la mesure où elle implique que les ménages français n'auraient plus de préférence

pour les produits locaux, de même que les consommateurs étrangers pour leurs productions locales.

Avec cette calibration alternative, les résultats du premier scénario de subventions couplées sont très marginalement modifiés car les impacts prix sont faibles avec la version standard. Par exemple, le prix de la graine de soja non OGM recule de 1.2 %, contre 1.8 % avec la calibration centrale.

Les résultats du second scénario d'amélioration végétale changent de manière plus importante. Par exemple, la baisse des prix des graines et tourteaux de soja non OGM atteint 5 %, contre 8.5 % avec la calibration centrale. Il devient en effet plus facile pour les producteurs français d'exporter leurs productions supplémentaires de graines et tourteaux de soja non OGM sur le marché mondial, ce qui limite la baisse de prix. Pour autant, cela ne conduit pas à une forte modification du déficit protéique français : il se réduit de 181 millions d'euros, contre 174 millions d'euros avec la calibration centrale. Car dans le même temps, les échanges nets des tourteaux conventionnels s'améliorent moins, ceux-ci restant utilisés dans l'alimentation animale du fait des effets prix. Les effets sur les revenus agricoles et agroalimentaires sont inchangés.

Les résultats du scénario de modification de la demande changent aussi de manière perceptible. L'augmentation du prix des volailles non OGM n'atteint plus que 6.6 %, contre 10.1 % avec la calibration centrale. De nouveau, cela ne conduit pas à une forte modification du déficit protéique français : le solde s'améliore de 24 millions d'euros, contre 10 millions d'euros avec la calibration centrale. Là encore, cela résulte d'une substitution entre les tourteaux de soja OGM et les autres tourteaux. Soulignons enfin que les revenus agricoles ne s'améliorent pas à l'issue de ce scénario avec la calibration alternative alors qu'ils progressent de 336 millions d'euros avec la calibration centrale. Ceci s'explique par de moindres productions animales (tout spécialement de lait) qui génèrent plus de valeur ajoutée que les productions végétales.

* *
*

L'indépendance protéique française est une antienne de près de 50 ans, qui perdure jusqu'à présent, confrontée à des contraintes économiques. Le nouveau contexte – caractérisé par la crise sanitaire apparue en 2020, l'évolution de

plus en plus perceptible des demandes sociétales en faveur de l'environnement et de localisme, l'apparition de nouvelles technologies de sélection variétale – permettra-t-il de dépasser ces contraintes économiques ? Cet article y apporte des éléments de réponse, par le développement d'un modèle économique original et la quantification de trois scénarios contrastés.

Les résultats de nos simulations montrent que l'évolution de la demande des consommateurs français pour des produits animaux nourris sans OGM est un levier beaucoup plus puissant pour réduire les importations de tourteau de soja, que les traditionnels soutiens couplés à la production de légumineuses. Par contre, ce scénario de la demande ne débouche pas sur une amélioration notable de l'autonomie protéique, car les importations des autres tourteaux augmentent. La balance commerciale de produits agricoles et agroalimentaire s'améliore sensiblement, essentiellement grâce à l'augmentation des exportations nettes de produits laitiers. Par ailleurs, ce scénario de la demande augmente les revenus des activités agroalimentaires, un peu moins celles des activités agricoles, stimulant leur création nette d'emplois.

Le scénario de soutien couplé aux surfaces de légumineuses, scénario privilégié dans tous les plans protéiques qui se sont succédés depuis 30 ans, conduit à des effets faibles sur les marchés des produits végétaux et nuls sur les marchés des produits animaux. Les productions françaises de légumineuses croissent moins que

les surfaces consacrées, les subventions couplées n'incitant pas à augmenter les rendements. Par suite, les effets sur les revenus agricoles et agroalimentaires sont à peine perceptibles.

Au contraire, le scénario d'amélioration végétale des légumineuses fourragères et à graines conduit logiquement, par l'extension du champ des possibles, à une amélioration de l'autonomie protéique, de la balance commerciale agricole et agroalimentaire, des revenus agricoles et agroalimentaires. Les ménages français bénéficient d'une offre supplémentaire de viandes blanches provenant d'animaux nourris sans OGM. Par contre, le développement des fourrages pénalise le secteur des aliments composés.

En somme, ce travail quantitatif montre que plusieurs leviers sont nécessaires pour réduire le déficit protéique français, et que cette réduction ne peut pas dépendre uniquement de l'action publique mais qu'elle dépend aussi des citoyens dans leurs comportements de consommation et d'acceptation ou non de nouvelles technologies.

Comme dans tout travail empirique, de nombreuses hypothèses sont posées pour obtenir les résultats précédents, qu'il conviendrait d'explorer davantage. Parmi celles-ci en particulier, une représentation plus fine des filières agricoles, au-delà de celle adoptée dans cet article avec la séparation originale des filières certifiées non OGM en France (distinction des filières biologiques ou des légumes secs utilisés directement en alimentation humaine) permettrait d'améliorer la robustesse. □

BIBLIOGRAPHIE

ACTA (2021). Risques climatiques dans la perspective de la mise en place d'un système assurantiel de gestion du risque. Note dans le *Rapport sur la gestion des risques présenté par F. Descrozaille*, Assemblée nationale. <http://descrozaille.fr/gestion-risques-agricoles/Rapport-M.Le%20Ministre-F.DESCROZAILLE-avec-annexes-.pdf>

Agrosynergie (2018). *Market developments and policy evaluation aspects of the plant protein sector in the EU. Final Report*, Directorate General for Agriculture and Rural Development. <https://op.europa.eu/fr/publication-detail/-/publication/271a5587-4f86-11e9-a8ed-01aa75ed71a1>

Alston, J. M. & Pardey, P. G. (2021). The economics of agricultural innovation. In: Barrett & Just (Eds.), *Handbook of Agricultural Economics*, Ch. 5, pp. 3895–3980. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.hesagr.2021.10.001>

- Bonnet, C., Bouamra-Mechemache, Z. & Corre, T. (2018).** An Environmental Tax Towards More Sustainable Food: Empirical Evidence of the Consumption of Animal Products in France. *Ecological Economics*, 147, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.032>
- Bullock, D. W., Wilson, W. W. & Neadeau, J. (2021).** Gene Editing versus Genetic Modification in the Research and Development of New Crop Traits: An Economic Comparison. *American Journal of Agricultural Economics*, 103(5), 1700–1719. <https://doi.org/10.1111/ajae.12201>
- Caillavet, F., Fadhuile, A. & Nichele, V. (2016).** Taxing animal-based foods for sustainability: environmental, nutritional and social perspectives in France. *European Review of Agricultural Economics*, 43(4), 537–560. <https://doi.org/10.1093/erae/jbv041>
- Cortignani, R. & Dono, G. (2020).** Greening and legume-supported crop rotations: An impacts assessment on Italian arable farms. *Science of the Total Environment*, 734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139464>
- Deppermann, A., Havlik, P., Valin, H., Boere, E., Herrero, M., Vervoort, J. & Mathijs, E. (2018).** The market impacts of shortening feed supply chains in Europe. *Food Security*, 10, 1401–1410. <https://doi.org/10.1007/s12571-018-0868-2>
- Fontagné, L., Guimbard, H. & Orefice, G. (2022).** Tariff-based product-level trade elasticities. *Journal of International Economics*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2022.103593>
- FranceAgriMer (2018).** Enquête Comportements et Consommations alimentaire en France en 2016. Synthèse du Credoc pour FranceAgriMer, *FranceAgriMer*, 2018, 7.1. https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/60065/document/7-1_Synth%C3%A8se%20de%20l%E2%80%99enqu%C3%AAt%20Comportements%20Alimentaires%20en%20France%20en%202016.pdf?version=3
- Gohin, A. & Moschini, G. (2006).** Evaluating the Market and Welfare Impacts of Agricultural Policies in Developed Countries: Comparison of Partial and General Equilibrium Measures. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 28(2), 195–211. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9353.2006.00281.x>
- Gohin, A. (2020).** The Land Use Impacts of the EU Biodiesel Policy: Assessing the Direct, Indirect and Induced Effects. *Journal of Agricultural Economics*, 71(2), 305–329. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12365>
- Gotch, A., Consmüller, N., Ferike, T. & Grethe, H. (2021).** Economic and Environmental Consequences of the ECJ Genome Editing Judgement in Agriculture. *Agronomy*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy11061212>
- Guéguen, J., Walrand, S. & Bourgeois, O. (2016).** Les protéines végétales : contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 51(4), 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2016.02.001>
- Hache, E. (2015).** Géopolitique des protéines. *Revue internationale et stratégique*, 97(1), 36–46. <https://doi.org/10.3917/ris.097.0036>
- Henseler, M., Piot-Lepetit, I., Ferrari, E., Gonzalez Mellado, A., ... & Hélaine, S. (2013).** On the asynchronous approvals of GM crops: Potential market impacts of a trade disruption of EU soy imports. *Food Policy*, 4, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.05.005>
- Jaravel, X. & Méjean, I. (2021).** Quelle stratégie de résilience dans la mondialisation ? *Les Notes du Conseil d'analyse économique*, 64(10), 1–12. <https://www.cae-eco.fr/staticfiles/pdf/cae-note064.pdf>
- Jensen, H. G., Elleby, C. & Domínguez, I. P. (2021).** Reducing the European Union's plant protein deficit: Options and impacts. *Agricultural Economics*, 67(10), 391–398. <https://doi.org/10.17221/94/2021-AGRIC ECON>
- Kalaitzandonakes, N., Kaufman, J. & Miller, D. (2014).** Potential economic impacts of zero thresholds for unapproved GMOs: The EU case. *Food Policy*, 45, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.06.013>
- Kilkenny, M. & Robinson, S. (1990).** Computable general equilibrium analysis of agricultural liberalization: Factor mobility and macro closure. *Journal of Policy Modeling*, 12(3), 527–556. [https://doi.org/10.1016/0161-8938\(90\)90012-4](https://doi.org/10.1016/0161-8938(90)90012-4)
- Koutchadé, O., Carpentier, A. & Femenia, F. (2021).** Modeling Corners, Kinks, and Jumps in Crop Acreage Choices: Impacts of the EU support to Protein Crops. *American Journal of Agricultural Economics*, 103(4), 1502–1524. <https://doi.org/10.1111/ajae.12152>
- Kuhlman, T., Helming, J. & Linderhof, V. (2017).** Optimizing Legume Cropping: the Policy Questions. In: Murphy-Bokern, D., Stoddard F. L., Watson C. A. (Eds), *Legumes in Cropping Systems*, Ch. 14, pp. 226–242.
- Le Cadre, P., Pressenda, F., Labalette, F. & Peyronnet, C. (2015).** Valorisation de tourteaux de soja issus d'une production locale non OGM chez les fabricants d'aliments. *OCL*, 22(5), 1–7. <https://doi.org/10.1051/ocl/2015034>.
- Le Déaut, J.-Y. (2021).** Innovation et agriculture : les techniques d'hier ne résoudront pas les problèmes de demain. *Paysans et Société*, 388(4), 6–13. <https://doi.org/10.3917/pes.388.0006>
- Lindström, H. (2021).** The Swedish consumer market for organic and conventional milk: A demand system analysis. Umeå University, Department of Economics, *Umeå Economic Studies* N° 998. <http://www.usbe.umu.se/ues/ues998.pdf>.

- Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., ... & Walrand, S. (2016).** Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics*, 126, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>
- Magrini, M.-B., Thomas, A. & Schneider, A. (2015).** Analyses multi-enjeux et dynamiques socioéconomiques des systèmes de production avec légumineuses. In: *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Éditions Quae.
- Magrini, M.-B., Anton, M., Chardigny, J.-M., Duc, G., Duru, M., Jeuffroy, M.-H., ... & Walrand, S. (2018).** Pulses for Sustainability: Breaking Agriculture and Food Sectors Out of Lock-In. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00064>
- Mahé, L.-P. (2005).** La question de l'autosuffisance protéique est-elle définitivement obsolète pour l'Union européenne ? *OCL*, 12(3), 196–202. <https://doi.org/10.1051/ocl.2005.0196>
- Marette, S., Disdier, A. C. & Beghin, J. (2021).** A Comparison of EU and US consumers' willingness to pay for gene-edited food: Evidence from apples. *Appetite*, 159, 10506. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105064>
- Moschini, G., Bulut, H. & Cembalo, L. (2005).** On the Segregation of Genetically Modified, Conventional and Organic Products in European Agriculture: A Multi-market Equilibrium Analysis. *Journal of Agricultural Economics*, 56(3), 347–372. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2005.00022.x>
- Nes, K., Schaeffer, K. A. & Scheitrum, D. P. (2021).** Global Food Trade and the Costs of Non Adoption of Genetic Engineering. *American Journal of Agricultural Economics*, 104(1), 70–91. <https://doi.org/10.1111/ajae.12213>
- Parisi, C. & Rodríguez-Cerezo, E. (2021).** *Current and future market applications of new genomic techniques*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/02472>
- Pellerin, S., Bamière, L., Angers D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., ... & Chemineau, P. (2017).** Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environmental Science and Policy*, 77, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.003>
- Ramanantsoa, J. & Villien, C. (2012).** Soutien public à la production de protéagineux et de soja : rétrospective et projections à partir du modèle MAGALI. Ministère de l'agriculture, Centre d'études et de prospective, *Analyse* N° 43. <https://agriculture.gouv.fr/soutien-public-la-production-de-proteagineux-et-de-soja-retrospective-et-projections-partir-du>
- Reckling, M., Bergkvist, G., Watson, C. A., Stoddard, F. L., Zander, ... & Bachinger, J. (2016).** Trade-Offs between Economic and Environmental Impacts of Introducing Legumes into Cropping Systems. *Frontiers in Plant Science*, 7, 669. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00669>
- Soler, L. G. & Thomas, A. (2020).** Is there a win-win scenario with increased beef quality and reduced consumption? *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, 101, 91–116. <https://doi.org/10.1007/s41130-020-00116-w>
- Terres Univia (2017).** Plan de filière 2018-2022. En route pour le « made in France » des huiles et des protéines végétales. <https://www.terresunivia.fr/sites/default/files/articles/publications/brochures/TU-Plan%20Filiere-64Pages.pdf>
- Tillie, P. & Rodríguez-Cerezo, E. (2015).** Markets for non-Genetically Modified, Identity-Preserved soybean in the EU. *JRC Science and Policy Reports* 1–72. <https://doi.org/10.2791/949110>
- Zander, P., Amjath-Babu, T. S., Preissel, S., Reckling, M., Bues, A., Schläfke, N., ... & Watson, C. (2016).** Grain legume decline and potential recovery in European agricultural: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0365-y>

