

L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France

de la production à la consommation

Auteur.e.s

Carine BARBIER – CIRED

Christian COUTURIER – SOLAGRO

Prabodh POUROUCHOTTAMIN – EDF R&D

Jean-Michel CAYLA – EDF R&D

Marie SILVESTRE – FIRE

Ivan PHARABOD – PhiLabs



CE TRAVAIL A ÉTÉ RÉALISÉ AVEC LE SOUTIEN DE L'ADEME ET DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION



CLUB INGÉNIERIE
PROSPECTIVE ÉNERGIE
ET ENVIRONNEMENT



Présentation

Cette brochure est issue du Projet CECAM (Contenu énergétique et carbone de l'alimentation des ménages), piloté par le Club Ingénierie Prospective Energie et Environnement.

L'entrée choisie est celle de la consommation alimentaire des ménages en France métropolitaine, différente des productions et transformations alimentaires du territoire national. Les résultats présentés considèrent les principales consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre du régime alimentaire moyen de la population française, en tenant compte des consommations et émissions contenues dans les importations de produits intermédiaires ou finaux et en excluant la production française exportée. Sont détaillées les principales étapes du système alimentaire et leur poids relatif dans l'empreinte totale : production agricole, transformation, transport de

marchandises, distribution, restauration, déplacements pour les achats alimentaires des ménages, et préparation au domicile.

Nous avons fait dialoguer les données issues des statistiques et modèles de production agricole, de la consommation alimentaire, de la transformation et des transports. A terme, l'objectif serait d'utiliser les outils d'évaluation et de simulation élaborés pour un exercice de prospective. En effet, la combinaison des modèles mobilisés permettra de simuler des changements aux différentes étapes du système alimentaire (modes de production, transformation, relocalisations éventuelles en France de produits importés, logique de transport réduite sur toute la chaîne, mode d'approvisionnement et changement d'assiette) et d'en évaluer l'impact sur les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre.

Le Comité de pilotage du projet était composé de Michel COLOMBIER (IDDRI), Sarah MARTIN et Laurent MEUNIER (ADEME), Isabelle PION (MAA), Olivier DE GUIBERT et Elisabeth PAGNAC-FARBIAS (MTES), Pierre CLAQUIN et Julien HARDELIN (CEP-MAA), Arthur RIEDACKER.

Nous remercions pour leur participation au projet CECAM, Gilles BILLEN (METIS-UPMC), Florence TOILIER, Mathieu GARDRAT et Jean-Louis ROUTHIER (LAET), Imen JEBALIA et Hanifa BERRAKI (CIRED).

SOMMAIRE

Présentation	2	La demande de transport de marchandises liée à l'alimentation	14
L'alimentation au carrefour des préoccupations sociales, sanitaires, économiques et environnementales	3	Les importations sont à l'origine de la majorité du trafic et des émissions de GES	
Des déterminants multiples		Les produits laitiers génèrent une demande de transport plus élevée que la viande	
Des outils de simulation et d'aide à la décision		Les fruits et légumes : préférences et saisonnalité	
Principaux éléments méthodologiques	4	Quels sont les produits transportés par avion ?	
Pourquoi une approche globale du système alimentaire ?		Déplacements des ménages pour leurs achats et la restauration	18
Retracer les flux matières au long de la chaîne alimentaire		Distribution de produits alimentaires et préparation des repas au domicile et en restauration hors domicile	19
Le calcul de l'empreinte carbone		De multiples établissements tertiaires concernés	
Les limites de l'appareil statistique		Les consommations d'énergie pour l'alimentation au domicile	
La consommation alimentaire	8	L'empreinte carbone d'un repas hors domicile plus élevée que celle d'un repas au domicile	
La diversité des régimes alimentaires		Résultats globaux de l'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation	22
Des produits lointains hors saison		Identifier les potentiels de réduction de la demande énergétique	
Production agricole et transformation destinée à la consommation intérieure	10	Les enjeux liés à l'alimentation carnée et aux intrants azotés	
La surface agricole est fortement mobilisée pour l'élevage		Un périmètre qui peut être élargi	
Le méthane et le protoxyde d'azote dominent les émissions du secteur agricole		Simulations et outils d'aide à la décision	
Des échanges extérieurs de produits agricoles équilibrés		Sources statistiques et références principales	
La consommation d'énergie est partagée entre la consommation de carburants et la production d'intrants			
L'essentiel de la consommation alimentaire provient des industries de transformation			
Les consommations directes d'énergie des IAA sont proches de celles de l'agriculture			

L'alimentation au carrefour des préoccupations sociales, sanitaires, économiques et environnementales

La question de l'alimentation est cruciale tant parce qu'il s'agit du bien le plus essentiel, que pour la complexité de son étude, ainsi que l'ampleur et la diversité de ses impacts. Dans les contextes actuels, l'alimentation (re)devient un enjeu public majeur ayant des conséquences sur les équilibres sociaux et écosystémiques ou économiques, locaux et mondiaux. Au-delà du cas de la France traité ici, la satisfaction des besoins alimentaires dans le respect des limites de notre écosystème est un enjeu essentiel à l'échelle mondiale tant les dynamiques sont mêlées.

La question de l'alimentation est un exemple parfait de sujet «transverse» qu'il est impossible de traiter isolément des autres secteurs de la société : « on mange comme on vit ». Qu'on l'aborde sous l'angle sectoriel (santé, eau, biodiversité, climat, sols, ressources, mode de vie, emplois locaux, coûts, etc.) ou géographique (une sécheresse en Russie ou des émeutes de la faim au Maghreb peuvent avoir un impact ici), le grand nombre d'interdépendances ne permet plus, en situation de contraintes multiples, de traiter la question en silos. Par exemple, limiter le recours aux énergies fossiles conduit à une mobilisation accrue des biomasses pour des usages non alimentaires (matériaux, énergie, etc.) et donc à une concurrence d'usage des sols ; ou encore le morcellement des chaînes de valeur ou la forte croissance des échanges touchent l'ensemble des secteurs économiques et reconfigurent les filières alimentaires. Ainsi, les travaux qui contribuent à mieux comprendre et à modéliser le fonctionnement des systèmes alimentaires et les interactions avec le reste de l'économie, sont essentiels.

Des déterminants multiples

La demande alimentaire évolue pour répondre à des préoccupations sociales, nutritionnelles, sanitaires et environnementales. Les déterminants de cette évolution sont par conséquent multiples. Le système alimentaire est façonné par des politiques publiques de différentes natures tant à l'échelle nationale (Programme National Nutrition Santé, Politique Agricole Commune, Stratégie Nationale Bas Carbone, etc.) qu'à l'échelle territoriale (Plan Alimentaire Territorial, Schéma Régional Biomasse, etc.). Les stratégies de développement des acteurs commerciaux pèsent aussi sur la

demande alimentaire, que ce soit au travers de la publicité ou du formatage de l'offre.

L'alimentation fait l'objet d'une demande croissante d'évaluation de son impact environnemental. A l'origine d'une part importante des émissions de gaz à effet de serre, elle est une des cibles des politiques de lutte contre le dérèglement climatique. Les démarches d'affichage environnemental des produits et les stratégies à plus long terme de réduction des émissions de GES ont vocation à faire évoluer les régimes et les pratiques alimentaires des ménages, et au-delà les modes et les lieux de production agricole. Une vision de long terme de la demande alimentaire est nécessaire à tout exercice de planification nationale ou territoriale.

Outils de simulation et d'aide à la décision

Compte tenu de l'ampleur des contraintes à respecter, nos modes de production et de consommation doivent évoluer fortement et rapidement pour limiter les risques de déséquilibre systémique, qu'il s'agisse de notre santé, du réchauffement climatique, du recul de la biodiversité etc. Changer son régime et ses pratiques alimentaires devient un acte citoyen, pour faire évoluer à son niveau l'organisation du système alimentaire, créer du lien social, ou encore changer notre relation avec la nature. L'ensemble de ces préoccupations impose de repenser notre système alimentaire : la nature de la production agricole et sa localisation, les processus de transformation, la demande en transport associée, etc., mais également l'importance de la surface agricole dédiée à l'alimentation dans le futur et d'éventuels changements d'usage des sols vers des productions non-alimentaires.

Pour évaluer l'impact environnemental de ces évolutions, une approche globale des systèmes de production, de transformation et de consommation est nécessaire, tant pour en saisir les interdépendances que pour penser leurs futurs. Les outils de simulation élaborés ont vocation à informer la décision des acteurs publics et privés. Les travaux présentés ici s'inscrivent dans cette perspective.

La première partie de ce document est consacrée à la méthodologie et aux outils utilisés pour l'évaluation de l'empreinte carbone. Les résultats sont ensuite présentés selon les différentes étapes du système alimentaire du champ à l'assiette.

Principaux éléments méthodologiques

Anticiper l'évolution de la demande alimentaire en tenant compte de l'évolution des structures démographiques et des normes sociales, faire des choix dans les systèmes de production, valoriser les ressources par des moyens de transformation adaptés et favoriser des débouchés sur un territoire, doivent être réfléchis au travers d'une approche systémique. Les objectifs affichés peuvent faire l'objet d'indicateurs de performance. Cette approche globale assure une cohérence avec les données statistiques sectorielles nationales, macroscopiques et individuelles, collectées tout au long de la chaîne alimentaire.

Pourquoi une approche globale du système alimentaire ?

Dans la littérature française et internationale, l'approche par des Analyses Cycle de Vie est dominante et fournit des émissions globales de GES pour une série de produits alimentaires (Perignon et al., 2016). Ainsi, le programme AGRIBALYSE, de l'Ademe, fournit une base de données homogène et transparente d'évaluation de l'empreinte environnementale des produits agricoles. En complément de cette approche ACV et parfois de manière mixte, une approche globale est pertinente dans des exercices de prospective notamment pour pouvoir tenir compte de changements aux différentes étapes du système alimentaire.

L'approche systémique proposée ici est innovante de trois points de vue :

a) Elle est basée sur un processus de désagrégation et d'allocation des volumes de produits alimentaires et des impacts environnementaux aux différentes étapes des filières de production. Elle part du régime alimentaire qui détermine la demande en produits agricoles et alimentaires

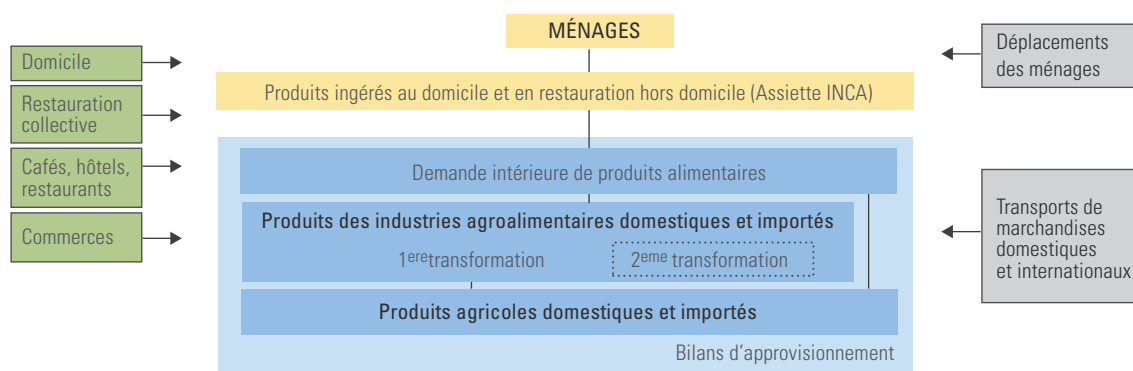
et reconstruit les phases amont des filières de production et distribution. Sa validation est assurée par la cohérence établie avec les statistiques nationales sectorielles et énergétiques aux différents maillons.

b) Elle évalue la provenance nationale, européenne ou mondiale de l'ensemble des produits alimentaires par un modèle d'analyse des flux de transport.

c) Elle permet de faire varier des paramètres au niveau des systèmes de production agricole, des choix d'allocation des terres, de la transformation, de la demande en transport selon les modes, le niveau et l'origine des importations, ou encore des progrès technologiques ou niveau de pertes au long des chaînes de transformation. Ces paramètres permettent de prendre en compte en prospective des modifications du système alimentaire en lien avec un changement de régime alimentaire (moyen ou par catégorie de population) et d'évaluer l'impact environnemental correspondant.

Nous présenterons dans cette synthèse les flux matières, consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre des principales composantes du système alimentaire qui ont été retenues dans CECAM. Le périmètre considéré est présenté dans la **Figure 1**, il inclut la production, la transformation, la distribution et la consommation alimentaire au domicile et hors domicile, ainsi que l'essentiel des transports de marchandises et les déplacements des ménages pour leurs courses alimentaires ou pour se restaurer hors domicile. Les transports de marchandises, basés sur l'enquête SITRAM, prennent en compte les véhicules de plus de 3,5t, les transports des véhicules utilitaires de moins de 3,5 t ne sont donc pas considérés à ce stade de l'analyse. Les emballages et les déchets ne sont pas non plus pris en

Figure 1. Le périmètre du système alimentaire considéré dans CECAM



Source : les auteurs

compte. Enfin, l'analyse porte sur la consommation alimentaire de la population métropolitaine. Par conséquent, les DOM-TOM sont considérés comme des territoires extérieurs et regroupés dans une région spécifique.

Retracer les flux matières au long de la chaîne alimentaire

Des bilans d'approvisionnement par classe de produits ont été élaborés afin de pouvoir détailler les flux matières sur toute la chaîne, en intégrant le commerce international. Il s'agit d'une approche physique qui permet de faire correspondre des flux de matières depuis le stade de la production jusqu'à la consommation finale des ménages, en passant par la transformation, le transport, la distribution. Cette méthode a été préférée à une approche en valeur monétaire pour assurer des correspondances plus robustes entre tous les secteurs. Notons que pour l'ensemble du document, les termes *importations* et *exportations* concernent les échanges internationaux de la France.

Un bilan se décompose entre les ressources d'une part et les emplois d'autre part, les deux termes étant équilibrés. Les ressources sont constituées de la production et des importations, les emplois sont constitués des usages intérieurs (pour transformation ultérieure ou pour consommation finale) et des exportations. Différents bilans peuvent être combinés entre eux pour élaborer des diagrammes de flux.

Les diagrammes de flux sont des diagrammes de Sankey qui permettent de visualiser les différents flux à partir de la production primaire et des importations, vers les usages finaux, en passant par différentes étapes de transformation, et ainsi de mieux comprendre le fonctionnement d'ensemble d'une filière. La visualisation sous forme de diagramme permet également de compléter les bilans d'approvisionnement vers l'aval de chaque filière. En effet, les données AGRESTE ou FAO s'arrêtent généralement aux productions primaires (lait brut, graine de colza) et secondaires (fromage, huile de colza, tourteau de colza, carcasse de porc), mais ne vont pas jusqu'aux productions tertiaires

(charcuterie, plats préparés, produits de la boulangerie), et il manque souvent un maillon important entre l'assiette telle que décrite par les enquêtes de consommation alimentaire (de type enquête INCA) et les bilans d'approvisionnement.

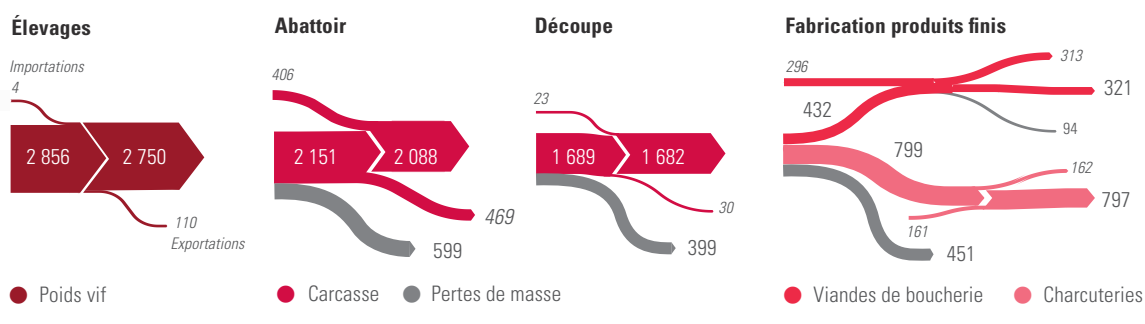
LES SOURCES DE DONNÉES

Des données de nombreuses enquêtes statistiques nationales et internationales ont été utilisées, à la fois pour évaluer les flux de matières, les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Les principales sources sont celles de la FAO, l'Agreste, l'INSEE, les enquêtes Prodcom et celles d'Eurostat pour les productions agroalimentaires et le commerce international, pour les transports, les enquêtes SITRAM et ENTD du Ministère des transports, l'enquête INCA2 conduite par l'ANSES pour les régimes alimentaires.

Les diagrammes de flux sont établis non pas en équivalent primaire mais en flux physiques réels. Ainsi les bilans d'approvisionnement de la FAO sont complétés par une rubrique supplémentaire, la « consommation finale », qui correspond à la notion de « disponibilité alimentaire », mais corrigée d'un facteur qui tient compte du flux physique. Ainsi, la consommation de viande bovine est estimée à 1,6 Mt en équivalent carcasse, mais à 1,1 Mt en viande de boucherie. Pour les fruits et légumes, il est aussi possible de convertir les données de « disponibilités alimentaires » en jouant sur ces coefficients. Cela est nécessaire notamment pour les fruits et légumes transformés en concentrés pour les jus, par exemple, car l'écart de volume peut être dans ce cas très important. Ce sont ces flux physiques qui sont ensuite utilisés pour l'estimation des flux transportés d'une part, et que l'on peut rapprocher de l'assiette d'autre part. La **Figure 2** présente à titre d'exemple un diagramme de flux de la filière porcine qui présente à chaque étape les pertes de masse, les importations et les exportations.

Figure 2. Exemple de diagramme de flux, la filière porcine

(en milliers de tonnes)



Source : les auteurs

Passer des produits achetés aux aliments ingérés

Dans les diagrammes de flux, chaque étape considère un taux de pertes. De la même manière en bout de chaîne, pour remonter des aliments ingérés donnés par les enquêtes de consommation alimentaire aux produits acquis par les ménages et aux bilans d'approvisionnement, il est nécessaire de tenir compte des variations de masse dues à la cuisson (perte de masse ou augmentation dans le cas du riz ou du café par exemple), à la transformation (os, épluchures, coquilles), aux pertes à la consommation, etc. Cela impose par ailleurs de remonter aux ingrédients utilisés, ainsi une biscotte sera composée de différentes farines, d'eau, d'huiles, de levure, de sel etc. Pour passer du poids des aliments ingérés au poids des ingrédients, on tient compte ainsi de deux facteurs principaux : la part comestible de l'ingrédient (exclusion des coquilles coquilles, épluchures, noyaux, os) et l'apport ou la perte en eau (cuisson, séchage, concentration). Un taux de pertes est ainsi évalué incluant le gaspillage avant et après la préparation culinaire.

Le calcul de l'empreinte carbone

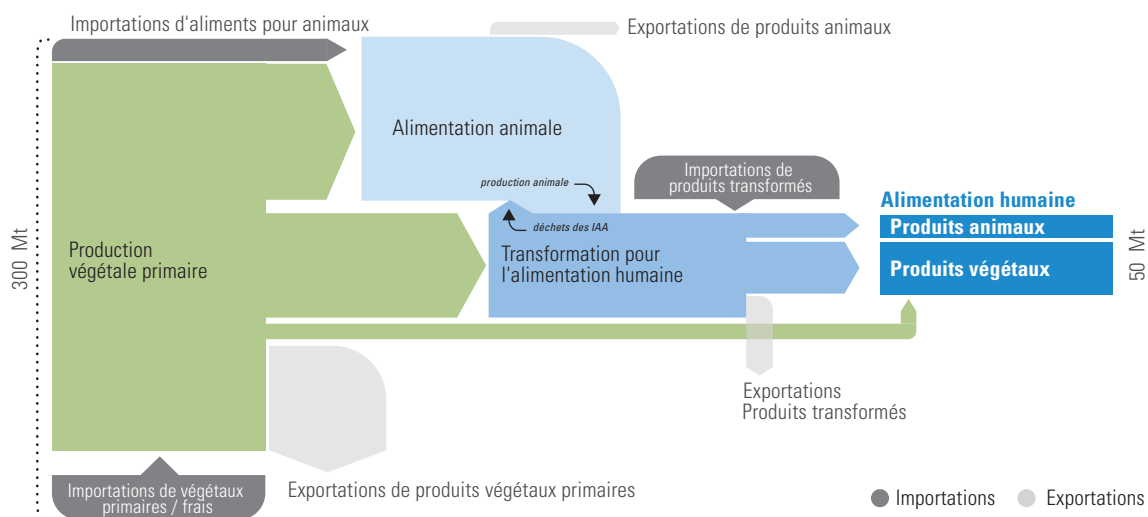
Il s'agit d'évaluer les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre générées par notre alimentation à toutes les étapes « du champ à l'assiette », que ce soit sur le territoire métropolitain ou contenues dans les importations. Les consommations d'énergie et émissions de GES pour la production de produits exportés sont exclues. Nous présentons ici la méthode utilisée et le périmètre considéré.

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'agriculture

Les émissions de GES de l'agriculture sur le territoire français métropolitain sont estimées avec la méthode CLIMAGRI de l'ADEME. L'analyse repose sur l'utilisation de données statistiques réelles, et de coefficients de consommation ou d'émission (par exemple : taux de volatilisation d'ammoniac, kg d'azote épandu, taux d'émission de méthane par animal en fonction de sa ration alimentaire). Le format CLIMAGRI, qui est une comptabilité fonctionnelle, peut se comparer au format de la Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique (CCNUCC), qui est une comptabilité sectorielle : il intègre les postes « agriculture » (catégorie 3), mais également d'autres postes comptés dans les secteurs « énergie » ou « industrie ».

Les émissions directes sont celles émises par les exploitations agricoles : les principaux gaz sont le méthane généré par les fermentations entériques et les déjections d'élevage, et le protoxyde d'azote, essentiellement lié au cycle de l'azote dans l'agrosystème (volatilisation ou lessivage de l'azote des engrais et déjections d'élevage, émissions d'ammoniac par les élevages). Le gaz carbonique provient de la combustion des énergies fossiles (principalement le fioul pour les tracteurs, et le chauffage des serres) et des amendements des sols comme la chaux. Les émissions indirectes sont liées à la fourniture des intrants agricoles, comme la fabrication des engrais azotés et des produits phytosanitaires, à la fabrication des équipements et à la

Figure 3. Importance des flux matières depuis la production végétale jusqu'à l'assiette



Lecture : Cette figure représente de manière très simplifiée les masses de produits végétaux mobilisés pour notre alimentation, la part qui est ingérée par les animaux d'élevage, la part transformée pour notre alimentation végétale et celle consommée directement. De l'ordre de 300 Mt de végétaux sont produites en France ou importées par an (à gauche de ce schéma), dont environ 70 Mt sont exportées (céréales, lait etc), et 110 Mt vont à l'alimentation animale. Au bout de la chaîne, de l'ordre de 50 Mt d'aliments sont ingérés par la population métropolitaine dont 15 Mt de produits animaux et 35 Mt de produits végétaux.

Source : d'après FAO, Agreste, Eurostat, enquête INCA2

construction des bâtiments agricoles et aux émissions du secteur énergétique induites par les consommations finales de l'agriculture (raffineries, etc.).

Par ailleurs, les émissions de méthane sont comptabilisées en utilisant le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) à 100 ans, ce qui sous-estime l'impact à plus court terme.

L'analyse n'intègre pas le poste UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres, forêt), car cela nécessiterait une approche plus globale sur l'utilisation des terres. Cette limite affecte principalement les importations et les exportations, en sous-estimant par exemple l'empreinte carbone de productions agricoles issues de la déforestation.

La prise en compte des importations et des exportations françaises

A ce périmètre défini dans CLIMAGRI, sont ajoutées les émissions des produits alimentaires importés et sont soustraites les émissions des produits exportés en utilisant les diagrammes de flux. Ces échanges internationaux de produits agricoles sont comptabilisés en leur affectant un « contenu carbone » issu des données ACV fournies par Ecolinvent ou Agribalyse, compilées par Simapro. Il faut noter que les données internationales pour procéder à ces ACV sont parfois manquantes. Ces données mériteraient d'être consolidées par d'autres travaux de recherche, permettant également de prendre en compte les changements d'usage des sols le cas échéant.

Les émissions des secteurs non-agricoles

Pour les secteurs autres que la production agricole, nous avons considéré les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ directes, ainsi que les émissions de HFC pour le froid dans le tertiaire, le résidentiel et les transports frigorifiques.

Les résultats que nous présentons peuvent donc être considérés comme des évaluations basses, qui pourraient être revues à la hausse par l'élargissement du périmètre des activités, les consommations d'énergie indirectes dans les secteurs non-agricoles, ou encore l'ensemble des gaz à effet de serre à tous les niveaux. Cette évaluation plus exhaustive ne devrait pas changer néanmoins la hiérarchie des impacts environnementaux présentés.

Les limites de l'appareil statistique

Cet exercice exige de faire appel à de nombreuses enquêtes sectorielles dont les nomenclatures sont insuffisamment harmonisées, et à des bases de données relativement fines devant couvrir l'ensemble des pays. Les données sont rarement disponibles de manière homogène entre produits agricoles et produits transformés, selon le niveau de détail et la zone géographique. Par ailleurs, il n'existe pas d'enquête

publique sur l'ensemble des produits mis sur le marché, qui permettrait de disposer de données fiables pour construire les bilans d'approvisionnement et l'interface avec les aliments ingérés.

Néanmoins, si certaines données peuvent encore être consolidées, nous avons pu construire un ensemble cohérent d'évaluation de l'impact carbone du système alimentaire, traitant de manière relativement détaillée la demande de transports nationaux et internationaux et pertinent pour réaliser des exercices de prospective.

MODÈLES MOBILISÉS ET INTERFACES.

L'outil d'évaluation du bilan carbone est composé de différents modèles combinés entre eux par des interfaces. Certains outils peuvent ainsi être mobilisés ou non selon le périmètre d'évaluation souhaité.

- Le modèle MoSUT, développé par SOLAGRO, fournit une description de l'usage des sols pour l'ensemble du territoire et de la production agricole française évalue l'empreinte environnementale de la « Ferme France ».

- Le modèle AMSTRAM, développé par la FIRE-CNRS, traite les données de la base SITRAM (Ministère des Transports) pour le transport de marchandises et décrit les flux interdépartementaux et internationaux de transport. Le méthodologie employée permet d'évaluer les distances totales des trajets incluant un chargement/déchargement intermédiaire ainsi que le trajet dans le pays d'origine. Ainsi sont considérés pour des tourteaux de soja brésiliens, le trajet routier au Brésil jusqu'au port, le trajet maritime jusqu'à la France, puis le trajet du port français au département de destination (cf **Figure 13**). Des ratios de transport sont évalués en t.km/tonne de produits finis mis sur le marché.

- Le modèle IMMOVE développé par EDF (Integrated Model of Mobility, Vehicles and Energy) fournit une représentation des ménages et de l'ensemble de leurs déplacements, locaux et de longue distance, ainsi que des véhicules qu'ils empruntent. Ici, l'analyse traite les trajets pour les motifs achats alimentaires et cafés/restaurants.

Des matrices de passage ont été établies entre la nomenclature INCA2, la nomenclature des produits agricoles de la FAO, la NAF rev2 pour les produits agroalimentaires et la nomenclature statistique des transports de marchandises (NST). Elles segmentent la demande alimentaire en 43 classes de produits agricoles ou agroalimentaires, regroupées dans ce document en 16 grandes catégories, représentant la demande intérieure annuelle en produits alimentaires.

La consommation alimentaire

CHIFFRES CLÉS

- Un individu en France ingère chaque jour environ 2,4 kg d'aliments, dont la moitié d'aliments solides et la moitié de boissons.
- Parmi les aliments solides, on compte 2/3 de produits d'origine végétale (produits céréaliers, fruits et légumes) et 1/3 de produits d'origine animale (lait, viande principalement) (Figure 4)
- La part des fruits et légumes importés dépasse 40 % pour certains produits tels que les tomates, les concombres, les pêches/nectarines et le raisin de table (hors agrumes et bananes non produits en métropole). Ils constituent un des principaux postes de transport de denrées alimentaires, juste après l'alimentation animale.

Notre alimentation évolue en permanence bien qu'elle soit fortement déterminée par les habitudes culinaires. Une enquête réalisée dans quatre villes moyennes européennes montre que l'alimentation est le domaine pour lequel les ménages sont plus facilement prêts à agir pour réduire leur empreinte carbone, devant l'habitat ou la mobilité (Sköld *et al*, 2018).

La consommation journalière de boissons (1268 g/jour/personne) est dominée par l'eau ingérée dont la moitié est de l'eau en bouteille. L'enquête INCA2 ne permet pas de savoir dans quelle mesure les boissons chaudes ont été faites à partir de liquides embouteillés ou non. Néanmoins, nous pouvons considérer que plus de la moitié des

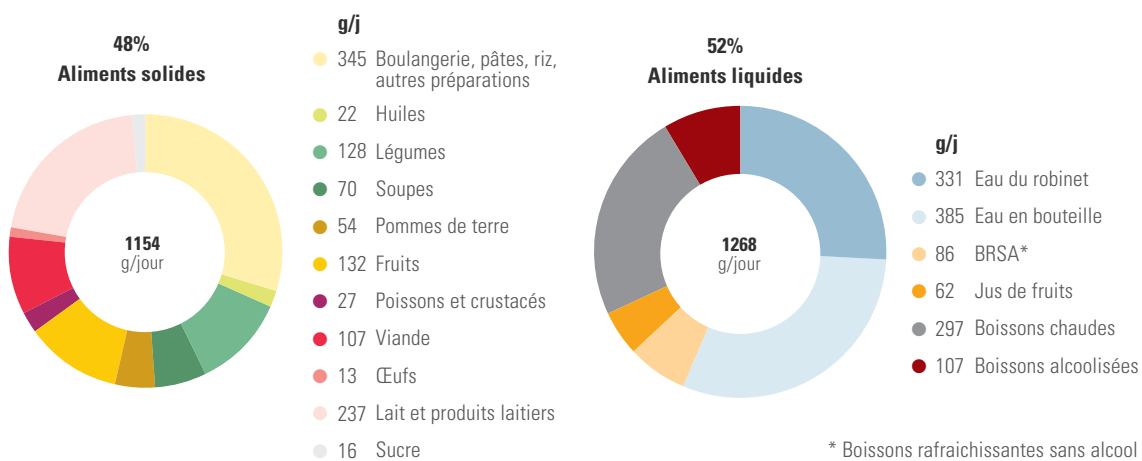
boissons consommées sont embouteillées. Rapportés à la population métropolitaine, 15 millions de tonnes de boissons en bouteille sont ingérées par an (eaux, sodas, vin, bière, etc.). Viennent s'ajouter 2,3 Mt de lait (compris dans les produits laitiers) et 1 Mt de jus de fruits (compris dans les fruits préparés). Ces boissons, même si elles sont produites essentiellement sur le territoire, vont générer des transports importants et inciter à prendre une voiture pour aller faire les courses.

La diversité des régimes alimentaires

Le régime alimentaire est très variable selon les individus et les types de population. Grâce à l'enquête nationale sur les consommations alimentaires (INCA 2) réalisée par l'ANSES, nous pouvons connaître le régime alimentaire selon les caractéristiques sociodémographiques des ménages (âge, sexe, niveau de revenu, niveau d'études, localisation). Cette différenciation est pertinente pour scénariser des futurs alternatifs selon les groupes de population.

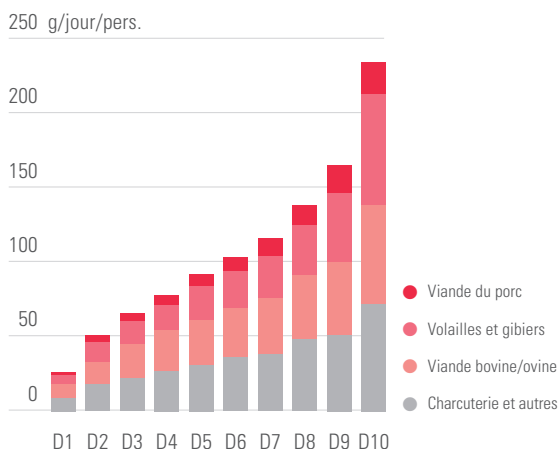
Si nous prenons l'exemple de la consommation de viande, il apparaît une grande dispersion dans la population. Dans la Figure 5, nous avons différencié la population adulte par décile de consommation de viande en quantités ingérées par personne et par jour. La consommation de viande n'est que de 26 g/j pour les 10 % plus petits mangeurs alors qu'elle est de 234 g/j pour les 10 % plus gros mangeurs. Le sexe est un facteur fortement discriminant dans les régimes alimentaires. C'est le cas pour la consommation

Figure 4. Composition de l'assiette des individus en France



Source : INCA2, année 2008.

Figure 5. Hétérogénéité de la consommation de viande



Source : INCA2

de viande, les femmes représentant 86 % du premier décile et 28 % de dernier décile de consommation de viande.

Les personnes modestes, les jeunes et les personnes âgées sont aussi celles qui consomment le moins de viande.

Pour les déciles faibles consommateurs de viande, cette consommation est compensée par des plats composés, des soupes et du poisson.

L'étude INCA3, publiée en 2017, indique par ailleurs que les aliments sont de plus en plus consommés sous forme transformés : les légumes, les céréales, la viande, le poisson. La consommation de sandwiches, pizzas, et autres pâtisseries salées est également en augmentation par rapport

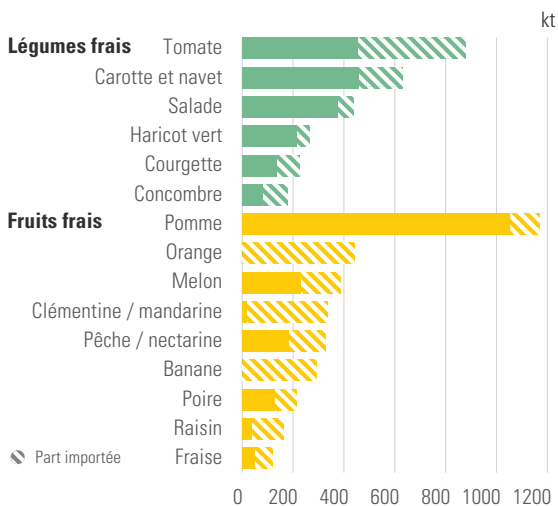
à l'enquête INCA2. Par contre, la consommation de légumineuses est stable, elle reste marginale à moins de 10g par jour.

Des produits lointains hors saison

Les fruits et légumes et les poissons et crustacés sont les produits dont la part importée est la plus élevée, qu'ils soient frais, congelés ou transformés. Si nous retenons les légumes et fruits les plus consommés selon l'enquête INCA2 (Figure 6), la part importée des volumes commercialisés (tous usages) peut atteindre 40 à 50 % pour les légumes (tomates, concombres, courgettes). Les pommes sont essentiellement produites en France, mais c'est loin d'être le cas pour les autres fruits. Les agrumes et les bananes ne sont bien entendu pas produits en métropole. Pour les cinq autres fruits les plus consommés, les importations représentent entre 39 % (poire) et 74 % (raisin) des volumes commercialisés en France. La Figure 6 détaille les volumes de légumes frais (tous usages) importés par mois. Les importations viennent en complément de la production métropolitaine de pleine saison, avec des produits venus d'Espagne en mai/juin, et auparavant du Maroc ou d'autres pays en hiver. Elles assurent donc une consommation de légumes hors de la saison de production en France. Le même phénomène intervient pour les fruits. Près de la moitié des importations de fruits proviennent d'Espagne, des Canaries, des Baléares et d'Italie ; le reste vient de zones très diverses, souvent lointaines (Afrique, Amérique latine). Le pic d'importations se situe en décembre avec l'importation de 300 kt de fruits frais.

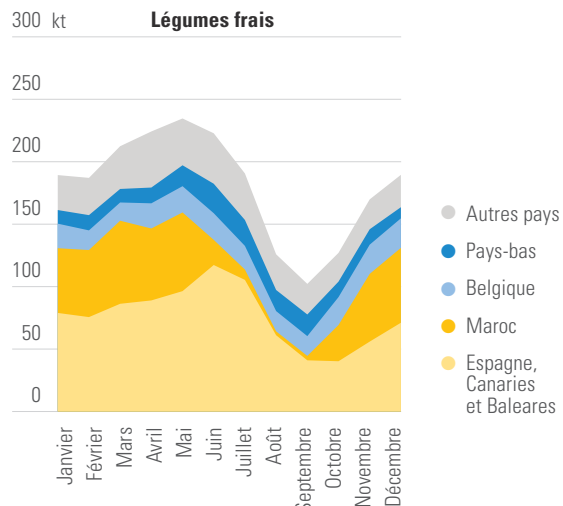
Figure 6. Importation de fruits et légumes frais et saisonnalité

Volumes commercialisés des produits les plus consommés



Source : CTIFL, INCA2

Volumes d'importations par mois et pays d'origine



Source : CTIFL, année 2015

Production agricole et transformation destinée à la consommation intérieure

CHIFFRES CLÉS

- La surface nécessaire à l'alimentation de la population française (26 Mha), est très légèrement inférieure à sa surface agricole (28 Mha).
- La consommation de viande et de lait mobilise plus de 80 % de la surface agricole.
- La moitié de la consommation d'énergie de l'agriculture est de l'énergie indirecte (liée aux intrants et aux équipements).
- Le contenu carbone des produits agricoles exportés excède le contenu carbone des produits importés, ce solde positif est de 9 MteqCO₂ soit environ 8 % des émissions de GES de l'agriculture française.
- A l'exception des fruits, légumes et produits de la mer frais, l'essentiel des produits que nous consommons a subi une ou plusieurs étapes de transformation. La consommation d'énergie liée à la transformation des produits est du même ordre de grandeur (4,9 Mtep) que la consommation d'énergie de l'étape agricole. Par contre, les émissions de CO₂ (9,1 MtCO₂) sont 10 fois plus faibles du fait notamment de l'importance des émissions de CH₄ et N₂O de l'agriculture.

Le territoire métropolitain de près de 55 millions d'hectares est occupé à 51 % par des surfaces agricoles, 30 % par des forêts, 10 % par des friches, landes et autres, et 9 % par les sols artificialisés. La surface agricole utile (SAU) en France métropolitaine est de 28 millions d'hectares, elle

a reculé de 6 Mha depuis les années 60 du fait principalement de la progression de l'artificialisation des sols et des surfaces forestières.

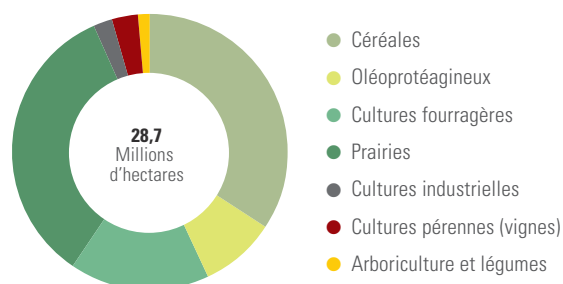
La surface agricole est fortement mobilisée pour l'élevage

Une grande partie des surfaces agricoles sur le territoire français est destinée à l'élevage. Les prairies et les cultures fourragères représentent la moitié de la surface agricole à laquelle s'ajoutent les surfaces céréalières pour l'alimentation animale. Si nous considérons maintenant l'empreinte de notre alimentation en terme de surfaces agricoles, surfaces sur le territoire français hors exportations et surfaces utilisées pour les produits importés, La consommation de viande et de lait mobilise plus de 80 % de la surface agricole utile nécessaire à la totalité de notre alimentation (Figure 7). Elle mobilise bien entendu la totalité des prairies et des cultures fourragères, mais également la majorité de la surface dédiée aux céréales (orge, maïs grain, avoine, blé, etc.), des co-produits et sous-produits des filières oléagineuses (tourteaux) et de certaines filières industrielles (son de céréales, pulpe de betterave), auxquels s'ajoute notamment la production de tourteaux de soja importés. Ce chiffre peut être mis en relation avec notre régime alimentaire qui n'est, lui, composé que pour un tiers de produits animaux (en quantités ingérées voir Figure 4).

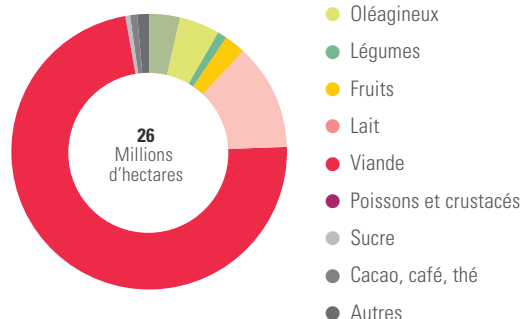
Logiquement, l'empreinte GES des produits d'origine animale reflète cette situation. Avec les émissions de méthane dues aux fermentations entériques, aux déjections d'élevage

Figure 7. Affectation de la surface agricole utile

Surface par type de production sur le territoire métropolitain



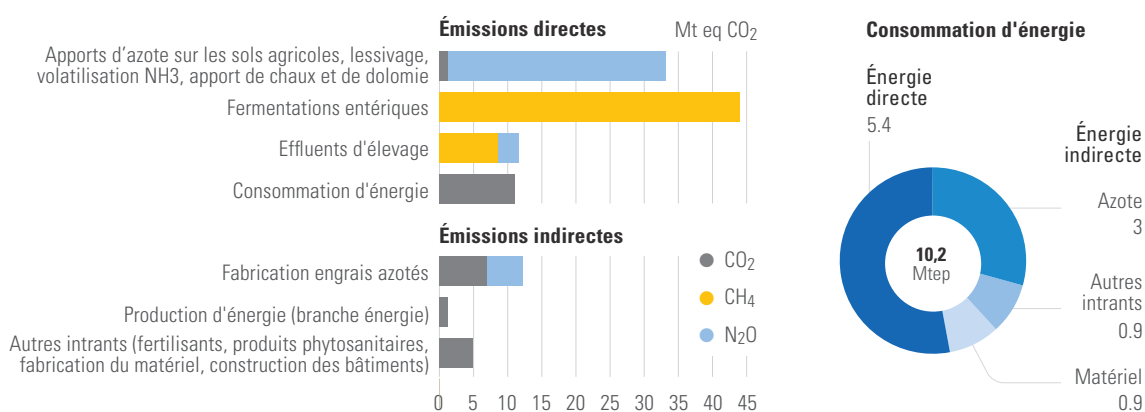
Surface nécessaire à l'alimentation de la population métropolitaine



Source : Agreste

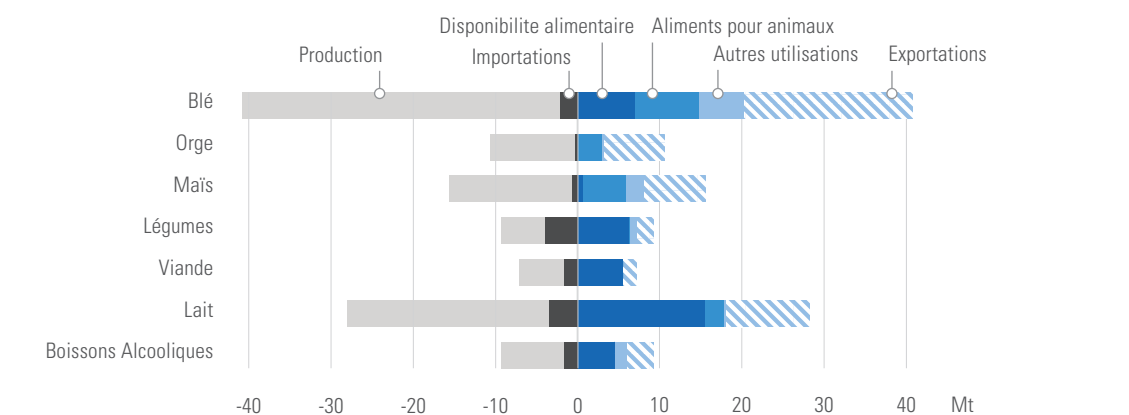
Source : les auteurs. Les surfaces sont évaluées à partir des rendements des systèmes de production à l'hectare.

Figure 8. Émissions territoriales de GES et consommation d'énergie de l'agriculture (moyenne 2008-2013)



Source : CLIMAGRI

Figure 9. Balance emplois-ressources d'une sélection de produits agricoles



Source : d'après FAO

et en comptant les émissions de protoxyde d'azote liées aux cultures destinées aux animaux, la viande et les produits laitiers totalisent 85 % de l'empreinte GES de notre alimentation au stade agricole.

Le méthane et le protoxyde d'azote dominant les émissions du secteur agricole

L'agriculture sur le territoire français émet 118 Mt_{eq}CO₂, dont 84 % d'émissions directes (Figure 8). Le méthane, issu essentiellement de l'élevage (fermentations entériques et effluents), compte pour 44 % du total et le protoxyde d'azote (engrais azotés) pour 34 %. Les consommations d'énergie directes des exploitations et indirectes, dues aux intrants, induisent des émissions de 25 MtCO₂, soit 21 % du total du secteur. Ces émissions totales sont en légère diminution : les émissions directes ont été réduites de 5 % entre 1990 et 2015, en corrélation avec une diminution du cheptel bovin et de la consommation d'engrais azotés.

Les échanges extérieurs de produits agricoles

Pour calculer l'empreinte de l'alimentation des français, il est nécessaire d'ajouter le contenu en émissions de GES des denrées agricoles importées, et symétriquement de déduire celui des denrées exportées par la France. Pour cela on utilise les bilans d'approvisionnement, qui détaillent le bilan ressources – emplois de chaque production agricole (Figure 9). Les ressources sont constituées de la production nationale et des importations, les emplois sont l'alimentation humaine directement, l'alimentation animale, d'autres utilisations telles que les semences et les exportations.

La France est exportatrice nette en tonnes de produits agricoles : elle exporte la moitié des céréales produites et un tiers du lait (Tableau 1). Inversement elle importe en quantité des fruits, des légumes, du poisson, des tourteaux de soja mais aussi de la viande. Les échanges avec l'extérieur génèrent un solde positif d'émissions de GES au stade de la production agricole pour la France, c'est-à-dire que le

Tableau 1. Solde import/export et GES

Principaux postes	Solde exp./imp., kt	Solde GES, kt eqCO ₂
Céréales	27 100	9 710
Lait	7 086	7 370
Plantes oléifères	1 050	968
Viande de volailles	202	509
Viande de suides	90	318
Légumineuses	-132	298
Boissons alcooliques	1 380	221
Graisses animales	477	198
Pommes de terre	1 590	113
Sucre	1 950	72
Œufs	- 22	-38
Stimulants	- 670	- 109
Huiles	- 317	- 226
Viande de bovins	- 46	- 714
Fruits	- 5 540	- 904
Légumes	- 1 800	- 994
Poisson & fruits de mer	- 1 670	- 2 290
Tourteaux et son	- 3 340	- 2 530
Viande d'ovins/caprins	- 98	- 2 720
TOTAL		9 252

Source : Eurostat, Solagro

contenu carbone des produits exportés excède le contenu carbone des produits importés. Le solde exportateur est de 9,3 MteqCO₂. Les émissions de gaz à effet de serre au stade agricole liées à la demande alimentaire intérieure française seraient ainsi de 109 MteqCO₂ (les émissions nationales du secteur agricole 118 MteqCO₂ moins le solde exportateur).

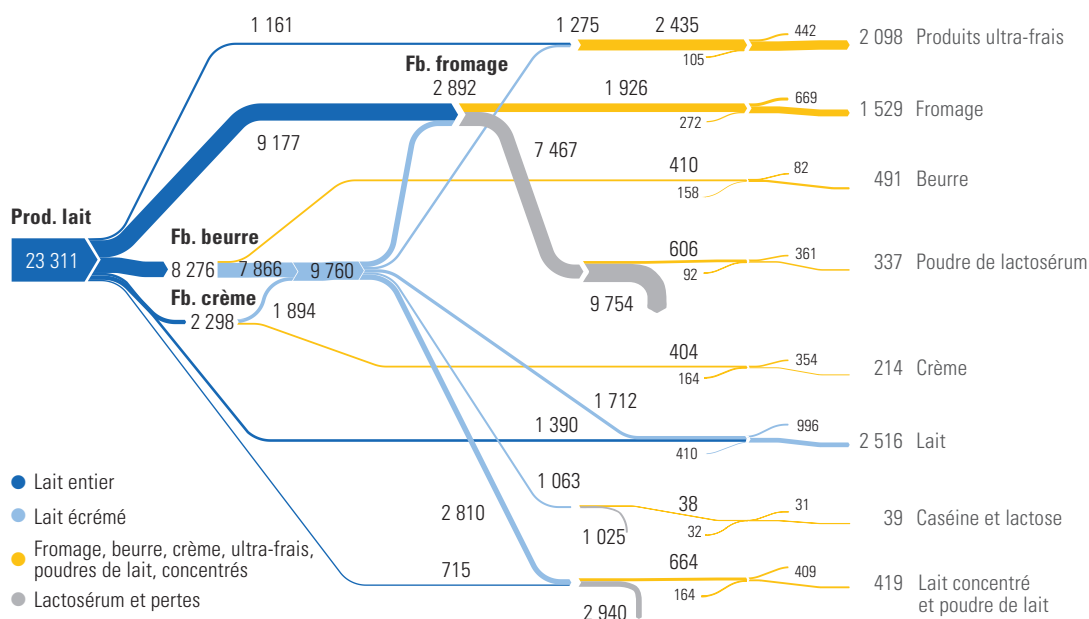
La consommation d'énergie est partagée entre la consommation de carburants et la production d'intrants

CLIMAGRI permet également d'estimer la consommation d'énergie de l'agriculture métropolitaine : sur 119 TWh de consommation d'énergie finale, 53 % est liée aux consommations directes, principalement de carburants, et 47 % aux consommations indirectes, principalement la production d'engrais azotés. Les consommations indirectes ne distinguent pas le territoire métropolitain et les importations : plus de la moitié des engrais azotés sont aujourd'hui importés. Lorsque l'on raisonne en empreinte, la consommation d'énergie de l'agriculture liée à la demande intérieure est estimée à 10,2 Mtep (Figure 8).

L'essentiel de la consommation alimentaire provient des industries de transformation

Les produits agricoles bruts consommés par les ménages sont principalement les fruits et légumes frais et les produits de la pêche frais. Par conséquent l'essentiel des produits que nous consommons ont subi une ou plusieurs phases de transformation. Sur la période 2012-2014, la production de produits alimentaires par les industries agroalimentaires sur le territoire français a été de 124 Mt en moyenne annuelle. Notons que ce chiffre ne correspond pas uniquement à une production de produits finis puisque certaines de ces

Figure 10. Bilan d'approvisionnement du lait et des produits laitiers



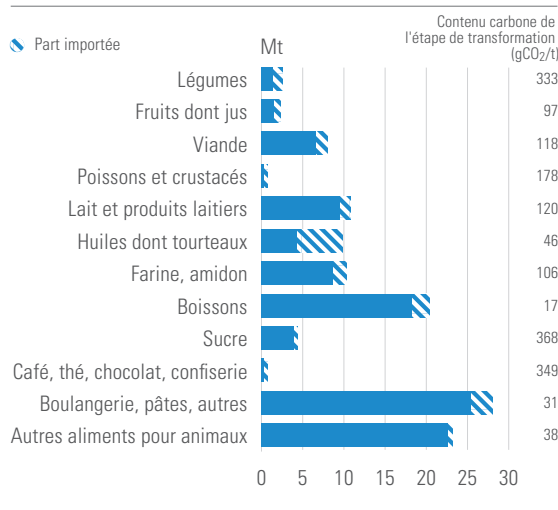
L'essentiel de la production de lait est dirigé vers des laiteries ou fromageries qui vont transformer le lait entier en différents produits (les produits ultra-frais tels que les yaourts, le fromage, la crème ou le beurre) ou générer du lait écrémé pour la consommation finale. La fabrication de fromage conduit à la production d'un co-produit, le lactosérum, qui peut à son tour être consommé par les animaux, ou plus généralement être transformé en poudre de lactosérum. D'autres co-produits sont également produits sur différents stades de la chaîne : caséine, poudre de lait et concentrés. Pour chaque stade, les niveaux d'importation et d'exportation sont évalués.

Source : les auteurs

productions sont utilisées en consommations intermédiaires par les industries de 2ème transformation. Les flux de matières sont complexes au sein de ce secteur et ne peuvent être visualisés qu'au travers de diagrammes de flux qui retracent les différents niveaux de transformation, les co-produits, les importations et exportations, etc, ainsi que nous l'avons présenté en page 5. Avec la filière céréalière, la filière du lait est une des plus complexes (Figure 10).

La Figure 11 présente la demande de produits transformés destinés à la consommation intérieure dont la part importée. Les produits principalement issus des céréales (boulangerie, pâtes, autres préparations alimentaires) dont les produits de première transformation (farine et amidon) est la catégorie la plus importante en tonnage transformé. Viennent ensuite les aliments pour animaux de ferme ou de compagnie dont les déchets des industries agroalimentaires elles-mêmes et tourteaux d'oléoprotéagineux. Les boissons constituent le troisième secteur le plus important.

Figure 11. Demande intérieure de produits transformés



Source : Eurostat, moyenne 2012-2014

Les échanges extérieurs sont relativement équilibrés puisque 22 Mt de produits agroalimentaires transformés ont été importés en moyenne annuelle sur 2012-2014 et près de 25 Mt ont été exportés.

Les produits transformés dont les importations sont importantes sont les tourteaux d'oléoprotéagineux (4,5 Mt) et les huiles raffinées (0,78 Mt), la viande de boucherie (1,25 Mt), les pommes de terre, les légumes et les fruits transformés, les boissons, les produits amylacés et produits de meunerie.

Les consommations directes d'énergie des IAA sont proches de celles de l'agriculture

Les échanges extérieurs de produits transformés étant équilibrés, les consommations d'énergie territoriales (4,82 Mtep) et l'empreinte énergétique (4,86 Mtep) sont proches. (Figure 12). L'ordre de grandeur est similaire à celui des consommations d'énergie directes du secteur agricole (5,4 Mtep). L'empreinte énergétique total du stade agricole est, elle, de 8,4 Mtep (voir Figure 25).

De la même manière, l'empreinte carbone des produits transformés (hors transport) quelque soient leurs utilisations finales est proche des émissions nationales des industries agroalimentaires, soit 9,1 MtCO₂. La fabrication de sucre, celles de produits laitiers et de produits amylacés sont à l'origine des consommations d'énergie et émissions de CO₂ les plus importantes.

Les produits qui ont des facteurs de consommation d'énergie et d'émissions les plus élevés à la tonne produite par ordre décroissant sont les pommes de terre transformées (1305 gCO₂/t), les boissons alcooliques distillées (655 gCO₂/t), les plats préparés (396 gCO₂/t), le sucre, la fabrication de cacao, chocolat, produits de la confiserie, thé et café, le beurre et le fromage (Figure 12).

Figure 12. Empreinte énergétique et carbone de l'étape de transformation des produits consommés en France



Source : Ministère de l'Industrie

La demande de transport de marchandises liée à l'alimentation

LES CHIFFRES CLÉS

- L'alimentation des ménages en France générerait un trafic de 201 milliards de t.km par an. Si la majorité est du transport maritime (57 %), les émissions à la tonne de ce mode de transport étant plus faibles que celles du transport routier, c'est bien le transport routier qui est à l'origine de l'essentiel des émissions du transport de produits alimentaires (18,4 MtCO₂, soit 83 %).
- Les aliments produits en France représentent 23% du trafic seulement mais 47% des émissions.
- L'avion représente une très faible part de la demande de transport (0,5 %), mais son impact en terme d'émissions de CO₂ est significatif (1,1 MtCO₂, soit 5 %).
- Le transport des aliments pour animaux pèse pour 1/3 du trafic total (en majorité des tourteaux) et 19 % des émissions de CO₂. Les fruits et légumes représentent 1/4 du trafic total, et 31 % des émissions, première catégorie donc en terme d'émissions liées au transport.

L'évaluation des flux de transports de marchandises liée à l'alimentation des ménages est un apport important du projet CECAM. Le modèle Amstram a été utilisé (voir encadré sur les modèles page 7), puis les données extraites ont été retraitées selon les catégories de produits choisies pour le projet et complétées par l'évaluation des distances des trajets à l'étranger et dans le pays d'origine, ainsi que l'évaluation des consommations d'énergie et émissions de CO₂ de l'ensemble des flux (Figure 13).

Figure 13. Transport - Reconstruction des trajets



Ordre 1 et 2

Un trajet d'ordre 1 provient de l'enquête Sitram. Il a pour point départ un département français ou un pays étranger et pour destination un département français.

Un trajet d'ordre 2 est le résultat du modèle Amstram, il est effectué en amont de celui d'ordre 1. Les trajets domestiques ou internationaux de produits exportés sont exclus.

Trajets internationaux

L'enquête SITRAM fournit l'origine et le mode des transport, mais pas la distance des trajets internationaux. Les routes maritimes sont reconstruites entre les principaux ports de 227 pays par la base CERDI-Distance.

Trajet initial

Si le premier trajet est effectué à l'étranger en mode maritime, aérien, fer ou fluvial, on ajoute la distance d'un trajet routier port-capital si elle est disponible (avec un min. de 200 km)

Les flux de transports domestiques et internationaux présentés sont relatifs aux produits alimentaires consommés par les ménages pour une année basée sur la moyenne des années 2012 et 2013. Les flux relatifs aux produits exportés sont donc exclus, ainsi que les trajets domestiques de produits destinés à l'exportation.

Les importations sont à l'origine de la majorité du trafic et des émissions de GES

Selon nos estimations, l'alimentation des ménages en France métropolitaine aurait généré 201 Gt.km de transports de produits alimentaires, (Figure 14) dont 115 Gt.km par voie maritime et 83 Gt.km par la route (Figure 15). Sur l'ensemble de ce trafic, 23 % proviendraient de produits

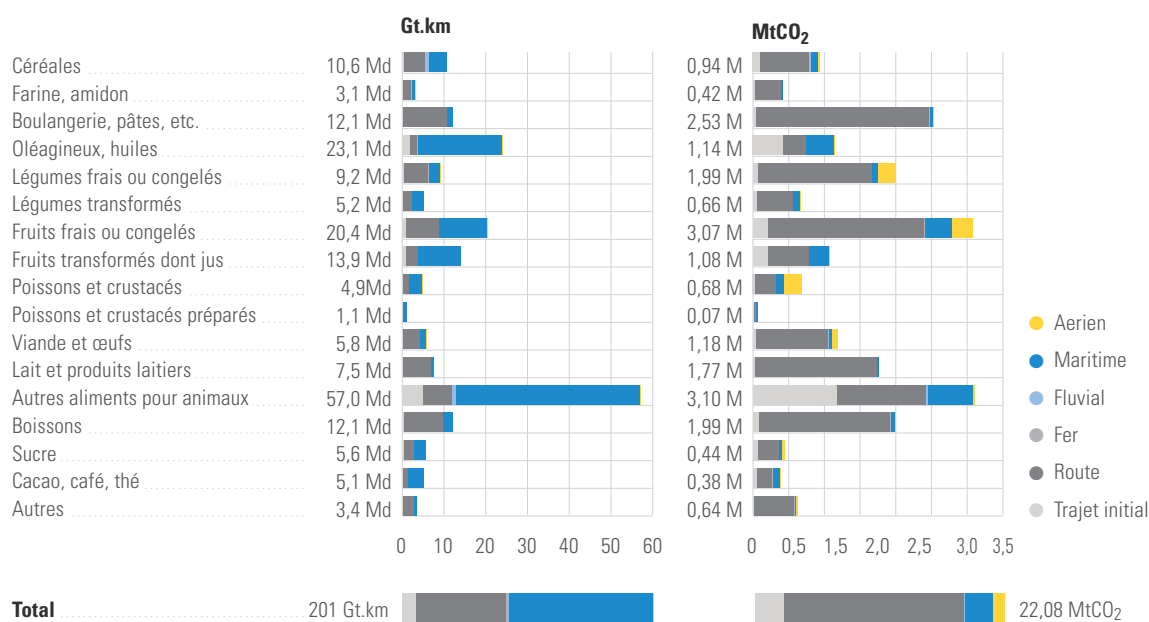
Figure 14. Trafic total par catégorie de produits



Source : les auteurs

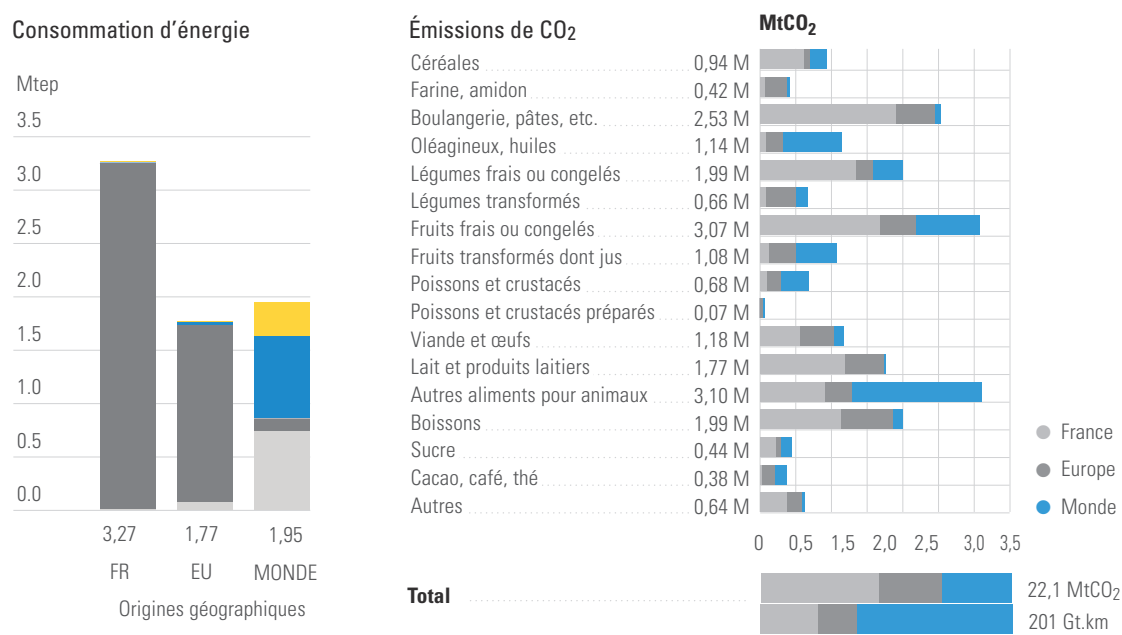
* Environ 1/3 des céréales et 2/3 des oléagineux sont destinés à l'alimentation animale.

Figure 15. Transports de produits alimentaires par mode



Source : les auteurs

Figure 16. Transports de produits alimentaires par origine



Source : les auteurs

d'origine domestique, 15 % d'origine européenne et 62 % du reste du monde (Figure 16). A titre de comparaison, le trafic intérieur, toutes marchandises confondues, était de 282 Gt.km en France en 2013, hors transit (source SOeS, Les comptes des transports en 2014).

Les tourteaux génèrent à eux seuls 49 Gt.km dont 86 % par voie maritime. Ils sont à l'origine d'une partie importante

du transport maritime (36 %), avec les fruits, les oléagineux et les huiles. Les produits alimentaires transformés (hors aliments pour animaux) pèsent également fortement, ils représentent près de la moitié de la demande de transport (95 Gt.km, soit 47 %).

Les aliments pour animaux (autres que céréales : tourteaux, résidus de meunerie et industriels) représentent 27 %

du trafic de marchandises. De l'ordre d'un tiers des céréales et des deux tiers des oléagineux étant dédiés à l'alimentation animale, le transport total d'aliments pour animaux pèse pour un tiers du trafic total et 19 % des émissions du transport (4,2 MtCO₂). Viennent en seconde position les fruits et légumes avec 24 % du trafic (près de 49 Gt.km, montant équivalent aux tourteaux seuls). Le transport routier étant important pour les fruits et légumes, ceux-ci représentent 31 % des émissions du transport. Les boissons et les produits transformés à base de céréales (boulangerie, biscuiterie, pâtes etc) génèrent également un trafic important de 12 Gt. km pour chacune de ces deux catégories.

Le transport de préparations alimentaires diverses et produits à base de céréales (boulangerie, pâtisserie, pâtes alimentaires etc.) est de 12 Gt.km. La route représente 85 % du trafic. Viennent ensuite le sucre, le café, le cacao, le thé, avec un trafic de 10,6 Gt.km, dont 6,6 Gt.km en mode maritime.

Le lait et des produits laitiers génèrent un trafic de 7,5 Gt.km. Il est sans surprise essentiellement routier, les deux tiers des trafics ont pour origine la France et près d'un tiers l'Europe. Le trafic de poissons et crustacés frais ou transformés, produits très largement importés, est proche de celui de la viande fraîche ou transformée, avec respectivement 5,9 Gt.km et 5,8 Gt.km. Alors que les produits de la pêche parcourent de longues distances par voie maritime mais aussi parfois par avion (voir page 17), le trafic de viande se partage en trois selon l'origine : France, Europe et Monde.

Les produits laitiers génèrent une demande de transport plus élevée que la viande

Une part importante de la viande consommée en France est importée (20 % pour la viande bovine et 30 à 40 % pour le porc et la volaille). Le commerce international de viande de porc et de volaille est ainsi relativement important. La majorité des importations de viande de porc de la France proviennent d'Espagne (source FranceAgriMer), le reste de pays au nord de la France (Allemagne, Belgique, Danemark, Pays-Bas). Les provenances peuvent être plus lointaines pour la viande bovine et ovine, notamment d'Amérique du Sud et de Nouvelle-Zélande, ou encore du Brésil et de Thaïlande pour la volaille. Ces trajets européens et intercontinentaux représentent chacun un tiers du trafic total (1,6 Gt.km) pour la viande (charcuterie comprise), mais respectivement 40 % et 15 % des émissions de CO₂ de cette catégorie, les trajets intercontinentaux étant essentiellement réalisés par voie maritime. Le trafic par avion à l'inverse est à l'origine de 8 % des émissions liées au transport de viande.

Nous ingérons en quantité journalière deux fois plus de lait et produits laitiers (237g/jour) que de viande et d'œufs (respectivement 107g/jour et 13g/jour). Les émissions totales liées au transport de lait et des produits laitiers

(1,8 MtCO₂) sont ainsi plus élevées que celle de la viande et des œufs (1,2 MtCO₂), bien qu'ils parcourent en moyenne des distances plus courtes que la viande.

Les fruits et légumes : préférences et saisonnalité

Selon l'enquête INCA 2, les Français consomment 132 g/jour de fruits, 119 g/jour de légumes et 54 g/jour de pommes de terre (aliments ingérés). Les fruits et légumes frais ou congelés génèrent près des deux tiers du trafic et les fruits et légumes transformés un tiers. Les fruits pèsent pour les deux tiers du trafic total des fruits et légumes, parcourant souvent des distances importantes (agrumes, bananes et autres fruits hors saison). La voie maritime est dominante dans le transport de fruits frais, congelés ou transformés, alors que le trafic routier est majoritaire pour les légumes, en provenance plus souvent de France ou d'Europe.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, les volumes commercialisés de légumes proviennent essentiellement de France, d'Europe et du Maroc. La tomate est le légume frais le plus consommé : en 2015, 0,9 Mt de tomates fraîches étaient mises sur le marché, dont 48 % étaient importées. Comme pour de nombreux fruits et légumes, les importations de tomates fraîches satisfont majoritairement la demande hors saison. La production nationale de tomates transformées a, elle, fortement baissé dans les années 2000, le déficit commercial en 2013 était de plus d'1 Mt en équivalent frais.

Les fruits importés sont d'abord les bananes et les agrumes dont les volumes commercialisés totaux sont du même ordre de grandeur que les pommes. Viennent ensuite les melons (Espagne), les fraises (Espagne), les poires (Europe et Afrique du Sud), le raisin (Italie). En conséquence, la demande de transport des fruits est plus élevée (34 Mdtkm) que celle des légumes (14 Mdtkm) et représente 16 % de la demande totale de transport des produits alimentaires. Les bananes seules génèrent un trafic de 4,9 Mdtkm. Le transport est dès lors le premier poste d'émissions de GES dans l'empreinte carbone des fruits, alors que pour les légumes la production agricole reste nettement devant le transport.

Nous avons représenté dans la **Figure 17** les transports induits par les importations françaises de fruits et légumes en provenant d'Europe (en Mdtkm). L'Espagne est sans surprise le premier pays d'origine des importations. Le trafic de fruits et légumes frais en provenance d'Espagne domine celui des produits transformés. Les parts de fruits et légumes frais et transformés sont équilibrées pour l'Italie, mais pour les autres pays européens, ce sont les produits transformés qui dominent la demande de transport. Près de la moitié du trafic en provenance de Belgique, des Pays-Bas et des pays du nord-est de l'Europe concernent des légumes transformés. Le trafic en provenance du Sud-Est et de l'Est de

l'Europe selon les zones que nous avons définies concerne principalement des fruits transformés.

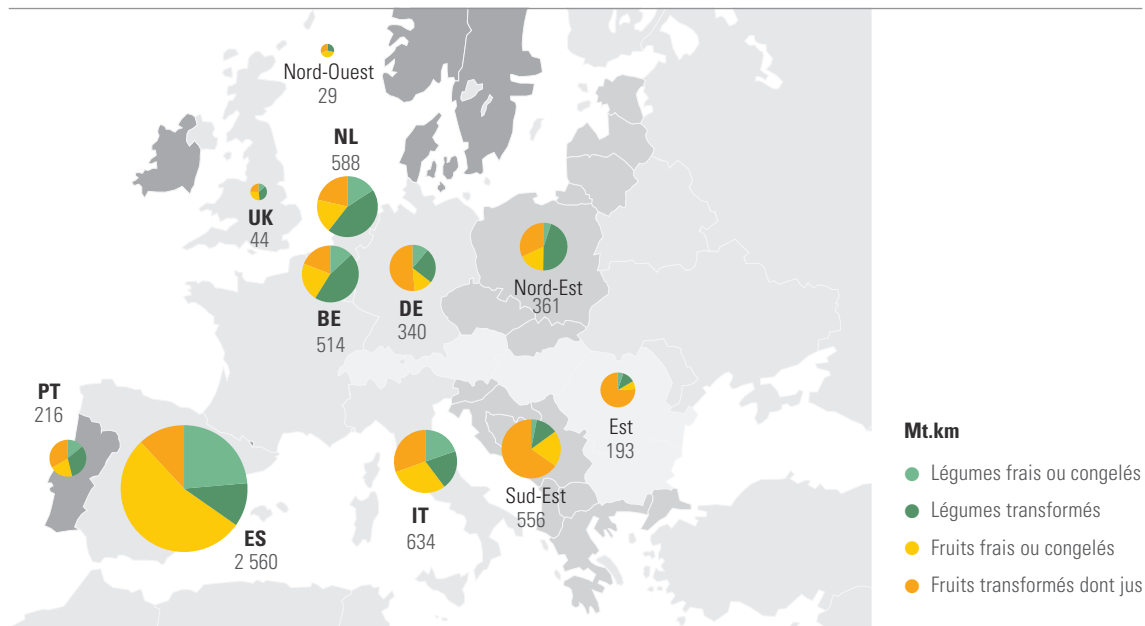
Quels sont les produits transportés par avion ?

Le trafic aérien des produits alimentaires est de 742 Mt.km, soit 5 % du total, auxquels il faut ajouter 83 Mtkm pour les trajets routiers soit un total de 850 Mt.km. Nous évaluons à

82 Mt.km les trajets routiers dans les pays d'origine jusqu'au lieu d'embarquement par avion (Figure 18).

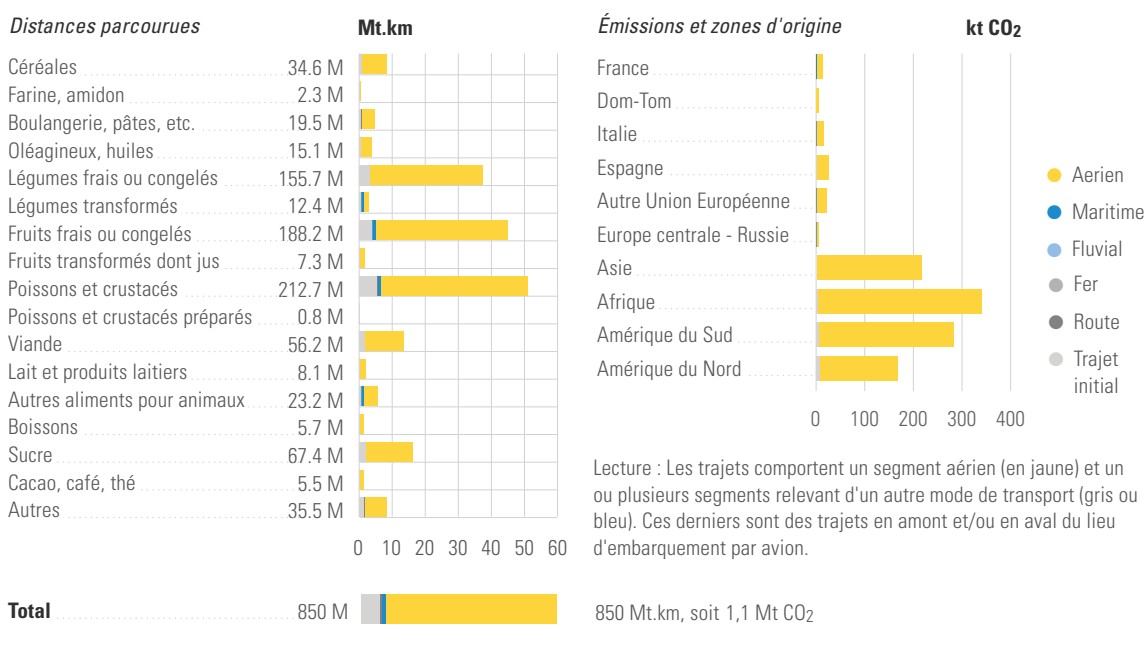
Les fruits et légumes génèrent un trafic 364 Mtkm, dont 323 Mtkm pour la partie aérienne (soit 44 % du trafic par avion des produits alimentaires), les poissons et crustacés 213 Mt.km, dont 185 Mtkm pour la partie aérienne (25 % du trafic). Ces produits sont acheminés sur des distances intercontinentales, l'Afrique génère le trafic aérien le plus important.

Figure 17. Distribution des importations européennes de fruits et légumes



Source : les auteurs

Figure 18. Transport aérien de produits alimentaires



Source : les auteurs

Déplacements des ménages pour leurs achats et la restauration

CHIFFRES CLÉS

- 1360 km/personne/an sont parcourus pour les achats alimentaires et la restauration hors domicile, induisant l'émission de 8,5 MtCO₂ par les ménages.
- De l'ordre d'un repas sur sept est pris hors domicile, soit 19 % des 1360 km parcourus.

Nous nous intéressons ici à la mobilité associée à la fonction alimentation représentée par les trajets effectués par les ménages pour le motif *achats alimentaires* et le motif *restauration hors domicile café/restaurant*. Les trajets effectués par les ménages ont été évalués avec le modèle IMMOVE développé par EDF et principalement basé sur des données issues de l'enquête Transports et Déplacements 2008 de l'INSEE (voir encadré).

Ces trajets sont de 68 milliards de passagers-kilomètre par an soit 8 % de la mobilité totale et 1360 km/personne/an réalisés essentiellement en voiture. Les déplacements pour achats alimentaires représentent 65 % de la totalité des déplacements pour achats. Si on considère cette mobilité par décile de niveau de vie, les distances parcourues augmentent de 45 % entre les 10 % de ménages les plus modestes et les 10 % les plus riches. Cela s'explique

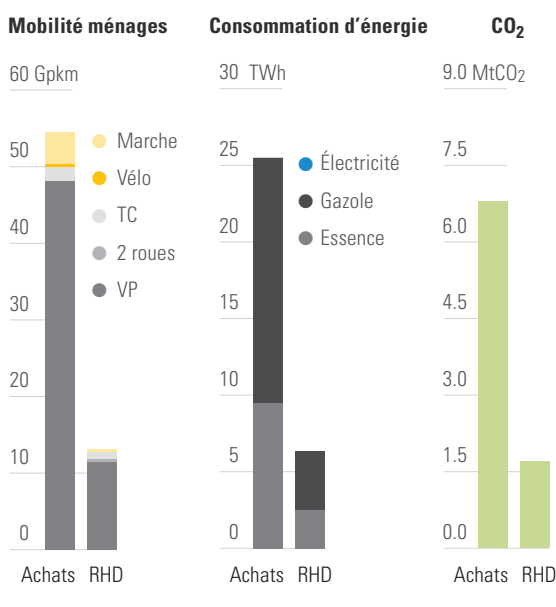
notamment par des déplacements pour la restauration hors domicile qui augmentent avec le revenu. Notons cependant que ce sont les classes moyennes qui ont des déplacements plus importants, la part des ménages vivant en zone rurale et en banlieue étant plus importante pour ces catégories.

Au total la mobilité pour les motifs *achats alimentaires* et *restauration hors domicile* représente une consommation d'énergie de 31,3 TWh dont plus de 99 % de carburants d'origine fossile, pour un volume total d'émissions de CO₂ de 8,5 MtCO₂. Les émissions de gaz à effet de serre générées par la restauration hors domicile sont de 1,7 MtCO₂, soit 20 % du total (Figure 19). Cette part est de 10 % pour les ménages du premier décile et de 25 % pour ceux du décile 10.

MODÉLISATION DES DÉPLACEMENTS

Le modèle IMMOVE décrit finement la mobilité comme une somme de trajets différenciés par motif et par gamme de distance. Les modes empruntés pour satisfaire la mobilité, les parcs de véhicules particuliers possédés par les ménages, les types de véhicules, ainsi que le type de voiries empruntées sont ensuite décrits de façon à reconstituer les consommations d'énergie associées à chacun de ces besoins de mobilité. Dans l'enquête ENTD 2008, les seuls motifs d'achat renseignés sont les achats de proximité et les achats en hypermarché. Pour opérer une différenciation sur le seul motif alimentaire, nous nous basons sur une enquête interne réalisée conjointement entre EDF et l'EPFL (Laboratoire de Sociologie Urbaine) en 2013 par TNS-SOFRES dans le cadre d'un travail sur l'impact énergétique des modes de vie. Cette enquête interroge ainsi les individus sur la fréquence et la distance de leurs déplacements quotidiens de mobilité pour les motifs « courses alimentaires » et le motif « achats, shopping (vêtements, équipements, livres, musique) » dans leur quartier et en dehors de leur quartier. Nous sommes alors en mesure de recalculer la distance parcourue par mode pour l'ensemble des motifs « achats » et de la comparer à la mobilité de l'ensemble des motifs « achats » de l'ENTD regroupant les motifs « achats de proximité » et « achats en hypermarché ». Le modèle permet enfin d'évaluer les consommations d'énergie associées à ce besoin de mobilité à partir des parts modales, des flottes de véhicules et des voiries empruntées.

Figure 19. Transport des ménages pour leurs achats et restauration hors domicile



Distribution de produits alimentaires et préparation des repas au domicile et en restauration hors domicile

CHIFFRES CLÉS

- Les émissions du résidentiel-tertiaire relatives à l'alimentation sont de 11 MtCO₂, elles proviennent pour moitié du tertiaire et pour moitié du domicile des ménages.
- La consommation d'énergie des petits établissements dédiés à l'alimentation (restaurants, petits commerces, cafés, traiteurs) est similaire à celle de la grande distribution et du commerce de gros, de l'ordre de 20 TWh chacun. Cependant les émissions des petits établissements sont plus élevées en raison de l'importance de la fonction cuisson et de l'usage du gaz.
- La restauration collective dans les établissements d'enseignement, les hôpitaux et les maisons de retraite, pèse pour 13 % des émissions du tertiaire.
- Un repas hors domicile émettrait près de deux fois plus d'émissions qu'un repas au domicile.

Le résidentiel et le tertiaire représentent 9 % du bilan carbone total et 25 % de la demande d'énergie (hors transport des ménages), chaque secteur pesant pour moitié environ. L'objectif est ici d'isoler les consommations d'énergie des secteurs résidentiel et tertiaire associés à l'alimentation. Le périmètre d'évaluation des consommations d'énergie est présenté dans les tableaux 2 et 3.

De multiples établissements tertiaires concernés

Nous considérons les consommations d'énergie pour la fonction alimentation dans les bâtiments du secteur tertiaire comprenant la restauration hors domicile, la grande distribution, les épiceries et les petits commerces alimentaires.

Il convient de distinguer d'une part les établissements dont l'activité ne relève pas de la production de biens et services destinés à la fonction alimentation mais qui fournissent des repas à leurs employés ou aux résidents de ces établissements et d'autre part les établissements dont l'activité est en partie ou en totalité tournée vers la production de biens ou services destinés à la fonction alimentation comme les restaurants, les boulangeries ou encore la grande distribution (Tableau 2).

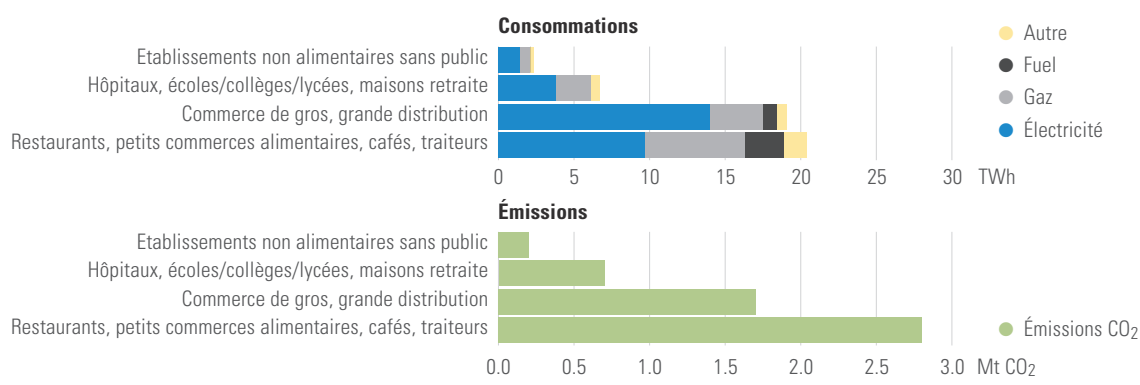
Les résultats montrent que les établissements non dédiés à la production alimentaire représentent une très faible part des consommations d'énergie, environ 20 % dont les trois-quarts pour les établissements accueillant du public comme les écoles, les maisons de retraites, les hôpitaux (Figure 20). Les établissements de commerce de gros et la grande distribution représentent 40 % des consommations, soit environ autant que les restaurants et petits commerces alimentaires. Il est intéressant de noter que les établissements dédiés à la production de biens alimentaires comme les commerces alimentaires et les restaurants ont beaucoup

Tableau 2. Périmètre d'évaluation des consommations d'énergie selon le type d'établissement du tertiaire

Établissements considérés	Usages	Indicateurs
Etablissements non alimentaires sans public accueilli	Froid et cuisson pour les repas des employés	Consommation d'énergie par usage, chiffre d'affaires hors exportation et nombre d'emplois temps plein par sous-branche d'activité
Hôpitaux, écoles/collèges/ lycées, maisons de retraite	Froid, cuisson pour les repas des employés et des publics accueillis	Consommation d'énergie par usage, chiffre d'affaires et nombre d'emplois temps plein par sous-branche d'activité
Commerces de gros, grande distribution	Froid, cuisson, chauffage, ECS, électricité spécifique et autres	Consommation d'énergie par usage, part des biens alimentaires dans le chiffre d'affaires
Restaurants, petits commerces alimentaires, cafés, traiteurs	Froid, cuisson, chauffage, ECS, électricité spécifique et autres	Consommation d'énergie par usage
Hôtels sans restaurant	Froid et cuisson	Consommation d'énergie par usage
Hôtels-restaurants	Froid, cuisson, chauffage, ECS, électricité spécifique et autres	Consommation d'énergie par usage, part de l'activité restauration dans le chiffre d'affaires

Sources : Nous avons utilisé principalement la base de données ESANE de l'INSEE et les données du CEREN qui fournit les consommations de 27 sous-branches d'activité, selon 9 usages énergétiques : chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson, froid alimentaire, éclairage, climatisation, bureautique, électricité spécifique et autres. Les émissions de CO₂ sont évaluées à partir des facteurs d'émissions de référence de la Base Carbone 2014 de l'ADEME.

Figure 20. Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre par type d'établissements



Source : les auteurs

plus recours aux usages thermiques de cuisson et de process thermiques tandis que les établissements de logistique et de distribution utilisent plus d'éclairage et de bureautique. De ce fait les premiers ont plus recours aux énergies fossiles et les seconds à l'électricité.

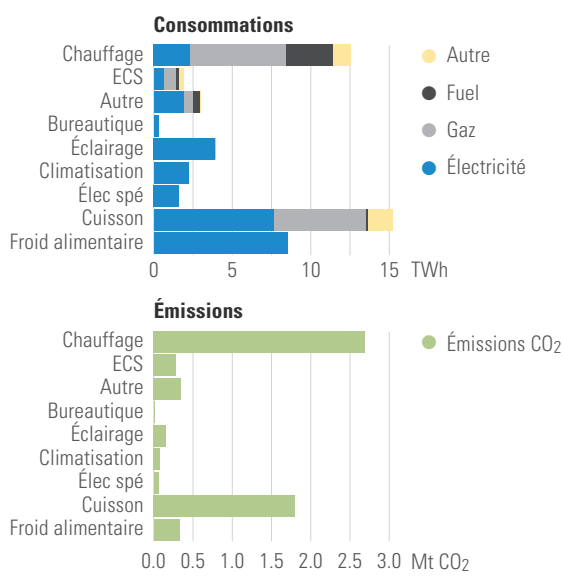
Concernant les usages énergétiques, trois usages représentent presque 75 % des consommations totales d'énergie du secteur tertiaire pour l'alimentation (Figure 21). La cuisson représente 31 % des consommations d'énergie dont 50 % de combustibles fossiles, le chauffage représente 25 % des consommations dont 80 % de combustibles fossiles et enfin le froid alimentaire représente 17 % des consommations, uniquement de l'électricité. Les autres usages sont assurés à 80 % par de l'électricité. Au niveau des émissions de CO₂, ce sont logiquement les usages qui ont recours aux énergies fossiles qui pèsent le plus. Ainsi la cuisson et le chauffage représentent à eux-seuls 47 % et 31 % respectivement 78 % des émissions du tertiaire pour l'alimentation.

Le volume global de consommation d'énergie de ces établissements tertiaires est de 49,2 TWh dont près de 60 % d'électricité tandis que les émissions de CO₂ représentent un volume de 5,6 MtCO₂.

Les consommations d'énergie pour l'alimentation au domicile

Les usages concernés par la fonction « Alimentation » au domicile regroupent le froid alimentaire pour la conservation des aliments à travers les équipements de réfrigération et congélation, la préparation des repas et donc les différents équipements assurant la cuisson des aliments mais également leur transformation, et enfin le lavage de la vaisselle (Tableau 3). La fonction alimentation n'étant qu'une fonction parmi toutes celles permises par le logement, nous avons choisi dans un premier temps de ne pas lui attribuer de consommation d'énergie liées à l'occupation du logement comme le chauffage ou l'éclairage, faisant ainsi l'hypothèse que d'autres activités auraient été exercées

Figure 21. Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre des établissements par usage



Source : les auteurs

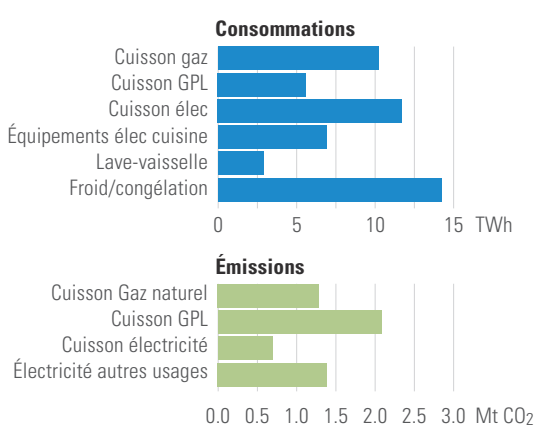
dans le logement nécessitant ces usages de la même façon. Cela correspond aux classifications usuelles d'attribution de toutes les fonctions du logement à l'empreinte carbone du logement.

Tableau 3. Périmètre d'évaluation des consommations d'énergie au domicile

Appareils de cuisson (gaz, GPL, électricité)
Petits équipements électriques (micro-ondes, bouilloire, grille-pain, robot, etc.)
Lave-vaisselle
Réfrigérateurs, congélateurs

Au total l'usage cuisson (four et plaques) représente 53 % des consommations d'énergie résidentielles pour l'alimentation mais 75 % des émissions de CO₂, en raison du recours à des énergies fossiles très carbonées pour cet

Figure 22. Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre au domicile



Source : les auteurs

usage (Figure 22). Le froid est le second poste de consommation d'énergie. La consommation totale d'énergie liée à l'alimentation au domicile est de 51,5 TWh (soit 4,4 Mtep) dont près de 70 % d'électricité tandis que les émissions de CO₂ représentent un volume de 5,5 MtCO₂.

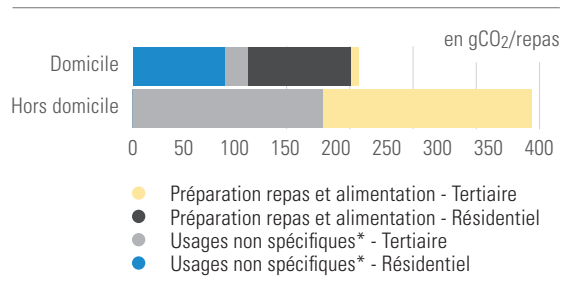
FUITES DE FLUIDES FRIGORIGÈNES HFC

Le froid étant un poste important, nous avons réalisé une estimation des pertes de fluides frigorigènes issus des usages « climatisation » et « froid » des secteurs résidentiel et tertiaire. On utilise pour cela les inventaires d'émissions fournis par le CITEPA [13]. On détermine la part des usages climatisation et froid alimentaire dédiés à l'alimentation à partir des reconstitutions effectuées précédemment de façon à obtenir les volumes de HFC totaux pour l'alimentation. Enfin à partir du pouvoir de réchauffement global (PRG) on obtient ainsi le montant des fuites de fluides frigorigènes en MtCO₂-équivalent soit 2,1 MtCO₂-eq pour le secteur tertiaire et 1,8 MtCO₂-eq pour le secteur résidentiel pour un total de pertes représentant 3,9 MtCO₂-eq.

L'empreinte carbone d'un repas hors domicile plus élevée que celle d'un repas au domicile

A partir de l'enquête INCA2 complétée par la population vivant hors ménage, nous estimons que le nombre total de repas pris par la population métropolitaine s'élève à 66,0 Mds de repas par an dont 55,7 Mds pris au domicile et 10,3 Mds pris hors domicile. Ce dernier chiffre est cohérent avec un rapport de GIRA conseil qui avance le chiffre de

Figure 23. Émissions de CO₂ par repas selon la localisation



*parts du chauffage/ECS/éclairage/autres allouées à l'alimentation.

10 milliards de repas pris hors domicile Cela équivaut à un repas pris hors domicile sur 7. Les consommations d'énergie du secteur tertiaire, calculées précédemment, ont été allouées à la restauration au domicile et à la restauration hors domicile à partir d'un détail fin des sous-branches d'activités.

Concernant les repas au domicile, nous avons considéré ici la part du chauffage et d'éclairage du domicile dédiée à l'alimentation, sur la base du temps dédié à cette fonction par personne au cours de la journée : prise de repas, préparation de repas, vaisselle, débarrasser le couvert. A partir de l'enquête emploi du temps 2010 de l'INSEE, le temps passé moyen dédié à l'alimentation d'environ d'1h30 soit 10 % du temps.

La Figure 23 présente les résultats en termes d'émissions de CO₂ par repas. On constate que les consommations associées au repas hors domicile sont deux fois plus élevées que celle d'un repas au domicile. Si l'on ne considère que les consommations d'énergie dédiées à la fonction alimentation pour les repas au domicile, c'est-à-dire sans prise en compte du chauffage ou de l'éclairage, ce facteur devient même un facteur 3. Ce résultat brut peut paraître assez contre-intuitif dans la mesure où le secteur de la restauration hors-domicile est considéré comme étant assez efficace en vertu d'effets d'échelle dans la préparation culinaire.

Il est intéressant de constater qu'une large part, environ 40-45 %, des consommations et des émissions de CO₂ associées à la prise de repas hors domicile provient des usages énergétiques non spécifiques à la production de repas. Il s'agit du chauffage, de l'eau chaude sanitaire, de l'éclairage des établissements dédiés en totalité à la fonction alimentation : restaurants, cantines, cafés. D'autre part en ne considérant que les usages énergétiques spécifiques à la production de repas (cuisson, froid alimentaire, appareils de cuisine...) le contenu énergétique et CO₂ moyen d'un repas pris hors domicile est environ 1,8 fois plus important que celui d'un repas pris au domicile.

Résultats globaux de l'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation

Selon le périmètre retenu, les émissions de gaz à effet de serre issues de l'alimentation des ménages en France s'élèvent à 163 Mt d'eqCO₂, soit 24 % de l'empreinte carbone des ménages en France au regard de l'empreinte carbone totale évaluée par le SOeS de 671 MteqCO₂ pour l'année 2012.

La production agricole est le premier poste d'émissions de GES pour un total de 109 Mt d'eqCO₂, soit les deux tiers de l'empreinte carbone totale de l'alimentation (Figure 25). Le méthane (CH₄) pèse pour 29 % de ce bilan total et 44 % des émissions de la production agricole. Il est issu de la fermentation entérique par les ruminants et des effluents d'élevages. Le protoxyde d'azote (N₂O) représente 23 % du bilan carbone total, et 34 % des émissions du stade agricole. Il provient principalement de la fabrication et de l'usage d'engrais azotés sur les sols agricoles. La part carnée de notre alimentation mais aussi les pratiques agricoles sont donc déterminantes dans ce bilan. Le CO₂ issu de la production agricole pèse enfin pour 22 % des émissions du stade agricole, il est issu de la consommation directe d'énergie des exploitations (matériels et bâtiments) et d'émissions indirectes liées à la mise à disposition d'autres intrants (autres fertilisants, produits phytosanitaires, fabrication de matériel et construction de bâtiments).

Le second secteur à l'origine des émissions totales de GES est le secteur des transports. En effet, les transports de marchandises et des transports des ménages dédiés à l'alimentation représentent 19 % de l'empreinte carbone

totale, soit 30 MtCO₂. Les transports routiers de marchandises sont à l'origine d'une large partie de ces émissions avec 23 MtCO₂ dont 43 % concernent des produits domestiques et 57 % des produits importés (en considérant le trajet total du pays d'origine au département français de destination). Chercher à rapprocher les lieux de production des lieux de consommation est donc un enjeu majeur, y compris pour les produits transformés. Le transport maritime représente près d'un tiers du trafic en t.km parcourues mais pèse beaucoup moins dans le bilan carbone (11 %) puisque les émissions à la tonne.km sont nettement plus faibles que pour le transport routier. A l'inverse, le transport aérien représente une faible part du trafic (0,5 %) mais relativement élevée des émissions du transport de marchandises (5 %).

Identifier les potentiels de réduction de la demande énergétique

Globalement, le premier gaz à effet de serre issu de l'alimentation est le CO₂ qui est à l'origine de 46 % du bilan carbone total. Il provient de l'ensemble des consommations d'énergie aux différentes étapes du système alimentaire. Réduire la demande énergétique est donc la première étape incontournable dans les stratégies de réduction des émissions de GES, que ce soit par des mesures structurelles limitant les besoins ou par des mesures d'efficacité énergétique. En second lieu, le choix des mix énergétiques restera important pour déterminer l'empreinte carbone finale.

La consommation énergétique totale serait de 31,6 Mtep

Figure 24. Bilan énergétique par secteur

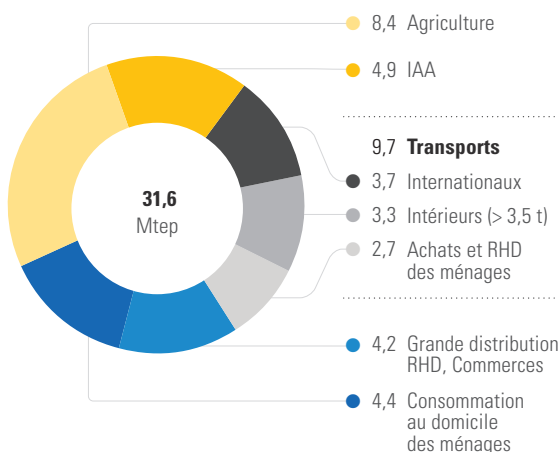
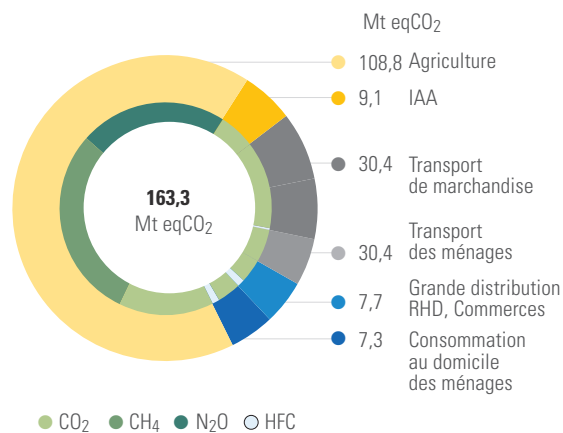


Figure 25. Bilan carbone par secteur



(Figure 24). Le secteur des transports est à l'origine de la plus large part de cette empreinte énergétique, soit 31 % dont 22 % liés aux marchandises et 9 % issus des déplacements des ménages, suivi du secteur agricole avec 27 % des consommations d'énergie. Les trois autres secteurs, les IAA, le résidentiel et le tertiaire, représentent respectivement 15 %, 14 % et 13 % des consommations d'énergie. **Avec plus d'un quart de l'empreinte énergétique de l'alimentation, le résidentiel-tertiaire est donc loin d'être négligeable.** Les consommations d'énergie d'un repas hors domicile deux fois supérieures à celles d'un repas au domicile viennent à l'appui de ce constat.

Si on considère l'empreinte énergétique de l'alimentation par source d'énergie, les carburants sont le premier poste de consommation d'énergie (39 %). La consommation de gaz naturel (8,6 Mtep, soit 27 %) est d'abord le résultat de la production d'engrais azotés et de la transformation par les industries agroalimentaires. L'électricité pèse également pour 27 % du bilan (8,4 Mtep), dont 3 Mtep au domicile des ménages et 2,5 Mtep pour le tertiaire.

Les enjeux liés à l'alimentation carnée et aux intrants azotés

Il apparaît clairement que l'évolution de l'assiette des ménages vers **une alimentation moins carnée et la réduction du recours aux intrants azotés** pour l'ensemble des productions agricoles, revêtent un enjeu majeur dans une stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Une simulation faite dans le cadre du projet CECAM montre qu'un régime réduisant d'environ la moitié la consommation de viande et de produits laitiers au profit d'une augmentation de la consommation d'aliments végétaux, associée à une évolution des pratiques agricoles plus économes en intrants et à une réallocation des terres agricoles, permettrait de réduire l'empreinte carbone du stade agricole par deux. Cela conduirait également à une réduction de 25 % des émissions du transport de marchandises liés aux importations, du fait simplement de la baisse de volume de celles-ci. **Les potentiels de réduction d'émissions de gaz à effet de serre sur l'aval du système alimentaire sont plus diffus mais peuvent être significatifs**, tels que la réduction des pertes, celle des besoins de transport ou encore le transfert modal et les progrès technologiques des équipements.

Un périmètre qui peut être élargi

La seule étude qui, à notre connaissance, a évalué l'empreinte carbone de l'alimentation en France avec une approche globale, est celle réalisée par l'IFEN en 2006. Le bilan total était très proche de celui évalué ici : 170

MteqCO₂. Les résultats pour les IAA, le résidentiel et le tertiaire sont concordants. Les postes pris en compte étaient légèrement différents : l'impact des emballages était pris en compte par l'IFEN mais pas les émissions indirectes de l'agriculture. Le périmètre considéré du transport de marchandises était seulement intérieur et donc relativement limité ; à l'inverse le poids des déplacements des ménages était supérieur à nos évaluations.

Nous pouvons considérer que l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre du projet CECAM reste relativement conservatrice puisque, comme nous l'avons indiqué au début de cette synthèse, **quelques postes d'émissions devraient être pris en compte également : les véhicules utilitaires légers, les emballages et le traitement des déchets notamment.** Les données sur le contenu carbone des produits importés restent fragiles.

Simulations et outils d'aide à la décision

Les outils de simulation élaborés dans ce projet permettent d'évaluer l'impact carbone et énergétique de scénarios d'évolution du système alimentaire. Des hypothèses d'évolution pourraient être formulées, notamment :

- L'évolution de la **consommation alimentaire** en France éventuellement par segments de population.
- L'évolution de l'**usage des sols** et des **pratiques agricoles** et du commerce international.
- L'évolution des pratiques de **distribution** des biens alimentaires auprès des ménages, avec une utilisation accrue des pratiques d'achats à distance par exemple.
- La réduction des pertes et gaspillage et modes de valorisation des déchets et sous-produits organiques (alimentation animale, valorisation matière, énergétique et agronomique).
- La prise en compte du **progrès technologique** à toutes les étapes du système alimentaire.

Au-delà du bilan environnemental, la description des systèmes alimentaires alternatifs pour chaque scénario révélerait l'impact des changements pris en compte dans la configuration du système alimentaire : la surface agricole mobilisée pour les besoins alimentaires et la surface disponible pour d'autres usages, l'allocation des surfaces pour la production agricole, les conséquences possibles sur les IAA, la configuration de la demande de transport dans toutes ses composantes ou encore celle des réseaux de distribution. Les outils développés sont pertinents pour nourrir la réflexion dans l'élaboration de stratégies bas carbone à l'échelle nationale ou à l'échelle territoriale et informer la décision des acteurs.

L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France

de la production à la consommation

Sources statistiques et références principales

- ADEME, Documentation des facteurs d'émission de la Base Carbone. <http://www.bilans-ges.ademe.fr>
- ADEME, Pertes et gaspillages alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire, 2016.
- AGRESTE, 1) Statistiques PRODCOM et enquête de branche, 2) Consommations d'énergie dans les IAA, <http://agreste.agriculture.gouv.fr>
- ANSES, Etude individuelle nationale sur les consommations alimentaires, INCA2 (2006-2007), INCA3 (2013-2014).
- AYADI, A., Vers une organisation globale durable de l'approvisionnement des ménages, 2014, Thèse LAET-Université Lyon 2.
- CAYLA, JM., Le modèle IMMOVE: Integrated Model of MObility, Vehicules and Energy. Vers une représentation fine des impacts des comportements de mobilité et des choix d'organisation de la société, 2013, Note interne EDF R&D.
- CERDI, Base de données SeaDistance, http://cerdi.org/production/show/id/1791/type_production_id/1
- CEREN, Estimation des consommations de gaz à usage eau chaude sanitaire et cuisson, 2007, Etude 7107.
- CEREN, Ré-estimation en 2010 de la consommation d'électricité par usage fin, 2011, Etude 2104.
- CITEPA, Inventaire d'émissions format SECTEN, 2016. <http://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/effet-de-serre/hydrofluorocarbures>
- CNIEL, L'économie laitière en chiffres, édition 2016.
- CTIFL, La production nationale de fruits et légumes et les échanges extérieurs, <http://www.fruits-et-legumes.net/StatistiquesEconomiques>
- EUROSTAT, 1) Ramon - Reference and Management Nomenclatures, <http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/index>.
- EUROSTAT, Production vendue, exportations et importations par liste PRODCOM (NACE Rév. 2) - données annuelles, <https://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/prodcom/data/database>.
- FAOSTAT, <http://www.fao.org/statistics/standards/fr/>
- FRANCEAGRIMER, Note de conjoncture – analyse économique de de la filière lait 2010, Conseil Spécialisé filières laitières du 24 Mars 2011.
- GROTERA, C., BARBIER, C., *et al.*, "Linking Specific Electricity Consumption and Standard of Living – A Comparison for Brazil and France Households", 94 (2018) 877-888. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.063>
- INSEE, IFSTAR, SoeS « Enquête Nationale Transports et Déplacements 2007-2008 », 2008.
- NICHELE V., ANDRIEU E., BOIZOT-SZANTAÏ C., CAILLAVET F., DARMON N. 2008. L'évolution des achats alimentaires : 30 ans d'enquêtes auprès des ménages en France, *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 43(3) : 123-130.
- ROUTHIER, J. L, SEGALOU, E., DURAND, S., Mesurer l'impact du transport de marchandises en ville - le modèle Freturb (version 1), 2001, Programme national marchandises en ville DRAST-ADEME.
- SILVESTRE M, BILLEN G, GARNIER J, Evaluation de la provenance des marchandises consommées par un territoire : Amstram, une application de webmapping basée sur les statistiques de transport et de production, 2015, In Junqua G & Brulot S. eds. *Ecologie industrielle et territoriale : COLEIT* 2012. pp. 361-370. Presses des Mines, Paris.
- SKÖLD *et al.*, Household Preferences to Reduce Their Greenhouse Gas Footprint: A Comparative Study from Four European Cities, *Sustainability*, 2018, 10(11), 4044; <https://doi.org/10.3390/su10114044>
- TABBONE, L., RAVALET, E., DURAND-DAUBIN, M., KAUFMANN, V., CAYLA, JM., Spatial location of activities and energy consumption of households in France, DEMAND proceedings 2016.

Le rapport complet du projet CECAM est disponible sur demande auprès de Carine BARBIER : barbier@centre-cired.fr