

Les diagrammes de flux des filières agricoles françaises du champ à l'assiette : vers la production d'un référentiel commun

Fabrice Levert (1), Julien Alapetite (2), Christophe Alliot (3), Yannick Carel (4), Jean-Yves Courtonne (5), Valérie Diot (6), Xavier Dornier (7), Sophie Drogué (8), Boris Duflot (9), Simon Fourdin (10), Anne-Laure Levet (11), Sophie Madelrieux (12), Tiana Smadja (13)

(1) SMART, INRAE, 35000, Rennes, France.

(2) TerriFlux, 38430, Moirans, France

(3) BASIC, 75011, Paris, France

(4) Pôle Economie & Stratégie d'exploitation, Arvalis, 31450, Baziège, France

(5) STEEP, LJK, INRIA, Grenoble INP, CNRS, Université Grenoble Alpes, 38000, Grenoble, France

(6) Département Economie, IFIP, 35650, Le Rheu, France

(7) Pôle Développement, Innovation, Recherche, IFCE, 19230, Arnac-Pompadour, France

(8) MOISA, Univ Montpellier, CIHEAM-IAMM, CIRAD, INRAE, Institut Agro, IRD, 34000, Montpellier, France

(9) Département Economie, IDELE, 75012, Paris, France.

(10) Pôle Socio-Economie, ITAVI, 75009, Paris, France.

(11) Direction Prospective et Études Économiques, CTIFL, 75017, Paris, France.

(12) Université Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, 38402 St-Martin-d'Hères, France

(13) Terres Univia, 75008, Paris, France

Auteur de correspondance : fabrice.levert@inrae.fr

RESUME :

Les diagrammes de flux de matières sont un mode de représentation des données de filière permettant de rendre visuel les liens qui relient les acteurs entre eux et leur importance. Le projet RéfFlux (2022-2023) est un projet dont la finalité était, pour différentes filières françaises représentées par leurs instituts techniques, d'harmoniser leur approche et de se doter d'une méthodologie commune de représentation des données publiques et expertes. Cet article présente la démarche adoptée pour la réalisation d'un référentiel commun aux différentes filières végétales et animales malgré la grande diversité des données, des acteurs, des procédés de transformation et des enjeux. Nous proposons une grille de lecture des diagrammes réalisables et notamment ceux mis en ligne sur le site web du RMT FILARMONI¹ via 3 types d'analyses thématiques possibles : les questions de souveraineté alimentaire et de dépendance des filières, les questions de flux de coproduits en lien avec la bioéconomie et enfin l'adaptation à la consommation des ménages, à domicile et hors foyer...

L'objectif principal de ce travail est de contribuer à une meilleure lecture sur l'origine et le devenir des productions végétales et animales en France afin d'éclairer les choix des politiques publiques et des décideurs privés.

MOTS CLES :

¹ Le Réseau Mixte Technologique (RMT) Filarmoni (2020-2025) regroupe 17 partenaires, Instituts techniques, INRAe, Chambres d'Agriculture, FranceAgriMer, Établissements d'enseignement supérieur et lycées agricoles, autour de questions liées à l'économie des filières agricoles et alimentaires : <https://www.filarmoni.fr/>

Farm to Fork Flow Diagrams for French Agricultural Sectors: A common template

ABSTRACT:

Material flow diagrams are a visual representation of sector data that allows us to visualize the size of the relative flows between the different actors. The RéfFlux project (2022-2023) is a project whose purpose was, for different French sectors represented by their technical institutes, to equip themselves with a common methodology for representing public and expert data. This article presents the common approach adopted for the creation of a common reference framework for the different plant and animal sectors in a context of great diversity of data, actors, technologies and issues. We propose a reading grid for the diagrams that can be produced, in particular those posted online on the RMT FILARMONI website via 3 types of possible thematic analyses: questions of food sovereignty and sector dependency, questions of co-product flows linked to the bioeconomy and finally adaptation to household consumption, at home and outside the home. We show how this type of tool can contribute to informing the public debate by facilitating dialogue between stakeholders. The main objective of this work is to contribute to a better understanding of the origin and future of plant and animal production in France in order to inform the choices of public policies and private decision-makers.

KEYWORDS:

Agri-food sectors – Sankey diagram – Biomass flow – Food dependency – Sovereignty – Bioeconomy – Food distribution - RéfFlux

JEL CLASSIFICATION : L22, Q11, Q13

INTRODUCTION – REVUE DE LITTÉRATURE

Une agriculture au cœur d'enjeux multiples

Au-delà des enjeux territoriaux, sociaux ou démographique du renouvellement de la population agricole, nous nous concentrons sur trois enjeux des filières agricoles : la souveraineté alimentaire, le concours à la transition écologique et énergétique, et la segmentation de la demande alimentaire.

La crise sanitaire, en 2020, puis le conflit russo-ukrainien à partir de 2022 ont remis en lumière des notions comme l'autonomie ou la souveraineté alimentaire, ce dernier terme étant inscrit dans la dénomination du ministère de l'Agriculture en 2022² ainsi dans le projet de loi d'orientation agricole soumis au Sénat en mai 2024³. Malgré le poids de l'agriculture française, première puissance agricole en Europe, la désorganisation des chaînes d'approvisionnement et le renchérissement du coût des matières premières ont révélé des vulnérabilités et des dépendances en matière d'alimentation. Un rapport du Sénat, publié en septembre 2022, soulignait le risque de crise de souveraineté alimentaire au regard du doublement des importations alimentaires depuis 2000 (rapport du Sénat, 2022).

L'agriculture de par l'espace qu'elle occupe est au cœur des enjeux de transition écologique. Au-delà des pratiques agricoles proprement dites, les filières ont un rôle essentiel à jouer de par la diversité

² Dont l'intitulé complet, au 9 juillet 2024, est ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire.

³ « Projet de loi d'orientation pour la souveraineté en matière agricole et le renouvellement des générations en agriculture » (2024)

des produits et des types de débouchés possibles. La valorisation de matières premières agricoles à vocation énergétique concourt à réduire la dépendance aux énergies fossiles mais pose la question de la concurrence avec les usages alimentaires pour les terres agricoles avec notamment des effets potentiels de pressions pour la recherche de nouvelles terres cultivables et des conséquences en termes de perte de biodiversité, de déforestation et d'émissions de gaz à effet de serre associées. Les filières génèrent cependant des coproduits dont la valorisation contribue à compenser ces effets dans une logique d'économie circulaire mais dont il est parfois difficile d'appréhender l'ampleur en ne se focalisant que sur la partie la plus noble de la chaîne de transformation.

En se focalisant sur le débouché en alimentation humaine, plusieurs études soulignent les évolutions dans le mode de consommation des Français depuis les années 70 avec une segmentation de l'offre et une diversification des lieux de consommation. D'une part la restauration hors domicile occupe une part de plus en plus importante avec le recours à davantage de plats préparés et des aliments de plus en plus transformés. Nozière-petit *et al.* (2018) notent ainsi qu'une part considérable de la consommation nationale se fait sous forme d'ingrédients incorporés peu visibles dans les plats cuisinés. D'autre part le développement d'une alimentation plus qualitative, de circuits courts ou sous label semble se développer mais la période récente a montré la sensibilité au contexte économique inflationniste. Cette diversité de la demande structure ainsi l'organisation des différents opérateurs des filières depuis les producteurs, la segmentation et les ajustements génèrent ainsi des échanges importants entre opérateurs et structurent une partie des importations.

Pour faire face à ces défis, le pilotage des filières agricoles nécessite une bonne connaissance des flux de matière du champ à l'assiette et l'élaboration d'indicateurs permettant ce suivi et ce pilotage.

Les analyses de flux de matières : un outil de pilotage des filières

L'analyse des flux de matière est une évaluation systématique des flux et des stocks de matières au sein d'un système défini dans l'espace et le temps. Elle relie les sources, les voies d'acheminement et les puits intermédiaires et finaux d'un matériau (Brunner et Rechberger, 2003).

Les diagrammes de flux de matières sont utilisés dans différents domaines, principalement dans les domaines de l'énergie (Soundararajan *et al.*, 2014 ; Subramanyam *et al.*, 2015), des métaux et du minerais (Nuss *et al.*, 2017) et du bois. Dans le domaine agricole, les diagrammes de flux sont appliqués et utilisés à différents niveaux d'échelles géographiques, d'agrégation de produit ou de niveau de détail concernant les étapes intermédiaires (Courtonne *et al.*, 2015 ; Saille *et al.*, 2022). Souvent bien développé pour représenter les aspects offre et marchés des produits agricoles, peu d'exercices offrent les informations pertinentes sur les étapes intermédiaires jusqu'à la désagrégation des circuits de distribution du produit final.

Une manière commune d'analyser et de représenter un marché ou une filière consiste à s'appuyer sur les données de bilans d'approvisionnement telles que celles produites par le ministère de l'agriculture pour la France (Agreste 2023) ou par la FAO pour l'ensemble des pays du monde (Faostat, Bilans alimentaires⁴). Ces données consistent à représenter pour un produit agricole donné, l'ensemble de ses disponibilités (production, importations ou stocks de départ) et l'ensemble de ses utilisations finales (alimentation animale ou humaine, utilisation énergétique, exportations, stocks...), indépendamment de la forme transformée ou non du produit. L'unité de représentation de base est donc la tonne de produit en équivalent produit primaire car implicitement toutes les données concernant les utilisations finales sous forme transformée sont converties dans leur équivalence ou valeur contenue en produit primaire calculée à partir d'hypothèses sur des coefficients techniques de transformation. Les données de ces tables de bilans d'approvisionnement ne sont donc pas les

⁴ <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/FBS>

données réelles de matières, les entrées de produits intermédiaires (ingrédients, eau) et les pertes diverses (coproduits, eau) ne sont pas représentées. L'unité d'analyse et de représentation est donc l'équivalent produit primaire du produit agricole de référence, éventuellement son équivalence en matière sèche (standardisée ou matière sèche utile), en énergie (Calorie) ou en protéine. Csala et Sgouridis (2015) proposent par exemple un outil dynamique pour visualiser les bilans d'approvisionnement des données de bilan de la FAO à partir d'un exercice destiné à estimer les flux énergétiques dans les filières agroalimentaires⁵. Le travail à une échelle plus fine permet généralement de récolter d'avantage d'informations et de représenter des flux de manière plus détaillée en récoltant les données à caractère obligatoire des différents transformateurs ou en mobilisant des études et de l'expertise au sein des filières. De véritables reconstitution de flux de matières, respectant les principes d'analyse de flux de matières (Brunner et Rechberger, 2003), sont donc possible avec représentation détaillée des entrées et pertes de matière dans les filières.

Les analyses de flux de matière, tout en restant une simplification de la réalité, permettent des analyses plus poussées des filières. Elles fournissent les éléments nécessaires à des analyses thématiques et à leurs représentations graphiques au niveau national. Citons par exemple les travaux sur l'estimation des pertes et gaspillages dans les filières et les chaînes alimentaires tels que ceux réalisés par Caldeira et al. (2019) à l'échelle européenne ou par Alexander *et al.* (2017) et Wirsenius (2008) à l'échelle mondiale. C'est également un outil pertinent pour étudier les différentes dimensions du métabolisme associé aux systèmes agri-alimentaires (Madelrieux et Redlingshöfer, 2023) que ce soient dans leurs dimensions énergétique (en termes de dépendance aux énergies fossiles), biogéochimique (impacts environnementaux), géographique (impacts liés au commerce), économique et sociale (emplois). Citons ici les travaux sur l'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France (Barbier *et al.* 2019), l'empreinte sur les ressources en terre et en eau de l'alimentation européenne (Vanham *et al.*, 2023), les travaux sur les flux d'émission de CO₂ liés à la déforestation inclus dans les échanges commerciaux de produits agricoles et forestiers (Pendrill *et al.* 2019), les flux d'eau, de terres, de carbone, de matières premières dans les échanges mondiaux (Tukker *et al.* 2014).

L'échelle d'analyse nationale est pertinente dans la mesure où il s'agit d'une échelle de décision politique et pour laquelle de nombreuses données sont collectées ou disponibles : statistiques agricoles, enquêtes auprès d'entreprises, données douanières... En France, des travaux détaillés ont déjà été réalisés sur la filière bois (Lenglet *et al.*, 2017), sur les filières céréales (Courtonne *et al.* 2015) et sur les filières de l'alimentation animale pour représenter les flux de matières premières concentrées et fourragères au sein des systèmes d'élevage en France (Cordier et Saille 2020; Saille *et al.* 2022). Les analyses infra-nationales au niveau territorial nécessitent davantage d'hypothèses sur les flux inter-régionaux (Courtonne *et al.* 2015 ; Metreau *et al.* 2021).

L'apport de notre travail est une analyse fine à l'échelle nationale des flux de matière dans les filières françaises. Il est un préalable utile à toute autre forme d'analyse en mettant la lumière sur le devenir de la matière agricole récoltée ou des animaux élevés sur le territoire national, sur l'ensemble des procédés de transformation, les utilisations de produits intermédiaires, importés ou réutilisés jusqu'aux différentes utilisations finales possibles et aux circuits de distribution dans le cas de la consommation humaine.

⁵ <https://food.csaladen.es/#&01&2010&France>

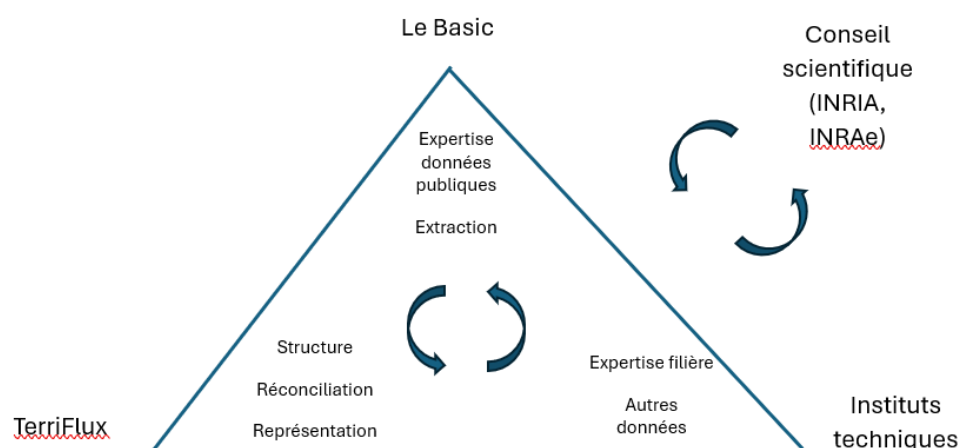
DEMARCHE – METHODE

Une collaboration avec les ITA dans le cadre du projet RéfFlux

Le travail présenté ici est issu du projet RéfFlux financé par FranceAgriMer et l'Ademe et initié par un groupe de travail sur les cartographies des flux dans les filières agroalimentaires françaises du RMT Filarmoni⁶. Les échanges entre les différents partenaires (Instituts techniques Agricoles (ITA), INRAE, FranceAgriMer) ont révélé une diversité d'approches et d'expériences en matière de représentation des flux dans les filières. L'objectif de ce projet était de poser les fondements d'une méthodologie commune pour la représentation des flux et pour des travaux futurs en se basant sur les travaux et l'expérience de Terriflux⁷ et de l'INRIA en matière de modélisation des flux inter-industries et de commerce de matières premières et de produits transformés, et de leurs représentations à l'échelle nationale ou infra-nationale (Courtonne et al. 2019).

Echelonné sur une durée de 10 mois de septembre 2022 à mai 2023, le travail a été divisé en 3 phases successives. Il a permis la réalisation in fine de différents diagrammes concernant 10 filières agricoles françaises pour les années de référence 2015 et 2019 : viande bovine, lait de vache, porc, volaille de chair, œufs, équins (viande et animaux), céréales, oléoprotéagineux, fruits et légumes.

Figure 1 : schéma synthétique du fonctionnement du projet RéfFlux



La participation des partenaires dans le projet est synthétisée dans la figure 1. Dans un premier temps les différents participants ont participé à une journée de formation pour se familiariser avec l'outil et la méthode développée par Terriflux et l'INRIA (Courtonne *et al.* 2019) pour le traitement et la réconciliation des données et pour la production de diagrammes de Sankey. Dans un processus itératif d'échanges entre les ITA et les modélisateurs de Terriflux, sous le contrôle d'un comité scientifique (INRAE, INRIA, CIREN), la première phase a constitué en la formalisation de la structure des différentes filières et à l'élaboration d'une version initiale produite à partir de données publiques extraites par Le Basic⁸. Une seconde phase a permis la production d'une version plus élaborée bénéficiant de l'expertise des ITA pour l'apport de données complémentaires et la qualification de la qualité des

⁶ Le RMT Filarmoni est un réseau Mixte Technologique agréé par le ministère de l'Agriculture. Le RMT Filarmoni traite de l'économie des filières agro-alimentaires en particulier à plusieurs filières animales (viandes porcine, bovine, ovine, volailles et œufs, produits laitiers) et végétales (fruits et légumes, céréales, oléo-protéagineux).

⁷ <https://terriflux.com/>

⁸ <https://lebasic.com/>

données utilisées. Enfin la dernière étape a conduit à la production et la livraison de livrables spécifiques à chacune des différentes filières.

Périmètre de découpage des filières

La démarche méthodologique des différentes étapes (définition de la structure de la filière, collecte des données publiques ou expertes, réconciliation, analyse et visualisation des résultats) a été décrite chez Saille *et al.* (2021) ou Courtonne *et al.* (2024). Nous précisons ici les principaux arbitrages méthodologiques consistant principalement à définir le périmètre de l'analyse, le niveau de détail des produits et secteurs d'activité couverts, la désagrégation de la demande, le choix des unités et de la période de référence.

Les diagrammes produits concernent les filières à partir de la production de la matière première jusqu'au réseau de distribution en alimentation humaine. En aval, nous ne traitons pas des moyens de productions ni des cheptels animaux par exemple, vers l'amont, l'analyse s'arrête généralement à un certain niveau de transformation au-delà duquel le produit n'est plus identifiable car incorporé dans des produits d'assemblage complexe (produits alimentaires très transformés, produits d'assemblages des IAA, plats préparés...). Nous ne traitons pas non plus dans ce travail du lien entre les filières végétales et animales supposant la segmentation de l'alimentation par espèces animales traité chez Saille *et al.* (2021) par exemple.

Le périmètre étudié est celui des secteurs de transformation et non celui des acteurs qui peuvent regrouper différentes activités (abattage et découpe par exemple). En règle générale, les flux sont exprimés en tonnes de produit et représentent donc à partir d'une graine, d'un fruit ou d'un légume récolté, d'un animal abattu l'ensemble des processus de transformation et les différents débouchés des produits et des coproduits. Dans les filières animales, les abats sont exclus de l'analyse car difficilement identifiables par espèces dans les données statistiques disponibles.

La demande humaine est désagrégée dans la mesure du possible en distinguant les achats des consommateurs en points de vente (grande distribution et magasins spécialisés), des achats en vente directe et de la consommation en restauration hors domicile (RHD). Comme évoqué précédemment, lorsque le produit est mélangé et qu'il n'est plus identifiable dans les achats, nous considérons les industries agro-alimentaires (IAA) comme un débouché final. Selon les différentes filières, nous allons le plus loin possible en fonction des données disponibles dans l'expression des autres débouchés que ce soit dans l'alimentation des animaux de rente (consommation en direct sur la ferme ou utilisation par les fabricants d'aliments du bétail (FAB)), l'alimentation des animaux de compagnie, les semences, les usages énergétiques, les utilisations comme fertilisants, etc... Les différentes pertes le long des filières sont représentées mais du fait du périmètre choisi, les pertes et gaspillages au niveau des ménages après achats sont exclus de l'analyse.

La période de référence commune est l'année civile. Il s'agit de la période sur laquelle les données sont majoritairement disponibles pour les enquêtes après des entreprises et pour les secteurs de la production animale. Pour les productions végétales, où l'année campagne est plus communément utilisée en fonction du calendrier de récolte, cela conduit à des représentations pouvant sembler inhabituelles et à un exercice dans la construction pour distinguer la production récoltée de la production réellement collectée par les organismes stockeurs et mise sur les marchés. Les flux représentent également les volumes stockés et autoconsommés sur la ferme ainsi que les variations de stocks au niveau des organismes stockeurs (OS). Concernant le commerce, l'ensemble des échanges est représenté selon le type de produit ou le degré de transformation. Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi arbitrairement de ne pas nous intéresser aux partenaires commerciaux dans les importations et les exportations même si les données sont généralement disponibles.

Les données pour la représentation des flux

L'harmonisation a consisté également à se baser sur des données communes pour les maquettes préliminaires. Les données de production proviennent de la statistique agricole annuelle (Agreste), les données de commerce international de Comtrade éventuellement complété de sources douanières. Au sein des filières, pour les produits manufacturés, les données de production proviennent de la base européenne PRODCOM. Cette enquête ne concernant que les entreprises d'au moins 20 salariés, le dispositif ESANE (Elaboration des Statistiques annuelles d'entreprise) permet d'extrapoler ces données pour améliorer le taux de couverture. Pour les coproduits et leur valorisation, les informations de base proviennent du rapport RESEDA de l'ADEME (2016). Enfin, au niveau de la demande, l'accès des différents instituts techniques à différentes enquêtes dont le panel KANTAR⁹ permet d'estimer les volumes vers les différents débouchés.

En complément de ces données, les ITA peuvent disposer de données provenant d'observatoires au niveau des entreprises ou d'enquêtes spécifiques sur certains segments de la consommation. La disponibilité de certaines informations particulières permet d'illustrer des éléments spécifiques à certaines filières. Ainsi les diagrammes de la filière œufs permettent de distinguer les flux selon le mode production (ex. plein air, bio,...), la filière cheval propose une vue des cohortes animales selon l'usage des chevaux (ex. galopeurs, trotteurs...), la filière lait propose des vues dans différentes unités d'analyse pour distinguer les flux de ces deux principaux constituants valorisés sur les marchés (matières grasses et protéines du lait).

La modélisation des flux nécessite la mise en œuvre de techniques systématiques de réconciliation des données pour combler les informations manquantes et traiter les données incohérentes en se basant sur des intervalles de confiance afin de ne pas sur-interpréter les résultats (Courtonne *et al.* 2019). Ces techniques sont mises en œuvre à partir des données renseignées par les partenaires dans les fichiers Excel téléchargeables avec les diagrammes.

Les fondations communes pour ce mode de représentation des flux permettent ainsi la construction de différents types de diagrammes permettant d'appréhender les enjeux évoqués précédemment. Chacune des 10 filières étudiées propose donc un ensemble de diagrammes réalisés avec différents niveaux de détail ou d'agrégation selon ses spécificités. Généralement, un diagramme maître très détaillé est proposé et certaines vues ont été travaillées pour illustrer certaines particularités ou certains niveaux d'agrégation. Un menu permet également de réaliser des filtres basiques pour modifier l'année de référence (2015 ou 2019) par exemple ou modifier le niveau de détail. Nous proposons une grille de lecture des diagrammes sur trois items : l'analyse de l'autonomie et de la dépendance des filières, l'analyse des différents débouchés des produits et coproduits et l'analyse de la consommation humaine au travers des modes de distribution et de la segmentation des filières.

Nous illustrons cette lecture sur des exemples de différentes filières à partir de diagrammes mis en ligne sur le site web du RMT Filarmoni¹⁰.

⁹ Le panel Kantar est un panel qui suit les achats d'environ 20 000 ménages pour les différents produits de consommation courante (alimentaires et autres).

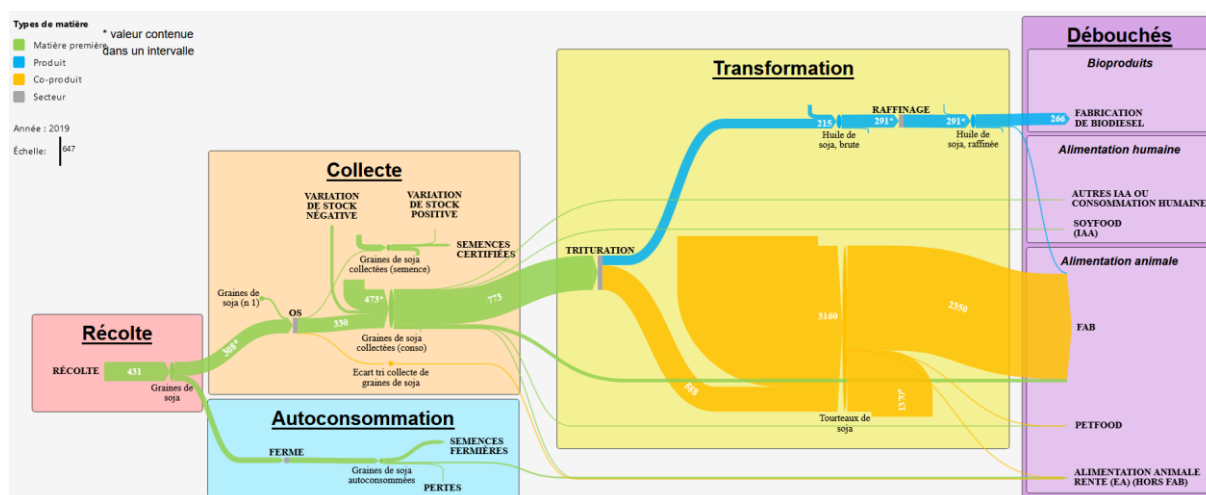
¹⁰ <https://www.filarmoni.fr/resultats-du-rmt/diagrammes-de-flux>

RESULTATS

Souveraineté alimentaire et dépendance aux importations

Les diagrammes permettent de mettre en lumière l'importance des flux relatifs d'importation et d'exportation des produits aux différents stades de transformation et de rendre compte de la dépendance des filières et de leurs vulnérabilités potentielles.

Figure 2 : Flux du soja en France (en milliers de tonnes de produit, 2019)



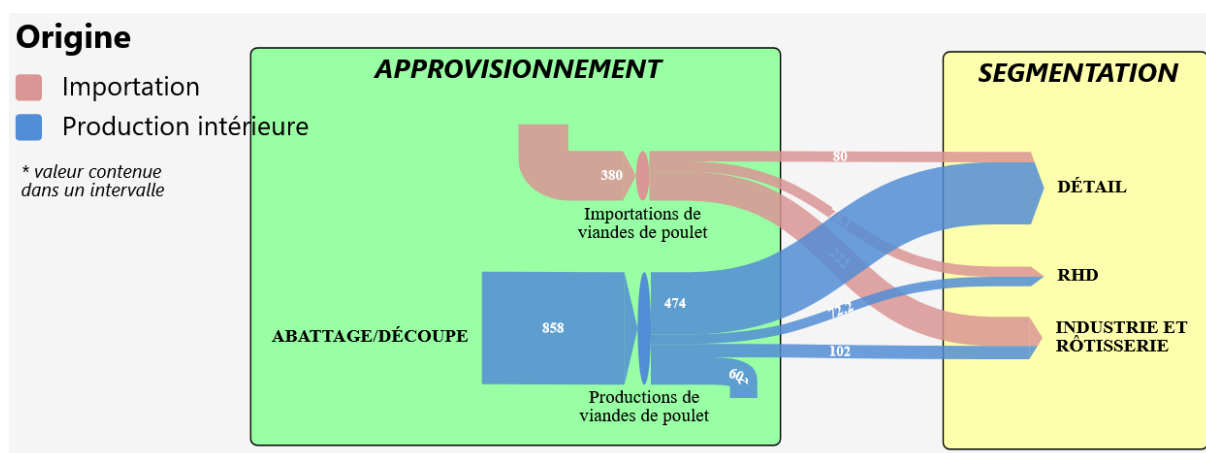
Légende : OS : organismes stockeurs ; IAA : Industrie agroalimentaire ; FAB : Fabricants d'aliment du Bétail ; PETFOOD : Fabricants d'aliments pour animaux de compagnie

Le diagramme de Sankey relatif aux flux de soja (Figure 2) illustre par exemple la grande dépendance aux importations (flux provenant du dessus) de cette filière. Le diagramme montre l'importance des importations en tonnage de tourteaux de soja mais également l'importance relative des importations de graines de soja qui sont en grande partie triturées sur le territoire pour produire du tourteau. La mise en perspective avec d'autres graines oléagineuses permet d'appréhender des structures différentes de filières avec des degrés d'autonomie variables selon les produits.

De manière plus fine, les diagrammes de flux peuvent permettre de rendre visibles les « importations cachées » que ce soit au regard des types de mise en marché (quelle est la part de produit d'origine importé selon le lieu où j'achète le produit) ou du degré de transformation des produits (quelle est la part de produit importé selon la forme sous laquelle je consomme le produit).

L'illustration des circuits de commercialisation du poulet (Figure 3) permet d'apprécier la part issue d'importation dans les consommations finales selon les circuits de distribution. Elle fait apparaître l'importance relative des produits d'origine importée majoritaires dans l'industrie de transformation et la rôtisserie ainsi que dans la RHD alors que la consommation de poulet est très majoritairement d'origine nationale dans la vente de détail. Ce fait stylisé confirme une plus grande vigilance du consommateur sur l'origine du produit lorsqu'il effectue l'acte d'achat avec un accès au produit brut alors qu'il n'a pas forcément accès à cette information en consommation en dehors du domicile ou lorsque la volaille est transformée.

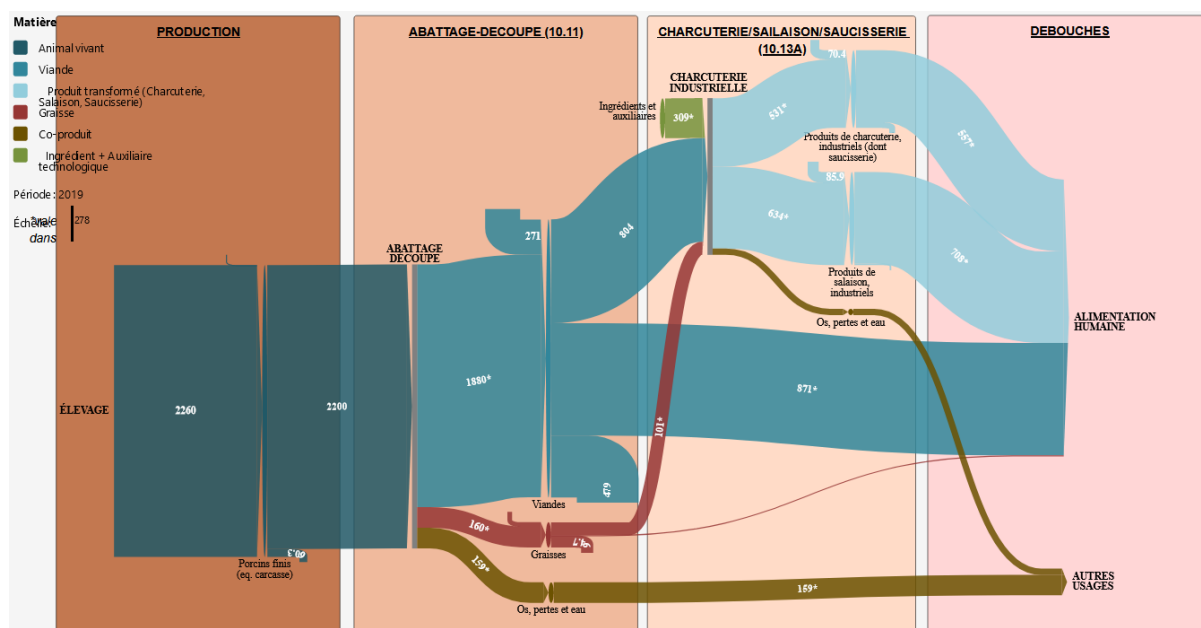
Figure 3 : Flux de la viande de poulet en France - détail par circuits de commercialisation (en millier de tonnes de produit, 2019)



Légende : RHD : Restauration Hors Domicile

Le diagramme du porc de la figure 4 permet de suivre le niveau de transformation des produits échangés. Au stade abattage-découpe, il apparaît que les exportations de viande surpassent les importations. L'observation plus détaillée révèle que les importations sont principalement constituées de pièces de découpes de viandes désossées et tandis les exportations portent surtout sur des pièces avec os, de moindre valeur ajoutée. Cette tendance à dépendre de produits à plus forte valeur ajoutée apparaît également dans la phase de transformation suivante, où les importations de produits finis de salaison sont supérieures aux exportations.

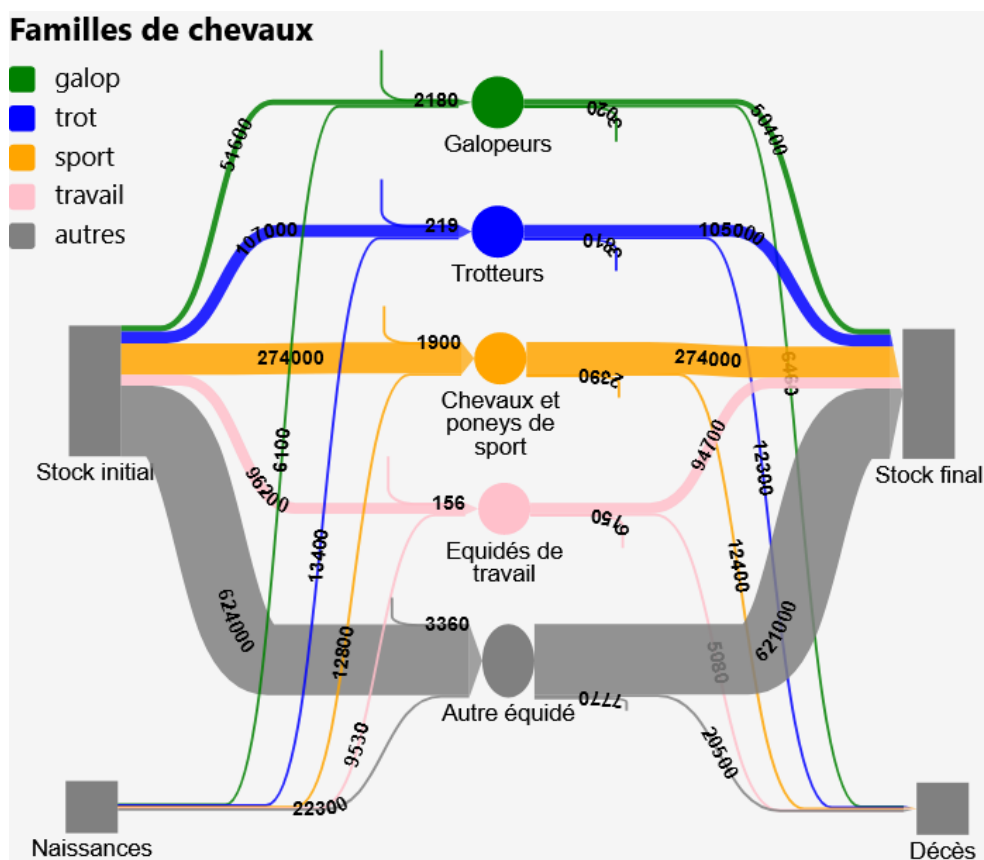
Figure 4 : Flux de la viande porcine en France - Vue d'ensemble (en millier de tonnes de produit, 2019)



Autre exemple dans le cas de la filière cheval globalement exportatrice nette en termes d'effectifs d'animaux vivants. La filière propose une vue des cohortes d'animaux vivants par type de spécialisations des équidés (Figure 5). Pour chacune des catégories d'usage est représenté l'origine et le devenir des animaux présents sur l'année civile. Cette vue permet de quantifier en partie gauche sur une année donnée les animaux issus d'importation relativement aux naissances et aux animaux plus âgés déjà présents. En partie droite, le devenir du cheptel illustre le poids relatif des exportations, des décès (naturel ou abattage) et du renouvellement naturel pour reconstituer le stock national. La filière

cheval apparaît ainsi comme exportatrice nette d'animaux sur tous les types d'usage. Elle est particulièrement active sur les secteurs des équidés de travail et des galopeurs avec de 5 à 6 % des chevaux exportés.

Figure 5 : Flux des chevaux vivants en France (par familles de chevaux, en nombre d'équidés, 2019)

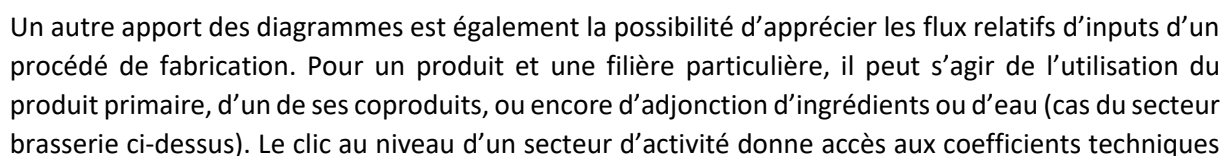


Concernant les données statistiques commerciales disponibles, il existe une ambiguïté entre le concept communautaire qui intègre tous les flux d'importation et d'exportation du pays et le concept national qui ne tient pas compte des flux qui n'entrent pas en contact avec les filières nationales. En règle générale, le concept communautaire est appliqué et il est donc important sur des pays de transit de distinguer ces flux. La filière fruit et légumes, très concernée par le transit de fruits et légumes du Sud de l'Europe vers les pays du Nord est particulièrement concernée. Les données d'importation/ré-exportation de la base de données COMTRADE n'étant pas disponibles pour les fruits et légumes, cette distinction repose aujourd'hui sur des hypothèses à partir de la superposition des calendriers de production, d'importation et d'exportation de la France vis-à-vis du reste du monde.

Signalons enfin que dans le cadre de Réfflux, nous avons fait le choix de ne pas mettre en évidence les pays d'origine ou de destination avec lesquels s'effectuent les échanges alors que les informations sont généralement disponibles. Cette utilisation peut évidemment être envisagée à l'avenir pour illustrer des relations de dépendance particulière ou de diversité des partenaires commerciaux. A titre d'exemple, le diagramme du porc distingue les flux d'échange avec les pays européens des échanges avec les pays tiers.

Les diagrammes permettent la vision d'ensemble d'une filière avec la diversité des débouchés possibles du produit primaire et de tous les produits et coproduits issus des processus de transformation. La taille relative des flux permet d'apprécier d'un coup d'œil les ordres de grandeurs des différents débouchés en alimentation humaine sous ses différentes formes, en alimentation animale en direct ou via les fabricants d'aliments du bétail, ou encore vers d'autres usages de la bioéconomie (cosmétique, énergie, fertilisation...). Il s'agit ainsi d'un élément d'appréciation des risques de concurrence d'usage en permettant de clarifier ce qui relève de la valorisation non-alimentaire directe d'une matière première ou de la valorisation de coproduits.

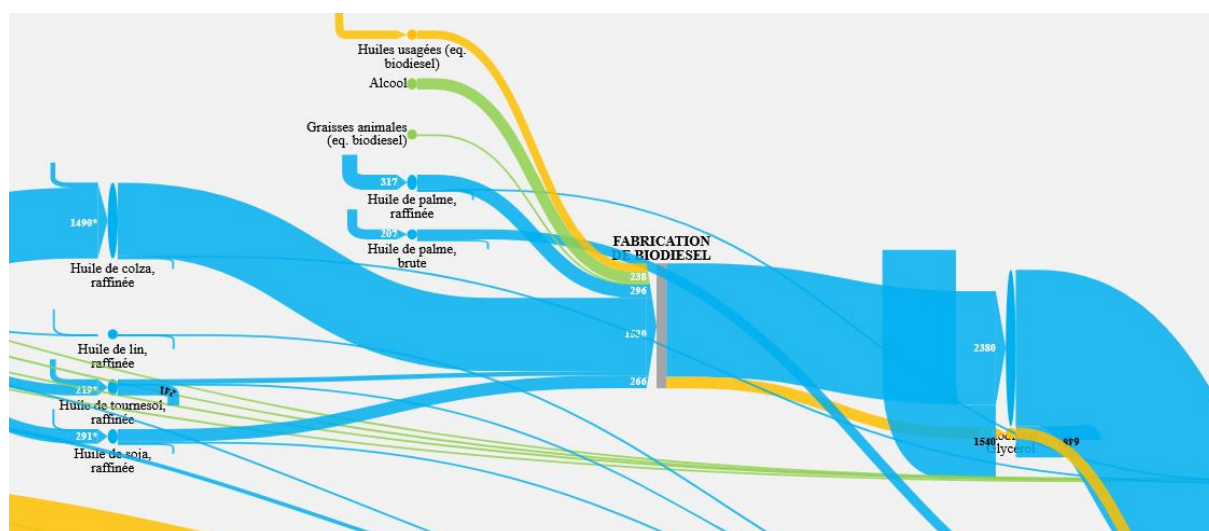
Figure 6 : Flux du blé tendre en France (en millier de tonnes de produit, 2019)



de transformation et permet d'apprécier par exemple, la quantité de blé nécessaire pour produire un kilo de farine. En sus, est indiqué en toute transparence si ces coefficients sont issus de données collectées ou s'ils sont recalculés à partir des données issues du processus de réconciliation.

Un mode de vue agrégé permettant d'intégrer différentes filières utilisatrices d'un même secteur de transformation offre la possibilité d'apprécier l'utilisation des différentes ressources possibles pour produire un produit particulier. Ainsi le diagramme « maître » (ou agrégé) du secteur des oléagineux offre la possibilité de zoomer sur le secteur de la fabrication de biodiesel (Figure 7) et de faire apparaître les différents types d'huiles végétales utilisées et leur importance relative les unes par rapport aux autres. Cette vue montre également l'utilisation d'alcool nécessaire à la fabrication du biodiesel mais également les parts respectives des autres matières premières possibles utilisables issues d'autres filières comme les graisses animales ou les huiles de fritures usagées. L'utilisation de ces deux dernières ressources est par ailleurs soutenue par la directive européenne actuelle sur les énergies renouvelables en leur faisant bénéficier d'un double-compte dans les objectifs d'incorporation obligatoire des biocarburants car ils n'entrent pas en concurrence avec d'autres produits en étant considéré comme des déchets, non utilisateurs de ressources naturelles et non émetteurs de gaz à effet de serre.

Figure 7: Flux des oléagineux en France (en millier de tonnes de produit, 2019) - Zoom sur le secteur du biodiesel



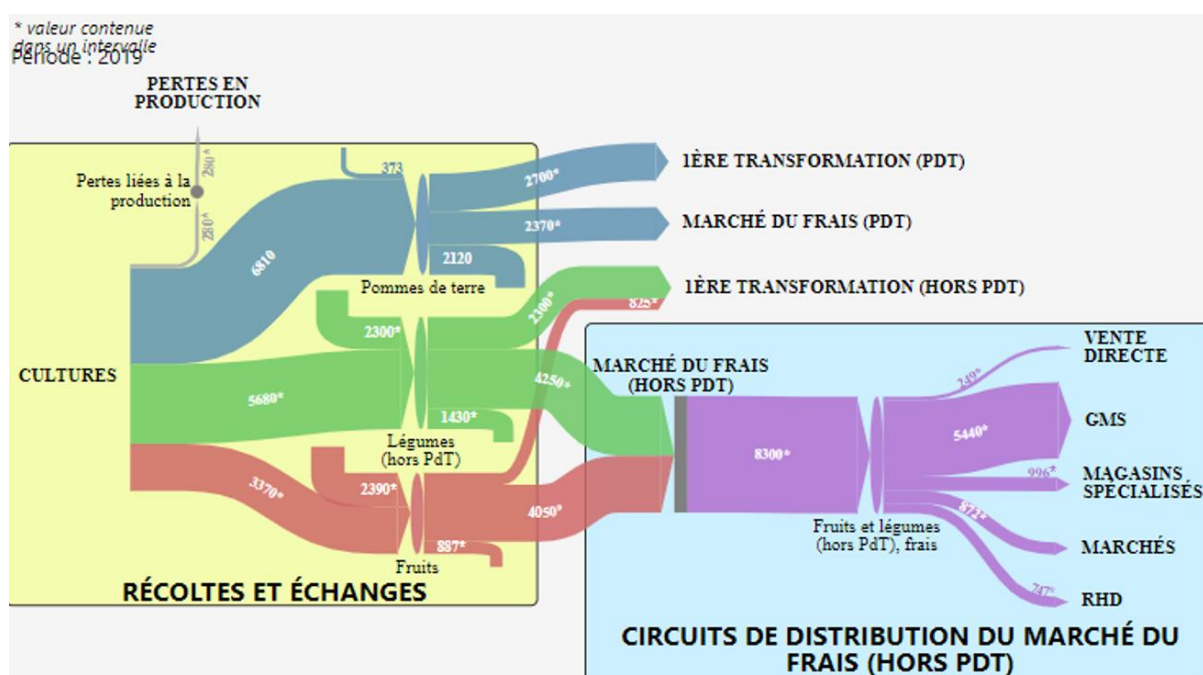
Consommation humaine : Mode de mise en marché/transformation des produits/Signes de qualité

L'utilisation de données issues d'enquêtes de consommation et leurs mises en cohérence avec les autres statistiques de filière offre la possibilité de faire apparaître la diversité des débouchés, les ordres de grandeurs relatifs des uns par rapport aux autres et permet d'apporter la transparence sur les flux dans les différents stades de transformation jusqu'au consommateur selon le type de distribution. Ces flux peu visibles habituellement dans les statistiques publiques concernent l'origine des produits consommés, les différents niveaux de transformation subis ou le caractère qualitatif du produit.

Le diagramme de la filière fruits et légumes (Figure 8) est une illustration de la ventilation des modes de distribution et de l'importance relative des importations dans les disponibilités. Il met en évidence, hors pomme de terre, la prédominance du débouché du marché frais qui, lui-même, alimente à hauteur de 90 % les achats des ménages pour leur consommation à domicile et, pour les 10 % restants,

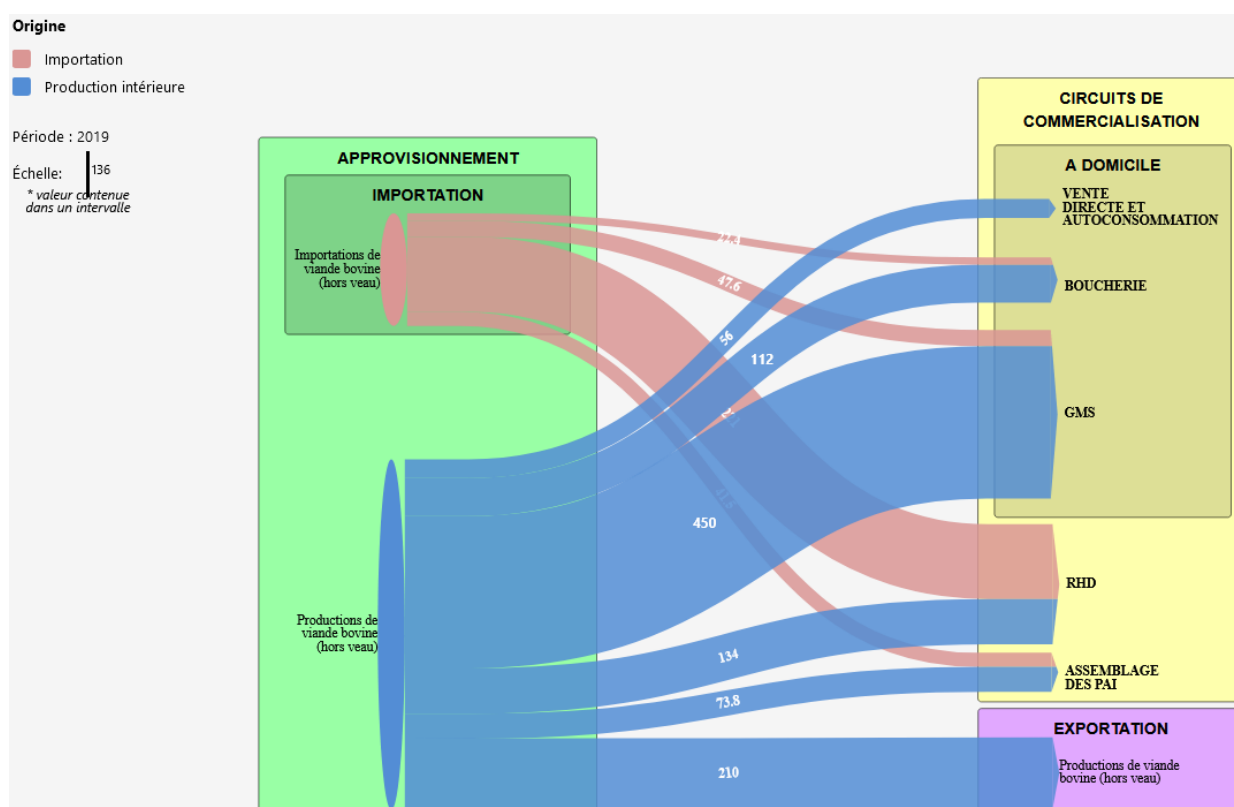
la restauration hors domicile. La production de pomme de terre, quant à elle, est ventilée entre 3 principaux débouchés : la transformation, le marché du frais et les exportations.

Figure 8 : Flux des fruits et légumes en France (vue d'ensemble avec débouchés, en milliers de tonnes, 2019)



Les données de la filière fruit et légumes ne permettent pas de quantifier les importations selon le circuit de distribution. Ce travail est en revanche réalisé pour les filières de la viande de poulet (Figure 3) ou de la viande bovine (Figure 9). Pour cette dernière, le diagramme illustre une production nationale orientée majoritairement vers la GMS (43 %), les exportations (20 %), la RHD (13 %) puis la boucherie (11 %). L'utilisation dans la fabrication de plats cuisinés industriels représente encore 7 % devant la vente directe qui ne représente que 5 %. Ce diagramme illustre également les débouchés des produits d'importation relativement plus importants dans la ou les produits d'assemblage industriel lorsque le consommateur est plus éloigné de l'acte d'achat du produit brut. Cette vision quantitative ne permet pas dans les circuits de distribution de distinguer l'origine qualitative de la viande bovine issue par exemple d'un cheptel laitier ou viande. Cette traçabilité est généralement complexe à synthétiser du champ à l'assiette. Des éléments sont disponibles dans une autre vue détaillée dans laquelle la part des vaches finies (laitières de réforme) en entrée du secteur abattage/découpe est de 40 %.

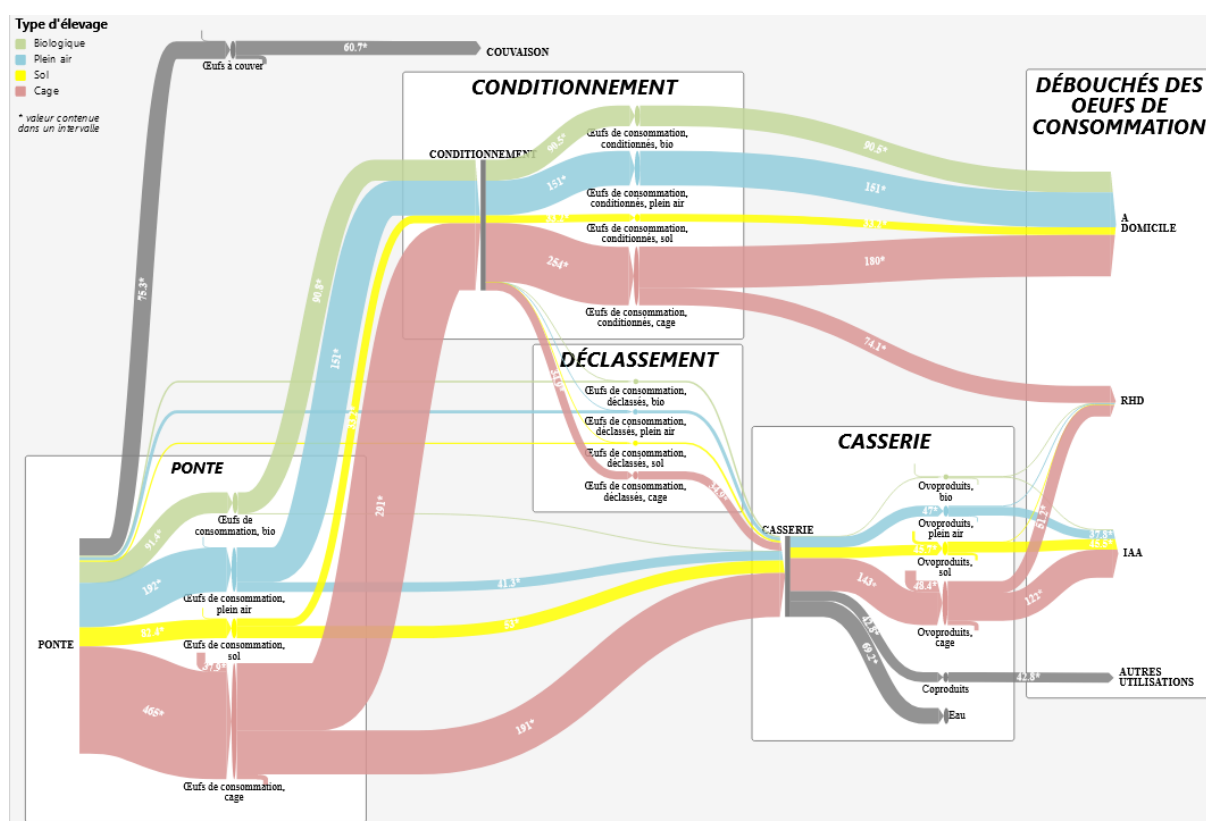
Figure 9 : Flux de la viande bovine en France par circuits de commercialisation (en milliers de tonnes, 2019)



Légende : GMS : Grandes et moyennes Surfaces ; RHD : Restauration Hors Domicile ; PAI : Produits d'Assemblage Industriel

La traçabilité qualitative et quantitative des produits de la production jusqu'aux circuits de distribution est réalisable si les informations sont disponibles comme dans le cas des œufs pour lesquels les statistiques existent généralement pour chacun des codes indicateurs des conditions d'élevage des poules pondeuses. Ainsi le diagramme de la Figure 10 permet le suivi des flux des œufs produits en cage, au sol, en plein air ou encore produits sous label Agriculture biologique depuis la ponte, au travers des secteurs du conditionnement et des casseries pour être consommés sous forme d'œufs frais ou d'ovoproduits dans différents circuits de distribution. Quelques enseignements visuels de ce diagramme sont la part majoritaire d'une consommation à domicile sous forme d'œufs pour les œufs bio ou de plein air, une consommation très majoritaire d'œufs en cage sous forme d'œufs ou d'ovoproduits en RHD, une consommation des IAA presque exclusivement à base d'ovoproduits d'origines diverses.

Figure 10 : flux des œufs par codes en France (en milliers de tonnes de produit, 2019)



Enfin l'un des intérêts principaux des diagrammes de Sankey est de pouvoir explorer de manière dynamique la complexité d'une filière. A titre d'exemple, la représentation statique du diagramme des flux des produits laitiers avec leurs circuits de distribution ne présenterait pas d'intérêt ici en raison sa taille et de sa richesse d'informations. L'outil permet en revanche d'explorer cette filière depuis la collecte de lait, à travers les différents secteurs de transformation jusqu'à la consommation à domicile, en RHD ou dans les IAA. La représentation choisie illustre les volumes de lait respectifs mobilisés dans chaque secteur de première transformation, les flux de produits laitiers débarrassés de l'eau pour les produits secs, les échanges de produits gras ou protéiques entre secteurs de transformation et la répartition des modes de distribution selon les produits laitiers. Le diagramme a été construit en trois unités distinctes, en termes de produit brut, de matière grasse et de matière protéique. La bascule entre ces modes permet par exemple d'illustrer l'importance des flux d'importation de matière grasse sous forme de beurre et d'exportation de matière protéique sous forme de poudre de lait.

Conclusion et perspectives

Les diagrammes de Sankey des filières agro-alimentaires françaises sont avant tout un outil de communication, d'échange ou de dialogue entre acteurs. Ils présentent une vision globale qui invite à analyser plus avant les flux et les ordres de grandeur présentés. Certaines informations peuvent interpeller et inciter à un retour sur les données statistiques utilisées. Il s'agit d'un travail complémentaire des données classiques de filières et notamment des bilans alimentaires dont il donne une vision plus riche avec la conservation massive dans les flux et la conservation du devenir de tous les produits, coproduits et déchets. C'est également un travail complémentaire à des analyses détaillées réalisées au sein des filières comme par exemple les études sur le devenir du lait ou du bœuf produit en France (IDELE 2019 et IDELE 2020).

Le travail présenté est une première étape, via une méthodologie commune, vers un cadre standardisé d'analyse et de comparaison des filières. Ce travail est à pérenniser pour une mise à jour actualisée des vues et une utilisation plus pertinente en lien avec l'actualité et les préoccupations des acteurs. Le développement de vues contextualisées doit également être d'avantage développé pour une utilisation facilitée et des messages plus appropriables par les utilisateurs¹¹.

Dans le cadre du débat sur la souveraineté alimentaire ou la notion d'autonomie des filières, les diagrammes de flux sont un outil qui permet d'alimenter la réflexion en proposant une illustration visuelle rapide de la situation des différentes filières. Ils pourraient à la limite avec des mises à jour actualisées être utilisés à des fins de pilotage. Ils sont complémentaires des indicateurs de souveraineté développés par les pouvoirs publics (FranceAgrimer 2023 ; Gouvernement 2024) ou au sein des filières, qui sont immédiatement lisibles, interprétables et recalculables : taux d'autoapprovisionnement, taux de couverture de la consommation par la production nationale, capacité d'exportation et dépendance aux importations, etc ...

Plus généralement, ce travail, réalisé sur des bases consolidées, pourraient également contribuer à la création d'un référentiel d'indicateurs de l'état des filières et des marchés agricoles ainsi que d'un référentiel de coefficients techniques, utiles aux acteurs et aux modélisateurs pour la description et la représentation des marchés.

Courtonne *et al.* (2024) proposent ainsi une typologie des différentes filières réalisée à partir des diagrammes pour caractériser leur profil vis-à-vis des échanges, certaines filières étant orientées vers la production nationale, ou à contrario vers la production à destination des marchés d'exportation, d'autres étant dépendantes à des degrés divers aux importations pour alimenter la consommation nationale ou les marchés mondiaux (pays de transit).

La construction des graphiques et la mobilisation des données nécessaires permettent également le calcul de différents indicateurs sur l'origine des produits consommés ou la destination des produits nationaux. Ces indicateurs pourraient renseigner sur l'origine et la part des importations de matières premières ou transformées dans la consommation moyenne de tel ou tel produit alimentaire en France, à contrario, d'autres indicateurs pourraient renseigner sur la destination finale moyenne des différentes productions françaises, végétales ou animales.

Enfin, l'effort réalisé pour collecter et rendre cohérent les données permet d'extraire un ensemble de coefficients techniques, propres aux filières françaises plus précis et actualisés par exemple que le référentiel utilisé par la FAO (FAO, 1995). La production de ce référentiel est en cours et présenté dans Courtonne *et al.* 2024.

Comme évoqué précédemment, les développements potentiels et les utilisations sont nombreux pour l'analyse des filières à différentes échelles, dans différentes dimensions concernant les impacts environnementaux, les impacts sociétaux en termes d'emplois directs et indirects¹², de création de valeur, de métabolisme territorial. Nous pensons également qu'il s'agit d'un outil qui peut apporter une réelle contribution à des exercices de modélisation plus globale de marché, basés sur des bilans de matières au niveau mondial. Les résultats d'équilibre de bilan de produits exprimés en équivalent

¹¹ La mise à jour des données et la construction d'indicateurs et de scénarios de filière issus des Sankeys sont prévues dans le cadre d'un nouveau projet de recherche qui devrait démarrer fin 2024.

¹² Voir à ce titre les travaux du GIS Elevages demain sur la quantification de l'emploi direct et indirect de l'élevage : <https://www.gis-avenir-elevages.org/ressources/archives-du-gis-elevages-demain/actions-thematiques/emplois-lies-a-l-elevage/synthese-les-emplois-lies-a-l-elevage-francais>

produit primaire pourraient avantageusement être réinterprétés à l'échelle nationale à l'aune des flux dans la filière et de la désagrégation en produits bruts et transformés.

BIBLIOGRAPHIE

- Agreste, 2023. Bilan d'approvisionnement agroalimentaire 2021-2022. Agreste, Chiffres & Données, octobre 2012, n°17.
- Alexander, P., C. Brown, A. Arneth, J. Finnigan, D. Moran, and M. D. A. Rounsevell. 2017. "Losses, inefficiencies and waste in the global food system." *Agric Syst* 153:190-200.
- Barbier, C, C Couturier, P Pourouchottamin, JM Cayla, M Silvestre, and I Pharabod. 2019. "L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France – de la production à la consommation." Pp. 24, edited by Synthèse Ademe.
- Brunner, P. H., Rechberger, H., Oct. 2003. "Practical Handbook of Material Flow Analysis, 1st Edition". RC Press, Boca Raton, FL.
- Caldeira, C., V. De Laurentiis, S. Corrado, F. van Holsteijn, and S. Sala. 2019. "Quantification of food waste per product group along the food supply chain in the European Union: a mass flow analysis." *Resour Conserv Recycl* 149:479-88.
- Cordier, Cécile, and Manon Saille. 2020. "Flux de matières premières au sein du système « alimentation des animaux de rente », France, 2015." GIS Avenir Elevage.
- Courtonne, Jean-Yves, Julien Alapetite, Pierre-Yves Longaretti, Denis Dupré, and Emmanuel Prados. 2015. "Downscaling material flow analysis: The case of the cereal supply chain in France." *Ecological Economics* 118:67-80.
- Courtonne, J-Y, J Alapetite, M Bevione, V Wawrzyniak, and Y Ravaut. 2019. "AF Filières - Analyse des flux des filières biomasse pour des stratégies régionales de bioéconomie." edited by Rapport final. Inria Grenoble - Rhône-Alpes.
- Courtonne, J-Y, J Alapetite, A Pannier, F Levert, A-L Levet, B Duflot, M Grillot, S Madelrieux. 2024. "Advancing supply chain MFA: co-designing a baseline for French agri-food chains." En cours.
- Csala, Dénes, and Sgouris Sgouridis. 2015. "Visualizing the Energetic Sustainability of Global and National Agricultural and Food Systems". *First Mediterranean Conference on Food Supply and Distribution Systems in Urban Environments*. Rome, Italy.
- Csala, Dénes. 2020. "Food Energy flows Sankey Diagram".
<https://food.csaladen.es/#&01&2011&France>
- del Campo, Francisco Martin, Simron Jit Singh, and Eric Mijts. 2023. "The resource (in)sufficiency of the Caribbean: analyzing socio-metabolic risks (SMR) of water, energy, and food." *Frontiers in Climate* 5.

- FranceAgriMer. 2023. "Souveraineté alimentaire : un éclairage par les indicateurs de bilan." Edition février 2023.
- Gouvernement. 2024. "Evaluation de la souveraineté agricole et alimentaire de la France." Rapport du gouvernement, mars 2024.
- IDELE. 2019. "Où va le boeuf ? Vers davantage de restauration hors domicile et toujours plus de transformation. ". Dossier France. n°503
- IDELE. 2020. "Où va le lait de vache collecté et transformé en France ?". Dossier France. n°513
- Intercéréales. 2023. « Des chiffres et des Céréales – l’essentiel de la filière – édition 2023 »
- Lenglet, J., Courtonne, J. Y., & Cauria, S. (2017). Material flow analysis of the forest-wood supply chain: A consequential approach for log export policies in France. *Journal of Cleaner Production*, 165, 1296-1305
- Madelrieux S., Redlingshöfer B., 2023. Métabolisme associé aux systèmes agri-alimentaires : enjeux et diversité d’approches dans la communauté de recherche française. *Cahiers Agricultures*
- Marty, Pauline, Sabrina Dermine-Brullot, Sophie Madelrieux, Julie Fleuet, and Philippe Lescoat. 2022. "Transformation of socioeconomic metabolism due to development of the bioeconomy: the case of northern Aube (France)." *European Planning Studies* 30(7):1212-29
- Metreau, E, H Segré, C Alliot, Ly; S, M Joseph, and S Hallez. 2021. "Diagnostic du système alimentaire des Hauts de France, de sa durabilité et de sa résilience." Pp. 85, edited by Rapport Ademe–Le Basic-BIO Hauts de France.
- Nozieres, Marie-Odile, Virginie Baritoux, Christèle Couzy, Marie Derville, Christophe Perrot, Pierre Sans, and Gérard You. 2018. "Transformations des filières françaises de produits carnés et laitiers : la place des éleveurs en question." *INRAE Productions Animales* 31(1):69-82.
- Nuss, P., Blengini, G. A., Haas, W., Mayer, A., Nita, V., & Pennington, D. (2017). Development of a Sankey diagram of material flows in the EU economy based on Eurostat data. *Publications Office of the European Union*, 50.
- Pendrill, Florence, U. Martin Persson, Javier Godar, Thomas Kastner, Daniel Moran, Sarah Schmidt, and Richard Wood. 2019. "Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions." *Global Environmental Change* 56:1-10.
- Sailley, Manon, Cécile Cordier, Jean-Yves Courtonne, Boris Duflo, François Cadudal, Christophe Perrot, Aude Brion, and René Baumont. 2022. "Quantifier et segmenter les flux de matières premières utilisées en France par l’alimentation animale." *INRAE Productions Animales* 34(4):273-92.
- Soundararajan, K., Ho, H. K., & Su, B. (2014). Sankey diagram framework for energy and exergy flows. *Applied energy*, 136, 1035-1042.
- Subramanyam, V., Paramshivan, D., Kumar, A., & Mondal, M. A. H. (2015). Using Sankey diagrams to map energy flow from primary fuel to end use. *Energy Conversion and Management*, 91, 342-352
- Tukker, A., T. Bulavskaya, S. Giljum, A. de Koning, S. Lutter, M. Simas, K. Stadler, and R. Wood. 2014. "The Global Resource Footprint of Nations. Carbon, water, land and materials embodied in trade and final consumption calculated with EXIOBASE 2." . Leiden/Delft/Vienna/Trondheim.

Vanham, D., Bruckner, M., Schwarzmüller, F., Schyns, J., & Kastner, T. (2023). Multi-model assessment identifies livestock grazing as a major contributor to variation in European Union land and water footprints. *Nature Food*, 4(7), 575-584.

Wirsén, Stefan. 2008. "The Biomass Metabolism of the Food System: A Model-Based Survey of the Global and Regional Turnover of Food Biomass." *Journal of industrial ecology* 7(1):47-80.

REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans cet article a bénéficié du soutien financier de FranceAgriMer et de l'Ademe.

Les auteurs remercient également les relecteurs anonymes pour leurs remarques précieuses qui ont permis d'améliorer l'article.