

Simulation prospective du Système Alimentaire et de son Empreinte carbone (SISAE)

Elaboration et évaluation
de différentes visions du système
alimentaire français en 2050

RAPPORT FINAL

Avril
2022

EXPERTISES



Avec le soutien financier de



REMERCIEMENTS

Nous remercions les membres du comité de pilotage :

Sarah MARTIN (ADEME), Antoine PIERART (ADEME), Valérie TO (MTE - CGDD), Elisabeth PAGNAC-FARBIAZ (MTE - DGEC), Isabelle PION (MAA - DGPE), Gwenaël PODESTA (MTE - DGEC), Baptiste GARDIN (IDDRI).

Nous remercions pour leurs contributions **Patrice NOGUES, Fabrice DECELAS et Gwennaëlle LAMY (EDF R&D), Philippe POINTEREAU (SOLAGRO)** ainsi que, pour leurs mémoires de fin d'étude réalisés dans le cadre de ce projet de recherche :

Annaëlle PITOISET, L'approvisionnement alimentaire des agglomérations : organisations logistiques mises en oeuvre par les activités économiques et pratiques associées aux achats découplés des ménages (2020), Master Transports, Réseaux, Territoire, ENTPE et Université Lyon 2.

Ophélie EDENER, Quelles pistes de réduction des émissions liées aux transports de biens alimentaires ? Travail sur les échanges commerciaux de produits alimentaires transformés (2021), Master Economie de l'Environnement, de l'Energie et des Transports, parcours Alimentation Durable, AgroParisTech, Université Paris-Saclay et Université Paris-Nanterre.

CITATION DE CE RAPPORT

Carine BARBIER (CNRS-CIRED), Christian COUTURIER (SOLAGRO), Patrice DUMAS (CIRAD-CIRED), Emmanuelle KESSE-GUYOT (INRAE-EREN), Julia BAUDRY (INRAE-EREN), Ivan PHARABOD (PhiLabs), Prabodh POUROUCHOTTAMIN (EDF R&D), Florence TOILIER (LAET). 2022. Simulation prospective du système alimentaire et de son empreinte carbone. 160 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2003C0029

Projet de recherche réalisé par :

Carine BARBIER (CNRS-CIRED)
Christian COUTURIER (SOLAGRO)
Patrice DUMAS (CIRAD-CIRED)
Emmanuelle KESSE-GUYOT (INRAE-EREN)
Julia BAUDRY (INRAE-EREN)
Ivan PHARABOD (PhiLabs)
Prabodh POUROUCHOTTAMIN (EDF R&D)
Florence TOILIER (LAET)

Projet cofinancé par l'ADEME, le Ministère de la Transition Ecologique, la Fondation Carasso, le CNRS, l'INRAE et le CIRAD.

Coordination technique - ADEME : Antoine PIERART – Sarah MARTIN

Direction/Service : Direction Bioéconomie et Energies renouvelables – Service Forêts, Alimentation et Bioéconomie

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCTION	10
1.1. Contexte général	10
1.2. Objectifs	10
1.3. La modélisation du système alimentaire	10
2. DEMANDE ALIMENTAIRE	12
2.1. Méthodologie	12
2.1.1. Définition des assiettes	12
2.1.2. Demande alimentaire de la population.....	13
2.2. La demande alimentaire en 2050	13
2.2.1. L'évolution de la demande alimentaire et ses déterminants	13
2.2.1.1. Scénario tendanciel.....	13
2.2.1.2. Scénario Génération frugale	13
2.2.1.3. Scénario Coopérations territoriales	14
2.2.1.4. Scénario Technologies vertes	14
2.2.1.5. Scénario Pari réparateur	14
2.2.1.6. Scénario SNBC.....	14
2.2.2. Caractérisation des assiettes moyennes selon les scénarios	15
2.2.2.1. Régimes individuels	15
2.2.2.2. Régimes à l'échelle de la population métropolitaine	16
3. PRODUCTION AGRICOLE	18
3.1. Modélisation du système agricole	18
3.1.1. L'outil MOSUT	18
3.1.2. Précisions sur certains indicateurs clé.....	18
3.2. Le scénario tendanciel	19
3.2.1. Principes généraux	19
3.2.2. L'occupation du territoire.....	19
3.2.3. Les productions agricoles	20
3.2.4. Les échanges internationaux	21
3.2.5. Les émissions de gaz à effet de serre	22
3.2.6. Les bioénergies.....	22
3.3. Le scénario Génération frugale	22
3.3.1. Principes généraux	22
3.3.2. L'occupation du territoire.....	23
3.3.3. Les productions agricoles	23
3.3.4. Les échanges internationaux	25
3.3.5. Les émissions de gaz à effet de serre	26
3.3.6. Les bioénergies.....	27
3.4. Le Scénario Coopérations territoriales	27
3.4.1. Principes généraux	27
3.4.2. L'occupation du territoire.....	27
3.4.3. Les productions agricoles	27
3.4.4. Les échanges internationaux	30
3.4.5. Les émissions de gaz à effet de serre	30

3.4.6. Les bioénergies.....	31
3.5. Le Scénario Technologies vertes	31
3.5.1. L'occupation du territoire.....	31
3.5.2. Les productions agricoles	32
3.5.3. Les échanges internationaux	34
3.5.4. Les émissions de gaz à effet de serre	34
3.5.5. Les bioénergies.....	35
3.6. Le Scénario Pari réparateur	35
3.6.1. Principes généraux	35
3.6.2. L'occupation du territoire.....	35
3.6.3. Les productions agricoles	36
3.6.4. Les échanges internationaux	39
3.6.5. Les émissions de gaz à effet de serre	40
3.6.6. Les bioénergies.....	40
3.7. Le scénario SNBC	40
3.7.1. Principes généraux	40
3.7.2. L'occupation du territoire.....	40
3.7.3. Les productions agricoles	41
3.7.4. Les échanges internationaux	43
3.7.5. Les émissions de gaz à effet de serre	44
3.7.6. Les bioénergies.....	44
4. LA TRANSFORMATION	45
4.1. La production et les échanges de produits transformés	45
4.1.1. Les produits transformés dans la nomenclature CECAM-SISAE	45
4.1.2. Sources de données et harmonisation des nomenclatures	46
4.1.3. Données consolidées par catégorie de produits	47
4.2. Simulation des besoins de produits transformés et des échanges internationaux selon les scénarios	49
4.2.1. L'évolution de l'activité des IAA.....	49
4.2.2. Hypothèses d'évolution du commerce international pour certaines IAA.....	50
4.2.3. Hypothèses sur les gains d'efficacité énergétique et mix par groupe d'IAA.....	52
4.2.4. Hypothèses sur la pénétration de biocombustibles	52
4.3. Résultats	53
4.3.1. Evolution des disponibilités intérieures des produits transformés et part importée	53
5. TRANSPORT DE MARCHANDISES LONGUE DISTANCE	56
5.1. Méthodologie	56
5.1.1. Le calcul des tonne-kilomètres	56
5.1.2. Émissions selon les modes de transport	58
5.2. Prise en compte des évolutions du commerce international	60
3.1.1. Application aux scénarios des exercices PER et SNBC	60
5.2.1. Distribution des importations selon les pays d'origine	63
5.3. Résultats	65
5.3.1. Situation 2013 et Scénario <i>Tendanciel</i>	65
5.3.2. Trafic total par région d'origine selon les scénarios	67
5.3.2.1. Origine France / Europe / Monde.....	67
5.3.2.2. L'impact de la relocalisation des imports	68
5.3.3. Trafics par classe de produits et région d'origine	71
5.3.4. Résultats par scénario et par mode de transport	74
5.3.4.1. Les trafics évités selon les scénarios.....	74
5.3.4.2. Les émissions de GES évitées selon les scénarios	78
5.4. La relocalisation interrégionale	81
5.4.1.1. Méthode.....	82

5.4.2. Résultats	82
6. EMISSIONS DE GES, CONSOMMATIONS D'ENERGIE ET SURFACES ASSOCIEES AUX PRODUITS IMPORTES	84
6.1. Méthodologie d'évaluation des émissions de GES, consommations d'énergie et surfaces associées	84
6.1.1. Référence et hypothèses communes aux scénarios	84
6.1.2. Hypothèses spécifiques à chaque scénario	85
6.2. Les impacts des importations par région	87
6.3. L'empreinte énergétique et carbone de la production agricole à destination de la consommation en France métropolitaine	90
6.4. Les surfaces mobilisées et les émissions des importations issues du changement d'usage des sols	91
7. TRANSPORT DE MARCHANDISES EN VILLE	94
7.1. Méthodologie	94
7.1.1. Qu'est-ce que le transport de marchandises en ville ?	94
7.1.2. Données et modèles mobilisés	95
7.1.2.1. Rappels relatifs au fonctionnement du modèle Freturb	95
7.1.2.2. La prise en compte des flux B2C dans Freturb-Silogues	96
7.1.2.3. Le calcul des émissions polluantes dans Freturb-Silogues	96
7.1.2.4. La préparation des données nécessaires aux simulations de scénarios	96
7.2. Les caractéristiques des flux urbains de biens alimentaires	97
7.3. Hypothèses retenues pour décliner les scénarios dans Freturb-Silogues	98
7.3.1. Le scénario de Génération frugale	98
7.3.1.1. Hypothèses sur la structure économique des activités	98
7.3.1.2. Hypothèses sur la structure socio-démographique et les pratiques de consommation des ménages	98
7.3.1.3. Hypothèses sur le développement urbain	98
7.3.1.4. Hypothèses sur les organisations logistiques mises en œuvre	98
7.3.2. Le Scénario Coopérations territoriales	99
7.3.2.1. Hypothèses sur la structure économique des activités	99
7.3.2.2. Hypothèses sur la structure socio-démographique et les pratiques de consommation des ménages	99
7.3.2.3. Hypothèses sur le développement urbain	99
7.3.2.4. Hypothèses sur les organisations logistiques mises en œuvre	99
7.3.3. Le scénario de Technologies Vertes	99
7.3.3.1. Hypothèses sur la structure économique des activités	99
7.3.3.2. Hypothèses sur la structure socio-démographique et les pratiques de consommation des ménages	100
7.3.3.3. Hypothèses sur le développement urbain	100
7.3.3.4. Hypothèses sur les organisations logistiques mises en œuvre	100
7.3.4. Le scénario de Pari réparateur	100
7.3.4.1. Hypothèses sur la structure économique des activités	100
7.3.4.2. Hypothèses sur la structure socio-démographique et les pratiques de consommation des ménages	100
7.3.4.3. Hypothèses sur le développement urbain	101
7.3.4.4. Hypothèses sur les organisations logistiques mises en œuvre	101
7.4. Les indicateurs de sortie	101
7.5. L'évaluation des impacts du transports de marchandises en ville	101
8. TRANSPORT DES MENAGES, TERTIAIRE, RESIDENTIEL	102
8.1. Périmètre d'analyse	102
8.2. Considérations préalables générales et avertissements	103
8.2.1. Démographie	103
8.2.2. Préparation et contenu de l'assiette	103

8.2.3.	Cohérence sectorielle	103
8.2.4.	Scénarios élaborés.....	104
8.3.	Résidentiel	105
8.3.1.	Élaboration de la part "alimentaire" de la consommation résidentielle	105
8.3.2.	Évolutions prises en compte pour les consommations alimentaires dans les scénarios	109
8.3.3.	Scénario S0 Tendancier	109
8.3.3.1.	Scénario Génération frugale	111
8.3.3.2.	Scénario S2 Coopérations territoriales	112
8.3.3.3.	Scénario S3 Technologies Vertes	113
8.3.3.4.	Scénario S4 Pari réparateur.....	114
8.4.	Tertiaire	115
8.4.1.	Élaboration de la part "alimentaire" de la consommation tertiaire	115
8.4.1.1.	Évolutions méthodologiques par rapport à CECAM	116
8.4.1.2.	Révision de la base CEREN	116
8.4.1.3.	Bilan global	117
8.4.1.	Évolutions des consommations alimentaires dans les scénarios	119
8.4.1.4.	Scénario Tendancier	120
8.4.1.5.	Scénario Génération frugale	121
8.4.1.6.	Scénario Coopérations territoriales	123
8.4.1.7.	Scénario Technologies vertes	124
8.4.1.8.	Scénario Pari réparateur	125
8.5.	Mobilité des ménages	127
8.5.1.	Outil de modélisation utilisé pour représenter la mobilité des ménages liée à l'alimentation	127
8.5.2.	Scénarisation de la mobilité des ménages liée à l'alimentation pour SISAE	129
8.5.2.1.	Choix de segmentation des déplacements et impacts sur la scénarisation	129
8.5.3.	Scénarios	135
8.5.3.1.	Observations globales	135
8.5.3.2.	Mobilités scénarisées dans le cadre du projet SISAE	137
8.5.3.3.	Enseignements.....	139
8.6.	Bilans de synthèse	140
9.	RESULTATS GLOBAUX DES SYSTEMES ALIMENTAIRES	142
10.	ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE	144
11.	ANNEXES	148
11.1.	Demande alimentaire	148
11.2.	Production agricole	150
11.2.1.	Hypothèses sur les systèmes de production	150
11.2.2.	Hypothèses d'évolution	153
11.2.3.	Principaux résultats comparés	153
11.3.	La transformation agroalimentaire	156
11.4.	Trafic de marchandises longue distance	160
11.4.1.1.	Code NST - Transport en gros	161
11.4.1.2.	Transport frigorifique.....	161
11.5.	Hypothèses sur les facteurs d'émissions par source d'énergie	166
	Facteur d'émission retenus pour les carburants liquides pour la mobilité des ménages	166

RÉSUMÉ

Simulation prospective du Système Alimentaire et de son Empreinte Carbone

Aller vers la neutralité carbone du système alimentaire du champ à l'assiette à l'horizon 2050 impose une évolution sensible des régimes alimentaires et des arbitrages à différentes étapes : les systèmes de production agricoles et le partage d'usage des sols, le niveau d'importations et d'exportations de produits agricoles et alimentaires et le transport associé, les systèmes de transformation ou encore les modes d'approvisionnement des ménages.

Six visions du système alimentaire en 2050 sont décrites dans ce rapport. Cinq scénarios sont communs à l'exercice *Transitions 2050* de l'Ademe et un scénario reprend le scénario SNBC-AMS 2019. Les résultats montrent tout d'abord l'importance des synergies possibles entre les préoccupations de santé publique, une plus grande autonomie alimentaire et la protection de l'environnement.

La production agricole reste une source majeure d'émissions de gaz à effet de serre en 2050 non seulement pour l'ensemble du système alimentaire mais également dans l'empreinte carbone globale tous secteurs confondus. L'objectif de neutralité carbone impose de réduire drastiquement les émissions de méthane et d'oxyde d'azote. La réduction des pertes et des gaspillages, ainsi qu'une alimentation beaucoup plus végétale et nutritionnellement équilibrée sans surconsommation de calories ou de protéines, sont incontournables. L'évolution des pratiques agricoles doit permettre une meilleure gestion de l'azote en privilégiant la fixation symbiotique, celle-ci pourrait assurer la majorité des apports azotés.

Rediriger la production agricole domestique vers le marché intérieur, relocaliser des filières déficitaires sur le territoire, sont également des leviers importants pour réduire les importations de produits agricoles et agroalimentaires. Des millions d'hectares de terres agricoles dans les pays fournisseurs de la France seraient ainsi libérés. Une plus grande autonomie alimentaire peut permettre une division par trois du transport de marchandises, qui pèse de manière non négligeable dans l'empreinte carbone du système alimentaire.

Les émissions de CO₂ issues de la combustion des énergies fossiles représentent la moitié de l'empreinte carbone du système alimentaire actuel. La sobriété dans les usages, du champ à l'assiette, est la première étape. Elle permettra de limiter les besoins conséquents d'investissement dans des équipements, des motorisations, des organisations logistiques, des bâtiments plus efficaces énergétiquement et la généralisation de l'usage d'énergies décarbonées.

ABSTRACT

Prospective study of the Food System and its Carbon Footprint

Moving towards a climate neutral food system from farm to fork by 2050 requires a significant change in diets and trade-offs at different stages: agricultural production systems and land use sharing, the level of imports and exports of agricultural and food products and associated transport, processing systems and household supply modes.

Six visions of the food system in 2050 are described in this report. Five scenarios are common to Ademe's Transitions 2050 exercise and one scenario is based on the SNBC-AMS 2019 scenario. The results first show the importance of possible synergies between public health concerns, greater food autonomy and environmental protection.

Agricultural production remains a major source of greenhouse gas emissions in 2050, not only for the food system as a whole but also in the overall carbon footprint of all sectors. Achieving carbon neutrality of the food system requires a drastic reduction in methane and nitrous oxide emissions. The reduction of losses and waste, as well as a much more plant-based and nutritionally balanced diet without over-consumption of calories or proteins, are essential. Changes in agricultural practices must allow better management of nitrogen by fostering symbiotic fixation, which could provide the majority of nitrogen inputs.

Redirecting domestic agricultural production towards the domestic market and relocating agricultural productions in the country are also relevant levers for reducing imports of agricultural and agri-food products. Millions of hectares of agricultural land in France's supplier countries would thus be freed up. Greater food self-sufficiency could allow for a threefold reduction in the transport of goods, which has a significant impact on the carbon footprint of the food system.

CO₂ emissions from the combustion of fossil fuels account for half of the carbon footprint of the current food system. Sufficiency in use, from farm to fork, is the first step. It will make it possible to limit the consequent need for investment in more energy-efficient equipment, vehicle motorization, logistics organizations, buildings and the widespread use of low-carbon energy.

1. Introduction

1.1. Contexte général

Dans un contexte de mobilisation accrue des biomasses pour des usages diversifiés (alimentation, matériaux, énergie, etc.) et de potentiels conflits d'usage des sols, la satisfaction des besoins alimentaires est un objectif prioritaire mais doit intégrer de multiples contraintes. La demande alimentaire évolue pour répondre à des préoccupations nutritionnelles, sanitaires et environnementales. Cela a des conséquences sur l'ensemble du système alimentaire : sur la nature de la production agricole et sa localisation, les processus de transformation, la demande en transport, etc., mais également sur l'importance de la surface agricole dédiée à l'alimentation dans le futur, en France et à l'étranger pour les produits importés, et d'éventuels changements d'usage des sols vers des productions non-alimentaires. Avoir une vision de long terme de cette demande alimentaire est donc nécessaire à tout exercice de planification territoriale.

Le système alimentaire est façonné par des politiques publiques de différentes natures tant à l'échelle nationale (Programme National Nutrition Santé (PNNS), Politique Agricole Commune (PAC), Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), loi EGALim etc.) qu'à l'échelle territoriale (Plan Alimentaire Territorial (PAT), Schéma Régional Biomasse (SRB), etc.).

Sur le plan des émissions de gaz à effet de serre, l'alimentation revêt un enjeu majeur puisqu'elle représente près de 25% de l'empreinte carbone des ménages (CECAM, 2019). La mise en œuvre de l'Accord de Paris issu de la COP21 nécessite d'avoir une vision globale de l'impact environnemental de notre système alimentaire et des outils d'arbitrage entre différentes voies possibles d'évolution.

Une approche globale des systèmes de production, de transformation et de consommation ainsi que des outils d'évaluation sont nécessaires pour informer la décision des acteurs publics et privés. Anticiper l'évolution de la demande alimentaire, faire des choix dans les systèmes de production, anticiper les surfaces agricoles nécessaires, valoriser les ressources par des moyens de transformation adaptés, doivent être réfléchis au travers d'une approche systémique et évalués par des indicateurs de performance. C'est à cette problématique que les résultats de recherche présentés ici cherchent à contribuer.

1.2. Objectifs

Le projet de recherche SISAE, Simulation prospective du Système alimentaire et de son Empreinte carbone, vise à dessiner différentes visions du système alimentaire français en 2050 dans le cadre des engagements européens à la neutralité carbone à cet horizon. Il cherche à répondre aux questions suivantes :

- Comment faire évoluer la production et la transformation des denrées alimentaires pour répondre à la demande future de la population sous contrainte de réduction de l'impact environnemental du système alimentaire du champ à l'assiette ?
- Quels arbitrages cette évolution suscite à différents niveaux du système alimentaire, notamment sur le partage d'usage des sols, le niveau d'importations et d'exportations de produits agricoles et alimentaires et le transport associé, les systèmes de transformation ou encore les modes d'approvisionnement des ménages ?

1.3. La modélisation du système alimentaire

La méthodologie retenue, définie dans le cadre du projet CECAM (Contenu énergétique et carbone de l'alimentation des ménages, 2016-2018)¹, est une approche systémique de l'évaluation de l'empreinte énergétique et carbone de la consommation alimentaire des ménages en France. Elle permet de simuler les impacts d'une évolution des systèmes alimentaires et d'identifier le poids relatif des principales étapes : production agricole, transport de marchandises, transformation, distribution, restauration, déplacements pour les achats alimentaires des ménages, préparation au domicile.

Le projet CECAM a élaboré des outils d'évaluation des impacts énergétiques, en émissions de GES et en empreinte sol, de la consommation alimentaire de la population française métropolitaine. Il a permis de faire

¹ Barbier et al., Empreintes Sol, Energie et carbone de l'alimentation, Empreintes des importations agricoles et alimentaires françaises, Ademe, 2020.

dialoguer, tout le long de la chaîne alimentaire, les données issues des statistiques et modèles de production agricole (MoSUT), de la consommation alimentaire, de la transformation et des transports (enquêtes SITRAM et ENTD).

Les 6 scénarios simulés dans ce rapport sont une traduction des 5 scénarios globaux envisagés dans l'exercice Prospective Transition(s) 2050 de l'Ademe (4 scénarios de transition et un scénario tendanciel, à retrouver sur <https://transitions2050.ademe.fr/>) et du scénario de la SNBC2. Une large partie des hypothèses est issue de ces exercices prospectifs, en particulier pour le système domestique.

Les différentes modélisations mobilisées à chaque étape, leur articulation au travers des flux physiques de production, importations et exportations, les pratiques de consommation des ménages et les résultats obtenus par scénario font l'objet des différentes parties du rapport.

La demande alimentaire qui structure l'ensemble des systèmes alimentaires, est décrite en seconde partie. Le régime alimentaire moyen de la population en 2050 est composé d'un jeu d'assiettes nutritionnellement optimisées, différenciées selon le sexe et l'âge pour les femmes. Certaines assiettes intègrent également des contraintes visant à réduire la consommation de certains produits (produits animaux, produits exotiques etc.). Une pondération de ces assiettes conduit à définir un régime alimentaire moyen par scénario.

Les besoins de produits agricoles et alimentaires découlent de la demande alimentaire. La troisième partie du rapport présente ainsi les scénarios envisagés pour la production agricole, l'évolution des systèmes de production, l'occupation du territoire et les échanges extérieurs.

L'essentiel de la consommation alimentaire passe par une étape de transformation. L'activité des industries agroalimentaires est simulée à l'horizon 2050 afin d'en évaluer l'impact en termes de consommations d'énergie et d'émissions de GES (quatrième partie). Cette étape a fait l'objet d'une analyse détaillée des échanges extérieurs et de leur évolution dans l'esprit de chacun des scénarios.

Les transports de marchandises longue distance sont simulés grâce au modèle TKM-Carbon, étendu pour cet exercice prospectif afin de prendre en compte des choix de contraction ou d'extension du commerce international selon les scénarios. La demande de produits alimentaires décomposée entre production domestique et importations en 2050 sont issues de la modélisation de la production agricole, puis traitées par le modèle TKM-Carbon. Sont présentées les modalités d'évolution des indicateurs nécessaires : niveau d'importations, pays d'origine, modes de transport, progrès technologique, coefficients de consommation d'énergie et d'émissions de GES etc (Partie 5).

La distribution des zones d'origine des importations issues de la modélisation transport est reprise dans le modèle GlobAgri-SISAE afin d'évaluer les surfaces mobilisées pour la production des produits importés, les consommations d'énergie, les émissions de GES à la production et liées au changement d'usage des sols. Ces résultats permettent d'évaluer les empreintes de l'étape agricole du système alimentaire (Partie 6).

Concernant la modélisation du transport de marchandises en ville, un travail a été mené dans le cadre d'un stage, décrivant de manière très complète les problématiques de la logistique urbaine. Cet exercice a permis d'isoler et analyser les denrées alimentaires et leurs spécificités, des autres biens et services transportés. Le modèle Freturb-Silogues en cours de développement et sa mobilisation pour les simulations 2050 sont abordés en Partie 7. Ce travail n'a cependant pas pu être mené à son terme.

Enfin, la huitième partie traite des secteurs tertiaire, résidentiel et mobilité des ménages. Elle présente les enjeux liés au périmètre des usages et consommations d'énergie à considérer, les narratifs des évolutions des pratiques des ménages en matière de restauration et les résultats des simulations associées en termes de consommations d'énergie et d'émissions de GES.

Les résultats globaux des systèmes alimentaires envisagés en 2050 sont présentés en Partie 9 et des éléments de synthèse en Partie 10.

2. Demande alimentaire

2.1. Méthodologie

2.1.1. Définition des assiettes

Les données utilisées pour la définition des assiettes sont issues du projet BioNutriNet conduit dans la cohorte NutriNet-Santé. Entre juin et décembre 2014, un questionnaire de fréquence alimentaire semi-quantitatif (FFQ-bio) pour quantifier les apports alimentaires et en particulier les apports en aliments issus de l'agriculture biologique au cours des 12 derniers mois a été complété par environ 35000 participants de l'étude NutriNet-Santé (151).

Ce questionnaire se base sur un questionnaire de fréquence alimentaire auto-administré dont la reproductibilité et la validité relative ont été testées par rapport à des enregistrements de 24h répétés (152). Le questionnaire proposé aux participants (FFQ-bio) portait sur 264 items courants (boissons et aliments) regroupés en catégories. Pour chaque item, les participants renseignaient la fréquence de consommation (par jour, semaine, mois ou année) ainsi que la quantité généralement consommée au moyen de tailles standards de portions (ex. : mesures ménagères) ou de photos de portions. Les participants renseignaient également la fréquence selon laquelle les items étaient consommés en biologique, via une échelle ordinaire à 5 modalités (jamais, rarement, la moitié du temps, souvent et toujours). Il était précisé que les aliments issus de l'agriculture biologique étaient ceux avec un label de l'agriculture biologique reconnu par l'Union européenne afin de "standardiser" la mesure de la production biologique. Ce qui excluait les aliments autoproduits, par exemple. Pour 6 items n'existant pas en agriculture biologique (les yaourts à l'aspartame, l'eau de source, l'eau minérale, l'eau du robinet, les sodas light et les substituts de viande), la question n'était pas posée. Des pondérations de : 0 ; 0,25 ; 0,5 ; 0,75 et 1 ont été allouées respectivement aux modalités « jamais », « rarement », « la moitié du temps », « souvent » et « toujours » afin d'estimer la part issue de l'agriculture biologique pour chacun des items. L'objectif de ces pondérations était de permettre d'estimer les quantités consommées en agriculture biologique et conventionnelle.

Des analyses de sensibilité ont été réalisées pour tester l'effet du choix arbitraire de ces pondérations. Les résultats montrent un faible impact du choix des pondérations sur la manière de classer les personnes par la consommation de produits issus de l'agriculture biologique (151). Une table de composition des aliments de 3500 aliments français ne distinguant pas les modes de production a été utilisée pour estimer les apports (153). A cet effet, une table de composition nutritionnelle ad hoc a été mise au point, en pondérant les différents aliments possibles pour un item par la fréquence de consommation spécifique au sexe (homme, femme) déclarée par l'ensemble des Nutrinautes dans les enregistrements de 24h.

A partir de ces données, nous avons constitué 6 groupes de consommateurs : petits, moyens, gros consommateurs de viande, pesco-végétariens, végétariens et végétaliens, et ce chez les hommes, les femmes de moins de 55 ans et les femmes de plus de 55 ans car les recommandations nutritionnelles diffèrent selon ces groupes. Des modèles d'optimisation non linéaire ont été mis en œuvre afin de définir pour chaque groupe, un régime journalier en adéquation avec les références nutritionnelles mentionnées dans le tableau ci-dessous et basées sur les données de l'ANSES 2016. Outre les références nutritionnelles à atteindre, le modèle comporte des contraintes d'acceptabilité pour les items alimentaires et 37 groupes alimentaires (seuil haut fixé au 95^{ème} percentile de distribution du groupe). La fonction à optimiser reflète également l'acceptabilité et repose sur la minimisation de la somme des écarts à l'observé au carré standardisés par l'écart-type.

La sortie du modèle consiste en la consommation optimisée des différents items. L'absence de convergence pour certains groupes (hommes végétariens et végétaliens) nous a conduit à introduire de la flexibilité sur certaines contraintes : EPA+DHA pour les végétariens, EPA+DHA et zinc pour les végétaliens. Dans ce cas la fonction à optimiser inclut un terme de minimisation de la distance de l'apport à la référence nutritionnelle (variable de goal).

Dans un second scénario, une nouvelle optimisation est réalisée en introduisant des contraintes supplémentaires sur les consommations à réduire ou de produits importés.

2.1.2. Demande alimentaire de la population

Pour passer des régimes individuels (exprimés généralement en grammes d'aliments par personne et par jour) à une demande alimentaire de la population (exprimée en kilotonnes par an), on procède en plusieurs étapes.

Dans un premier temps, on décrit une situation actuelle à partir des 6 régimes modélisés (petits, moyens, gros consommateurs de viande, pesco-végétariens, végétariens et végétaliens). On rapproche ensuite le régime obtenu, représentatif de la population française, des valeurs statistiques de disponibilité alimentaire fournies par la FAO. Il est nécessaire de passer des aliments ingérés aux denrées alimentaires, appelées *commodités*. On utilise donc une matrice de conversion des régimes alimentaires décrits au format BioNutriNet (pain blanc, crêpe sucrée...), avec 264 aliments, vers la nomenclature des commodités, basée sur une centaine de denrées alimentaires ou agricoles (blé, œufs, lait, sucre...). Entre le format des aliments BioNutriNet et le format *commodités* FAO, nous passons par une table des ingrédients qui composent chacun des aliments (farine, fromage...) pour obtenir les commodités en utilisant des coefficients qui tiennent compte de la perte ou du gain de masse (cuisson, épluchures, etc.). Pour chaque commodité, on obtient ainsi un calcul des quantités consommées par an au niveau national, qu'il est possible de rapprocher des quantités livrées sur le marché. Généralement il existe un écart, qui peut résulter des imprécisions de la méthode, des incertitudes sur la composition des aliments, des régimes réels, mais aussi des surconsommations, pertes et gaspillages tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Cet exercice de comparaison permet de calculer une matrice de conversion permettant de passer des aliments ingérés aux commodités.

Dans un second temps, on cherche à définir des régimes alimentaires futurs. Le processus s'effectue en deux phases : dans la première phase, on cherche à optimiser les 6 régimes observés en ajoutant des contraintes nutritionnelles et en limitant la consommation de produits à fort impact environnemental. Dans une seconde phase, on imagine une évolution des modes de consommation, c'est-à-dire des proportions différentes entre les 6 régimes optimisés. Dans le scénario 1, on vise à augmenter autant que possible la proportion de petits consommateurs de viande, dans le scénario 4, on ne recherche pas cet objectif.

2.2. La demande alimentaire en 2050

2.2.1. L'évolution de la demande alimentaire et ses déterminants

L'évolution de la population suit le scénario de l'INSEE - fécondité basse, soit 69,7 Ms d'habitants sont anticipés en 2050 contre 65,6 aujourd'hui.

Dans tous les scénarios, les pertes et gaspillages sont divisés par 2, avec des voies différentes : en jouant principalement sur les comportements des consommateurs dans le scénario Génération frugale, et sur les technologies dans le scénario Pari réparateur.

2.2.1.1. Scénario tendancier

L'indice de masse corporelle augmente de 5% (tendance), aussi les besoins en protéines et énergie par individu augmentent de 10% et les besoins de l'ensemble de la population de 21% (en tenant compte de la pyramide des âges de 2050). On suppose que la surconsommation en protéines est réduite de 7 points, que la proportion de protéines végétales augmente légèrement, que la consommation de sucre diminue, celle de fruits et légumes augmente, celles d'alcool, de viande, de lait sont stables.

Au final les besoins alimentaires de l'ensemble de la population augmentent selon les productions de 5% (céréales) à 60% (huile) voire doublent (légumineuses), la viande reste stable, seul le sucre étant en diminution (-20%).

2.2.1.2. Scénario Génération frugale

La demande alimentaire est soumise à de fortes contraintes : on vise une autonomie maximale, une dépendance minimale, une forte résilience, avec des circuits d'approvisionnement plus courts et moins dépendants aux transports internationaux. La consommation de protéines animales diminue fortement, à 52%, tandis que dans

le même temps la surconsommation de protéines passe de 59% à 26%, afin de gagner de l'espace et passer sur des systèmes extensifs à très bas niveau d'intrants.

La réussite des politiques en matière de santé publique se traduit par une réduction de l'indice de masse corporelle (diminution de la prévalence de surpoids et d'obésité), la surconsommation en valeur énergétique comme en valeur protéique diminue sensiblement.

La consommation individuelle de viande est divisée par 3,3, celle de lait par 1,4. L'alimentation comprend une part plus importante de céréales et de légumineuses qui procurent des protéines bon marché faciles à stocker et conserver. La consommation de fruits et légumes augmente peu, on remplace une partie des produits importés par des productions nationales : jus de pomme, poire ou raisin au lieu du jus d'orange, réduction de la consommation de café, du cacao, des fruits tropicaux en général. Les légumes sont des légumes frais de saison ou des conserves, les productions sous serre chauffée sont fortement réduites. La consommation de produits très transformés, du sucre, des alcools, chute au profit d'aliments de base sains, locaux et bon marché.

2.2.1.3. Scénario Coopérations territoriales

La demande alimentaire est proche de celle du scénario Génération frugale, avec une diminution importante de la consommation de produits animaux, sans aller toutefois aussi loin. Les protéines végétales représentent 40%, et la surconsommation de protéines passe à 30%. La consommation individuelle de viande est divisée par 2, celle de lait est réduite d'un quart. Les aliments de base – céréales, huiles, légumineuses – prennent une place importante, mais la consommation de légumes et de fruits est moins contrainte que dans le scénario Génération frugale. La consommation de poisson est divisée par 3, celle de coquillages et crustacés se maintient.

2.2.1.4. Scénario Technologies vertes

Dans le Scénario Technologies vertes, l'indice de masse corporelle diminue, la surconsommation d'énergie de 20%. La surconsommation de protéines est à 32% contre 59% dans le scénario tendanciel. Cela se traduit par une baisse des protéines animales de 10 grammes par jour et par personne. Les niveaux de consommation de céréales, de café, cacao, de lait, d'alcool, d'œuf, d'huile, restent assez proches des niveaux actuels. Les consommations de sucre, d'alcool diminuent. Ceux de légumes et de fruits augmentent d'un quart, aussi bien pour des produits importés (banane, ananas, orange...) que pour des productions locales (oignon, raisin, pomme...). La consommation quotidienne de légumineuses passe de 6 grammes à 27 grammes. La consommation de viande est réduite d'un tiers (un peu plus pour la viande bovine et porcine, un peu moins pour la viande de volaille).

2.2.1.5. Scénario Pari réparateur

La demande alimentaire change peu : l'indice de masse corporelle continue à augmenter, les surconsommations en protéine et en énergie diminuent faiblement, les pertes et gaspillages sont réduits de 50%, la part de protéines animales est stable. La principale différence avec le régime actuel est le remplacement de 10% des protéines animales par des protéines alternatives (essentiellement de la viande de synthèse). La consommation de poisson se maintient grâce à l'aquaculture. La consommation humaine d'insectes reste marginale. La production de viande bon marché (volaille) se développe. La « viande blanche » n'élimine pas la « viande rouge », la demande en viande bovine et ovine diminue peu, de même que la demande en lait, malgré une substitution partielle par des viandes et laits d'origine végétale. La demande en produits tropicaux importés reste soutenue. La part des aliments très transformés diminue légèrement, mais les consommateurs achètent de plus en plus de plats préparés.

2.2.1.6. Scénario SNBC

Le régime alimentaire du scénario SNBC est proche du régime alimentaire du scénario Tendanciel.

2.2.2. Caractérisation des assiettes moyennes selon les scénarios

Les consommations sont présentées en 17 familles d'aliments basés sur le regroupement des 250 aliments du questionnaire.

2.2.2.1. Régimes individuels

Douze régimes alimentaires sont utilisés dans cet exercice pour décrire la demande alimentaire de la population française. Six régimes sont issus de l'observation dans la cohorte BioNutriNet et chacun de ces régimes a fait l'objet, dans un second temps, d'une optimisation visant à atteindre les besoins nutritionnels recommandés en intégrant des jeux de contraintes portant sur la limitation de consommation. Ainsi, pour limiter l'impact de ces assiettes optimisées sur les émissions de gaz à effet de serre au stade agricole et du transport, deux contraintes ont été imposées au modèle :

- une réduction de la consommation de produits animaux, avec en priorité celle de la viande de ruminants,
- une réduction de la consommation des fruits tropicaux importés accompagnée d'une réduction de la consommation de jus d'agrumes.

Le modèle d'optimisation des régimes fonctionne par aliment et mobilise les plus pertinents au sein de groupes pour répondre aux contraintes imposées tout en minimisant l'éloignement aux consommations observées. Le modèle peut ainsi sélectionner des aliments dont la densité nutritionnelle est plus forte, par exemple des fruits plutôt que des jus de fruits. En effet, les jus sont plus riches en sucres et moins riches en fibres donc le modèle les élimine au profit des fruits. Cela contribue à réduire les volumes journaliers consommés sans que cela ait un impact sur les apports nutritionnels.

Dans les Tableau 1 et Tableau 2 les légumineuses sont comptabilisées avec les produits laitiers végétaux et les substituts végétaux à la viande car la composition de ces deux dernières catégories est principalement à base de soja. Les légumes secs et produits à base de soja, en particulier les laits, entremets ou pâtés, constituent une part importante de l'apport en protéines des régimes végétariens et végétaliens.

	Omnivore-1	Omnivore-2	Flexitarien	Pescitarien	Vegetarien	Vegetalien
Produits animaux	515	372	292	238	151	4
Viande bovine et ovine	62	25	9	0	0	0
Viande porcine, charcuteries, abats et autres	73	33	14	0	0	0
Viande volailles	38	18	8	0	0	0
Produits laitiers	291	253	222	190	151	4
Poissons et fruits de mer	52	44	40	48	0	0
Produits végétaux	994	928	1 002	1 316	1 357	1 776
Fruits	341	336	358	419	404	553
Légumes	392	350	378	501	483	571
Légumineuses dont produits à base de soja	32	38	66	162	216	370
Céréales	210	185	180	211	231	256
Huiles	20	19	20	23	23	26
Autres	1 125	1 047	1 056	1 139	972	804
Plats préparés	39	30	24	21	27	23
Café thé chocolat	800	790	836	919	730	592
Alcools	118	89	77	70	59	58
Boissons non alcoolisées	98	79	67	70	99	89
Sucre confiseries chocolat	11	10	9	9	9	9
Autres	59	49	44	49	48	32
Total	2 635	2 347	2 351	2 693	2 480	2 584

Tableau 1 : Les 6 régimes BioNutriNet

	Omnivore-1 optimisé	Omnivore-2 optimisé	Flexitarien optimisé	Pescitarien optimisé	Vegetarien optimisé	Vegetalien optimisé
Produits animaux	264	182	142	104	66	4
Viande bovine et ovine	26	10	4	0	0	0
Viande porcine, charcuteries, abats et autres	32	14	5	0	0	0
Viande volailles	44	20	9	0	0	0
Produits laitiers	136	116	103	78	66	4
Poissons et fruits de mer	26	23	21	26	0	0
Produits végétaux	705	868	1 112	1 352	1 533	1 247
Fruits	155	149	149	181	183	299
Légumes	298	355	393	470	525	283
Légumineuses dont produits à base de soja	72	142	348	536	585	433
Céréales	156	197	201	138	204	215
Huiles	24	26	22	27	35	17
Autres	459	436	511	596	493	463
Plats préparés	16	20	26	28	63	56
Café thé chocolat	153	164	255	331	210	279
Alcools	72	67	61	57	51	26
Boissons non alcoolisées	132	93	82	92	66	68
Sucre confiseries chocolat	9	7	5	10	10	9
Autres	77	85	81	78	92	24
Total	1 427	1 487	1 765	2 051	2 092	1 715

Tableau 2 : Les 6 régimes BioNutriNet optimisés

2.2.2.2. Régimes à l'échelle de la population métropolitaine

Afin de passer des régimes individuels aux régimes moyens à l'échelle de la population totale métropolitaine, on adopte pour chaque scénario des hypothèses d'adoption de chacun de ces 12 régimes. On considère que la population actuelle se répartit entre 57% en Omnivore-1, 29% en Omnivore-2, 10% en Flexitarien², les 4% restant se partageant entre Pescitariens, Végétariens et Végétaliens.

Dans le scénario tendanciel, on suppose que les ¾ de la population conservent leurs habitudes alimentaires, et 1/4 passent sur la version « optimisée » : ainsi 25% des adeptes du régime Omnivore-1 choisissent en 2050 le régime Omnivore-1-optimisé. Dans le scénario Pari réparateur, considéré comme celui où les comportements évoluent assez peu, on adopte les mêmes hypothèses que dans le Scénario tendanciel. Dans le Scénario Technologies vertes, on vise une réduction de la consommation de viande de 30%. La matrice de passage est présentée dans le Tableau 3. Les changements de régimes sont plus substantiels dans le Scénario Coopérations territoriales, qui vise une division par deux de la consommation de viande (Tableau 4).

Technologies vertes	Omnivore-1	Omnivore-2	Flexitarien	Pescitarien	Vegetarien	Vegetalien	Total
Omnivore-1	35	0	0	0	0	0	20
Omnivore-2	0	35	0	0	0	0	10
Flexitarien	0	0	35	0	0	0	4
Pescitarien	0	0	0	35	0	0	0
Vegetarien	0	0	0	0	35	0	1
Vegetalien	0	0	0	0	0	35	0
Omnivore-1 optimisé	58	0	0	0	0	0	33
Omnivore-2 optimisé	7	45	0	0	0	0	17
Flexitarien optimisé	0	10	55	0	0	0	8
Pescitarien optimisé	0	0	0	65	0	0	1
Vegetarien optimisé	0	10	10	0	65	0	5
Vegetalien optimisé	0	0	0	0	0	65	1

Tableau 3 : Pondération des assiettes dans le Scénario Technologies vertes

Clé de lecture : 35% des Omnivores-1 actuels conservent leur régime, ils sont 58% à choisir le Omnivore-1-optimisé, et 7% à passer sur le Omnivore-2-optimisé.

² Par convention, nous utilisons le terme « flexitarien » pour les régimes comportant moins de 50g de viande par jour et par personne.

Coopérations territoriales	Omnivore-1	Omnivore-2	Flexitarien	Pescitarien	Vegetarien	Vegetalien	Total
Omnivore-1	26	0	0	0	0	0	15
Omnivore-2	0	25	0	0	0	0	7
Flexitarien	0	0	25	0	0	0	3
Pescitarien	0	0	0	25	0	0	0
Vegetarien	0	0	0	0	25	0	1
Vegetalien	0	0	0	0	0	25	0
Omnivore-1 optimisé	25	0	0	0	0	0	14
Omnivore-2 optimisé	25	35	0	0	0	0	24
Flexitarien optimisé	19	30	55	0	0	0	25
Pescitarien optimisé	0	0	0	75	0	0	1
Vegetarien optimisé	5	10	20	0	75	0	9
Vegetalien optimisé	0	0	0	0	0	75	1

Tableau 4 : Pondération des assiettes dans le Scénario Coopérations territoriales

Enfin ces changements sont majeurs dans le Scénario Génération frugale (Tableau 5), qui mise sur une sobriété maximale, avec un changement de régimes alimentaires pour 90% de la population, et 30% de la population adoptant des régimes sans viande.

Génération frugale	Omnivore-1	Omnivore-2	Flexitarien	Pescitarien	Vegetarien	Vegetalien	Total
Omnivore-1	10	0	0	0	0	0	6
Omnivore-2	0	10	0	0	0	0	3
Flexitarien	0	0	10	0	0	0	1
Pescitarien	0	0	0	0	0	0	0
Vegetarien	0	0	0	0	0	0	0
Vegetalien	0	0	0	0	0	0	0
Omnivore-1 optimisé	20	0	0	0	0	0	11
Omnivore-2 optimisé	20	20	0	0	0	0	17
Flexitarien optimisé	30	40	40	0	0	0	33
Pescitarien optimisé	0	0	0	100	0	0	1
Vegetarien optimisé	20	20	30	0	100	0	22
Vegetalien optimisé	0	10	20	0	0	100	6

Tableau 5 : Pondération des assiettes dans le scénario Génération frugale

On obtient ainsi les régimes moyens à l'échelle de la population totale pour les différents scénarios étudiés.

	Tendanciel	Génération frugale	Coopérations territoriales	Technologies vertes	Pari réparateur	SNBC-2019
Produits animaux	383	167	237	287	383	360
Viande bovine et ovine	37	10	18	26	37	35
Viande porcine, charcuteries, abats et autres	45	13	23	32	45	42
Viande volailles	29	14	21	28	29	29
Produits laitiers	231	111	148	170	231	216
Poissons et fruits de mer	41	19	27	31	41	39
Produits végétaux	945	1 114	1 006	919	945	934
Fruits	298	185	205	223	298	279
Légumes	369	398	379	358	369	364
Légumineuses dont produits à base de soja	64	311	205	130	64	78
Céréales	194	196	193	185	194	191
Huiles	21	25	24	23	21	21
Autres	930	542	632	683	930	869
Plats préparés	31	35	29	27	31	29
Café thé chocolat	639	273	354	395	639	579
Alcools	95	63	74	80	95	91
Boissons non alcoolisées	96	86	92	102	96	98
Sucre confiseries chocolat	10	8	8	9	10	9
Autres	60	78	75	71	60	63
Total	2 258	1 823	1 875	1 889	2 258	2 163

Tableau 6 : Consommation alimentaire journalière moyenne selon les scénarios

3. Production agricole

3.1. Modélisation du système agricole

3.1.1. L'outil MOSUT

Le système agricole est modélisé à l'aide de l'outil MoSUT (Modèle systémique d'utilisation des terres) développé par SOLAGRO³.

MoSUT permet d'ajuster l'offre et la demande en tenant compte de l'évolution des différents systèmes productifs et des besoins en denrées alimentaires et non alimentaires issues de la biomasse agricole et forestière. Il peut tenir compte également d'hypothèses sur les échanges internationaux.

Il s'agit d'un modèle **biophysique** de **rétroprospective** ("backcasting"), qui permet d'identifier une ou plusieurs trajectoires possibles pour atteindre un ensemble d'objectifs fixés au préalable. L'exercice est **itératif** avec un ajustement des hypothèses et des résultats. Il est **ascendant** ("bottom-up") c'est-à-dire que les systèmes productifs futurs sont imaginés à partir de systèmes représentatifs actuels (des "fermes-type") projetés à l'horizon 2050 par l'intégration de pratiques agronomiques et d'évolutions techniques clairement identifiées et documentées dans la littérature scientifique et technique.

3.1.2. Précisions sur certains indicateurs clé

Certains indicateurs utilisés ci-dessous dans la description des scénarios appellent des précisions.

Espaces peu anthropisés : cet indicateur désigne la surface cumulée d'espaces naturels, de forêts, d'infrastructures agroécologiques, de prairies permanentes. Il exclut donc les surfaces artificialisées et les terres cultivées.

Rendement en « blé pur » : il s'agit de la production de blé tendre en tonnes de blé sec par hectare. Ce rendement prend en compte le fait que les infrastructures agroécologiques ou la présence de cultures associées diminuent la production de blé ; il dépend également des pratiques (fertilisation) et de la technique (génétique). Il s'agit d'un indicateur qui offre un repère pratique mais très partiel, aussi il est complété par le « rendement global », plus significatif mais plus théorique.

Rendement global : le rendement global exprime la quantité totale de biomasse produite par hectare de terre agricole, cultures et prairies. Cette notion est plus proche de celle de coefficient de rendement équivalent, qui permet de mesurer la production d'une surface agricole non seulement du point de vue de la « culture principale » (par exemple le blé tendre) mais aussi du point de vue plus global en comptabilisant également les cultures associées, les cultures intermédiaires et les productions éventuelles de bois par l'agroforesterie et les infrastructures agroécologiques.

Les **effectifs d'animaux** sont ici indiqués en cheptels présents : nombre de mères pour les vaches laitières et les vaches allaitantes, les brebis et les chèvres, nombre de places de porcs charcutier, de poulets de chair, de canards, de dindes et de poules pondeuses.

L'indice de consommation exprime la quantité d'aliment consommé pour produire un kg de poids vif. Cet indicateur est utilisé pour les monogastriques (porcs, poulets). Cet indicateur mesure une forme d'efficacité de l'alimentation, un IC en diminution signifie qu'il faut moins de grain pour produire une même quantité de viande. Mais ce gain d'efficacité s'effectue en général au détriment du bien-être animal, et un IC en augmentation signifie généralement, dans cet exercice, une amélioration du bien-être animal (durée de vie plus longue, plus d'espace disponible, accès à l'extérieur) et de la qualité.

³ Le modèle MoSUT est décrit en détail dans deux rapports pilotés par SOLAGRO : Solagro, Oréade Brèche, ISL, **Facteur 4 Agriculture Forêt**, Rapport final, Décembre 2011, pour l'ADEME. S. Doublet, C. Couturier, M. Charru, **Afterres2050 : les déclinaisons régionales**. Rapport final, Janvier 2016, avec le soutien de l'Ademe, de la FPH et des régions Centre, Picardie, Ile-de-France, Rhône-Alpes. Il est également décrit dans la brochure Afterres2050, en ligne, qui reprend et actualise la description méthodologique de MoSUT.

(https://afterres2050.solagro.org/wp-content/uploads/2015/11/Solagro_afterres2050-v2-web.pdf).

La **quantité totale d'azote exporté** est la quantité d'azote contenue dans l'ensemble des productions agricoles, grains, fourrages, herbe, paille. Il s'agit d'un indicateur proche de la valeur en protéine de la production agricole primaire (végétale).

Le **surplus d'azote** est la différence entre l'ensemble des apports d'azote au sol, et l'ensemble des exportations par les cultures ou l'herbe. Le surplus d'azote est un indicateur de pollution potentielle (nitrate, ammoniac).

Dans les **échanges internationaux**, les flux indiqués sont des flux nets par produit, c'est-à-dire le solde entre la production et la demande intérieure.

Les **émissions de gaz à effet de serre** sont fournies au format « CLIMAGRI », elles incluent non seulement les émissions directes du secteur agricole (fermentations entérique, gestion des déjections d'élevage, émissions de protoxyde d'azote liées à l'utilisation des fertilisants azotés), mais également les émissions directes liées à la production des intrants (principalement les engrais et l'énergie).

L'**empreinte climatique** est calculée comme la différence entre les émissions territoriales ajoutée du contenu GES des importations agricoles, et déduction faite du contenu GES des exportations agricoles. Les émissions CLIMAGRI sont des émissions territoriales qui représentent la production, l'empreinte traduit la consommation agricole en valeur GES.

Les **taillis à courte rotation et les plantes énergétiques pérennes** (comme le miscanthus ou la canne de Provence par exemple) sont des cultures lignocellulosiques utilisables pour la production de matériaux ou d'énergie.

3.2. Le scénario tendanciel

3.2.1. Principes généraux

Le scénario tendanciel est conçu en extrapolant les principales tendances actuelles à l'horizon 2050. Il est basé sur l'observation des tendances que l'on peut établir à partir des statistiques disponibles sur ces 20 dernières années. Il est destiné à permettre des comparaisons avec une situation proche de la situation actuelle, mais avec les paramètres communs à l'ensemble des scénarios : croissance de la population, impact du changement climatique sur les rendements par exemple. Il est en effet préférable de comparer les scénarios non à la situation actuelle mais à la situation projetée en 2050.

3.2.2. L'occupation du territoire

La SAU perd 3,7 millions d'hectares dont 2,9 de terres arables, sous l'effet notamment de l'artificialisation qui en gagne 2,1, et au profit également de la forêt qui progresse de 1,7 Mha, gagnés sur les terres arables, sur les landes et sur les prairies. La plupart des cultures voient leurs surfaces diminuer (700.000 ha pour le blé tendre, 400.000 ha pour le maïs fourrage, 900.000 ha pour les prairies temporaires de graminées). Celles qui progressent légèrement sont le soja, les protéagineux, les cultures légumières. Par ailleurs 100.000 ha de prairie dite productive voient leurs rendements chuter sous l'effet du climat et passent dans la catégorie « prairies peu productives ».

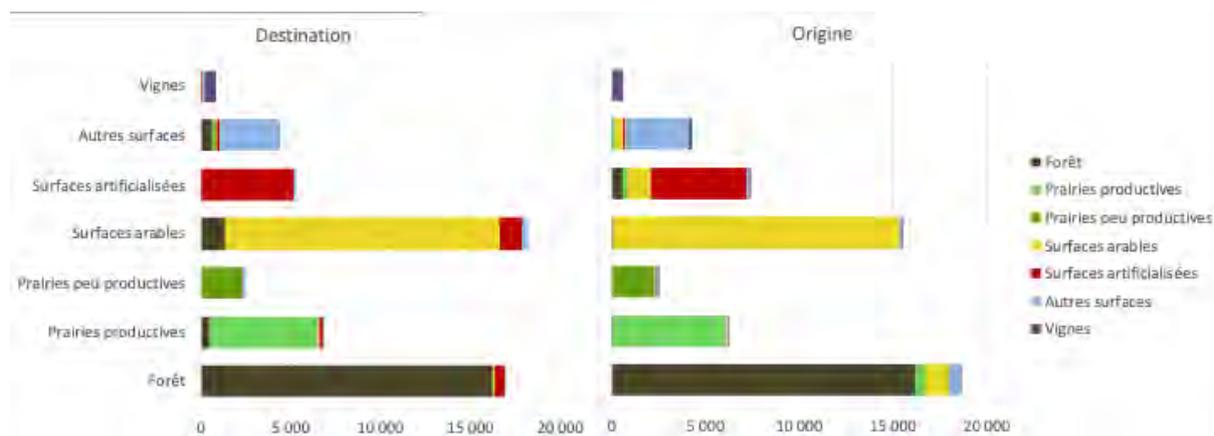


Figure 1 : Surfaces (milliers d'hectares)

Lecture du graphique : le graphique de gauche indique les surfaces actuelles par grande catégorie (forêt, prairies productives, etc.) et leur destination, par exemple ici sur les 18 Mha de terres arables actuelles, environ 1 Mha sont convertis en forêt et 1 Mha en surfaces artificialisées. Le graphique de droite indique les surfaces futures par grande catégories, avec leur origine, par exemple ici la forêt gagne 2 Mha dont 1 Mha sur les terres arables et le reste sur les prairies et sur les autres surfaces (landes).

3.2.3. Les productions agricoles

Les systèmes de culture évoluent vers une part un peu plus importante d'agriculture biologique qui représente 12% des surfaces, et la production intégrée ou l'agriculture de conservation des sols. Le rendement global reste stable, le rendement en blé diminue de 6,8 à 6,6 t/ha.

Les surfaces irriguées augmentent de 50% : les surfaces de maïs irrigué se maintiennent, celles des grandes cultures passent à 0,5 Ma et les surfaces irriguées en fruits et légumes à 0,8 Mha. La consommation d'eau augmente de 32%, la part estivale se maintient au niveau actuel. Ce sont donc les nouvelles surfaces irriguées qui contribuent à la hausse des consommations.

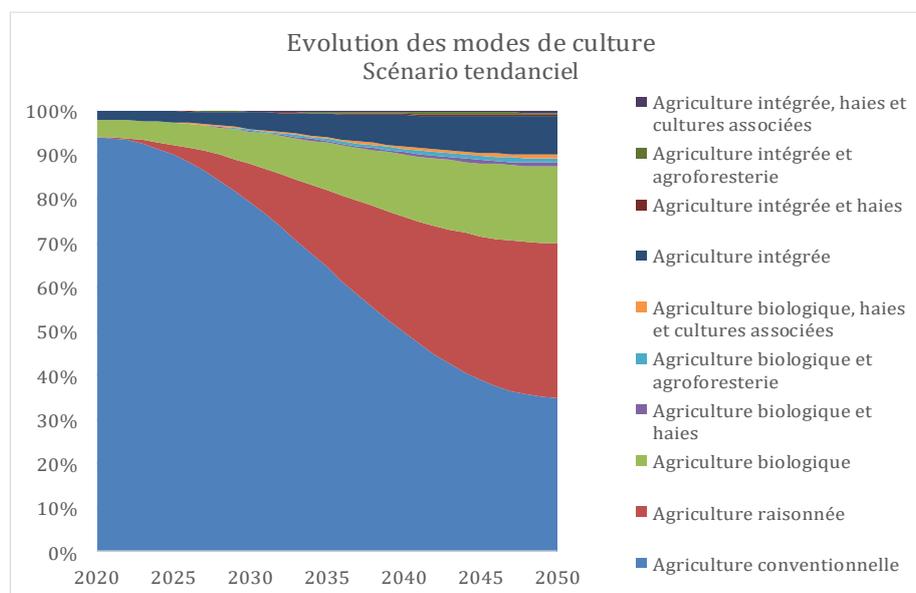


Figure 2 : Evolution des modes de cultures

Les effectifs de vaches laitières sont réduits de 40%, ceux de vaches allaitantes se maintiennent. La productivité en lait augmente de 26% à 8.300 litres sous l'effet d'une intensification qui reste relativement modérée, et du progrès génétique et technique en général.

L'évolution des cheptels des monogastriques est contrastée : réduction de 40% des effectifs porcins, de 25% des dindes, progression de 40% des poulets de chair, de 70% des canards, de 9% des poules pondeuses. L'indice de consommation des poulets de chair augmente légèrement de 3,05 à 3,3 kg de concentrés par kg de carcasse, car les productions sous signe de qualité augmentent significativement (40% des effectifs).



Figure 3 : Cheptels, en milliers de places ou d'effectifs présents

Lecture du graphique : le graphique vise à représenter les évolutions des cheptels à la hausse ou à la baisse, avec des ordres de grandeur différents pour chaque cheptel. Ici par exemple on indique les effectifs des vaches laitières en 2050 (2107 milliers de têtes) et la diminution par rapport à aujourd'hui (1483 milliers). Inversement les effectifs de poules pondeuses sont de 58315 milliers de têtes, et augmentent de 5428 milliers de têtes d'ici 2050.

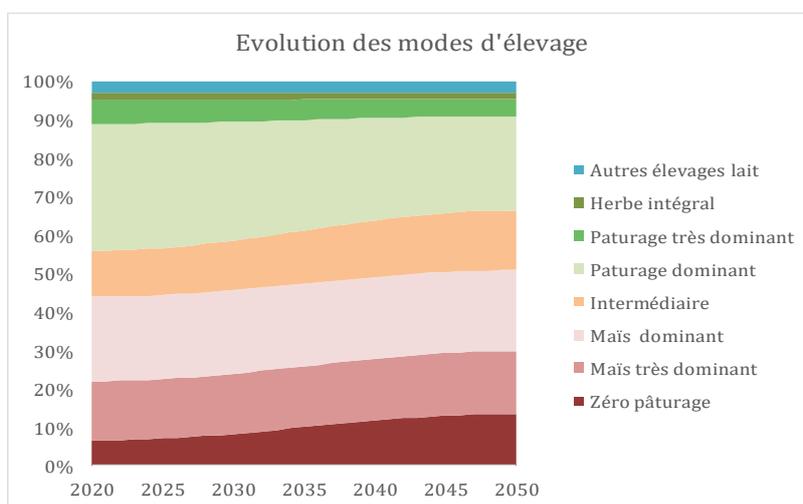


Figure 4 : Évolution des modes d'élevage (exemple des bovins lait)

Grâce au progrès technique et une meilleure maîtrise de la fertilisation, la consommation d'engrais minéraux diminue de 26%. Ceux-ci ne fournissent que les trois-quarts des apports primaires d'azote, et l'azote apporté par fixation symbiotique augmente de 35%. La quantité totale d'azote exporté diminue de 14% sous l'effet de la baisse des rendements. Le solde au sol est stable, en revanche les émissions d'ammoniac sont divisées par 2, grâce à l'amélioration des pratiques de fertilisation et la diminution du cheptel ruminant.

3.2.4. Les échanges internationaux

La France reste excédentaire en céréales, par contre elle devient légèrement déficitaire en lait, sous l'effet de la forte réduction du cheptel qui ne s'est pas accompagnée d'une évolution similaire de la demande. De même, elle devient fortement déficitaire en viande bovine et en viande porcine. Le solde déficitaire en viande ovine se maintient. Les exportations de viande de volaille, en revanche, augmentent. Au total le déficit en viande passe

d'une situation excédentaire de 240 kt (quasi équilibre pour la viande bovine et porcine et fort excédent en viande de volaille) à un déficit considérable de près d'un million de tonnes, soit 20% de la production. Côté fruits et légumes, la hausse de la consommation ne s'est pas accompagnée d'une hausse de la production, qui stagne, d'où une forte augmentation du déficit.

3.2.5. Les émissions de gaz à effet de serre

Les émissions territoriales de gaz à effet de serre atteignent 64 MteqCO₂, elles sont réduites de 30% par rapport à aujourd'hui et de façon similaire pour les trois gaz (CH₄, N₂O, CO₂). Le poste « fabrication de l'azote » est divisé par 2.

La valeur GES des importations augmente significativement, elle double pour atteindre 33 MteqCO₂, alors que la valeur GES des exportations est presque divisée par 2, passant de 18 à 10 MteqCO₂. Aussi la valeur de l'empreinte ne diminue que de 10%, elle atteint 100 MteqCO₂, soit 1440 kgeqCO₂ par habitant.

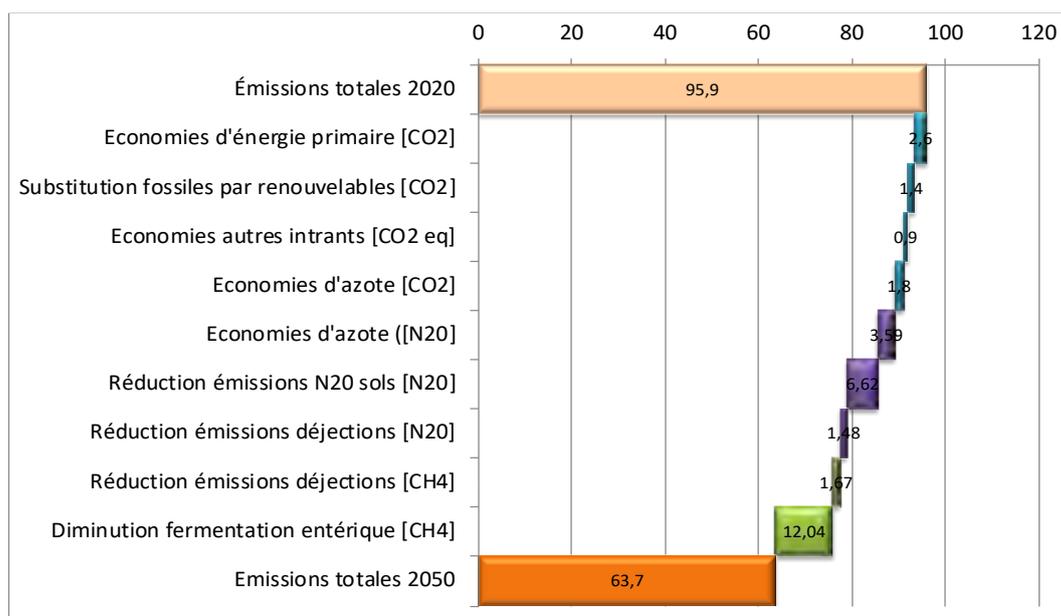


Figure 5 : Évolution des émissions territoriales de GES du secteur agricole entre 2020 et 2050 (millions de tonnes équivalent CO₂)

Format CLIMAGRI incluant les émissions directes (périmètre ferme) et indirectes (intrants), hors importations pour l'alimentation animale (comptées dans le calcul de l'empreinte du système agricole et alimentaire, incluant aussi les importations et exportations pour l'alimentation humaine).

3.2.6. Les bioénergies

La production de bioénergies d'origine agricole* représente 70 TWh, en légère hausse de 20%. Les biocarburants 1G sont réduits de 20% (28 TWh) ; le biogaz progresse à 20 TWh, et les résidus de culture utilisés comme combustibles ou pour la production de carburants 2G augmentent à 14 TWh.

Les émissions évitées par les bioénergies atteignent 13 MteqCO₂ soit un quart des émissions du secteur agricole.

3.3. Le scénario Génération frugale

3.3.1. Principes généraux

Le scénario Génération frugale repose sur un changement majeur de comportement pour une économie maximale de ressources. L'alimentation est basique : elle repose sur une très large substitution des protéines

animales par des céréales et légumineuses (la consommation de viande est réduite de 70%), une diminution des légumes hors saison et une substitution des importations de fruits par des productions locales. Les modes de production sont beaucoup plus extensifs et mobilisent peu d'intrants. Les surfaces d'espaces naturels et de forêt progressent de façon importante et gagnent globalement près de 4 millions d'hectares.

3.3.2. L'occupation du territoire

La forêt gagne 2,9 millions d'hectares par conversion de prairies, de terres arables et par évolution spontanée des landes et friches. Les surfaces artificialisées ne progressent pas, au contraire elles perdent près d'un demi-million d'hectares au profit principalement des espaces naturels. Ceux-ci progressent globalement et gagnent sur les terres arables, du fait de la déprise agricole et d'actions volontaires de restauration des écosystèmes.

Les terres arables voient leur surface diminuer au profit de la forêt, des espaces naturels et semi-naturels, et sont en outre maillées par des infrastructures agroécologiques occupant 5% des terres arables, l'ensemble constituant une très vaste trame verte. Les réserves naturelles intégrales voient leur surface augmenter considérablement.

Les prairies temporaires voient leur surface divisée par 3 au profit des cultures de céréales et d'oléoprotéagineux, des fruits et des légumes. De nouvelles cultures font leur apparition grâce au changement climatique, par exemple l'oranger (et les agrumes en général), l'amandier et le sésame dans les régions méditerranéennes ou le coton dans le Sud-Ouest.

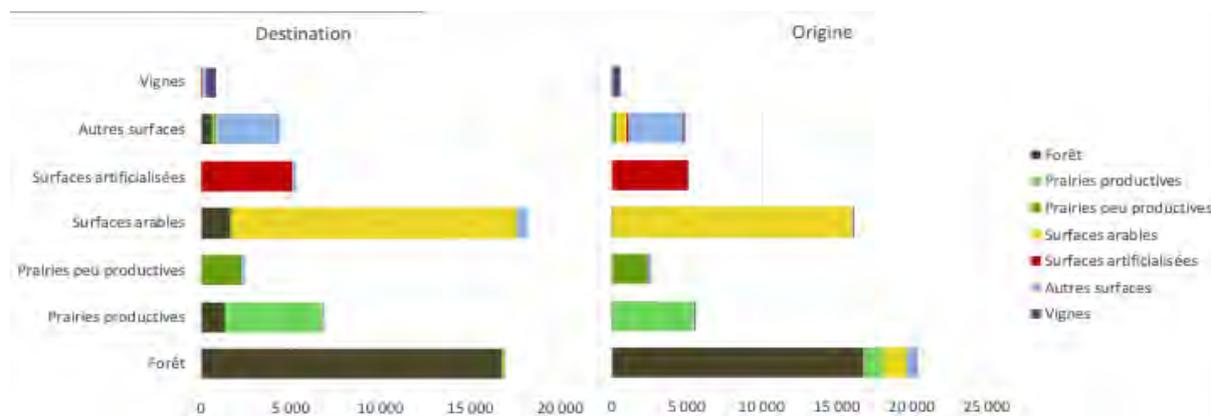


Figure 6 : Surfaces (milliers d'hectares)

Clé de lecture : voir figure 1.

3.3.3. Les productions agricoles

Les productions agricoles passent intégralement en production biologique (70%) ou sous des formes proches (30%), qui consomment très peu d'intrants : la consommation d'azote minéral est fortement diminuée, celle de pesticides de synthèse également. Le rendement en blé diminue d'un tiers, les infrastructures agroécologiques occupent 5% de la sole arable. Le rendement global progresse toutefois de 14% grâce au développement notamment des cultures intermédiaires, des cultures associées et de l'agroforesterie.

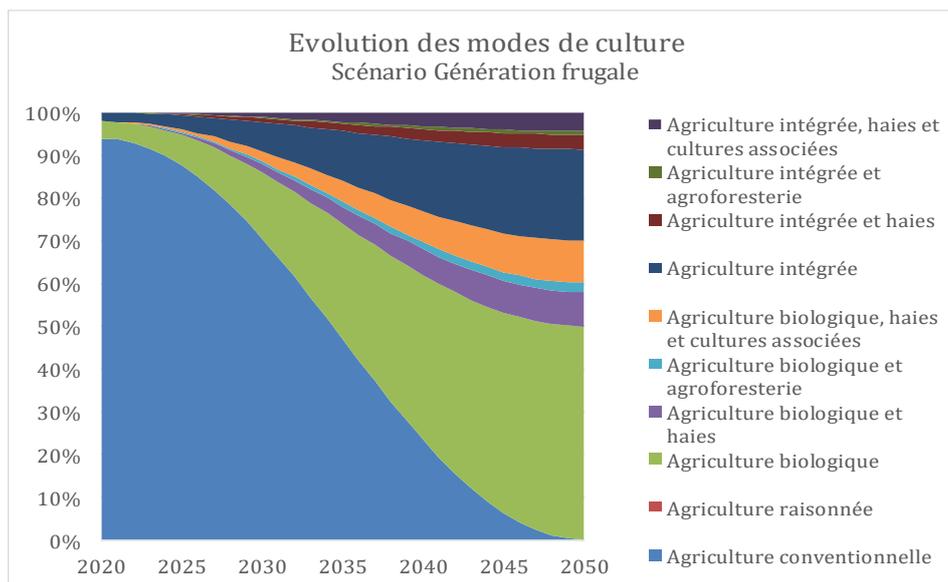


Figure 7 : Évolution des modes de cultures (exemple des céréales)

Les cheptels animaux diminuent fortement : notamment les cheptels bovins (division par 2) et porcins. Pour les cheptels bovins, c'est la diminution de la consommation de lait et de viande qui est le moteur principal de l'évolution, ainsi que la désaffection pour ces types de production. Pour le cheptel porcin, ce sont en outre des questions nutritionnelles (préconisations de diminution importante de la charcuterie). La production d'œufs se maintient, les autres productions de viande blanche diminuent un peu.

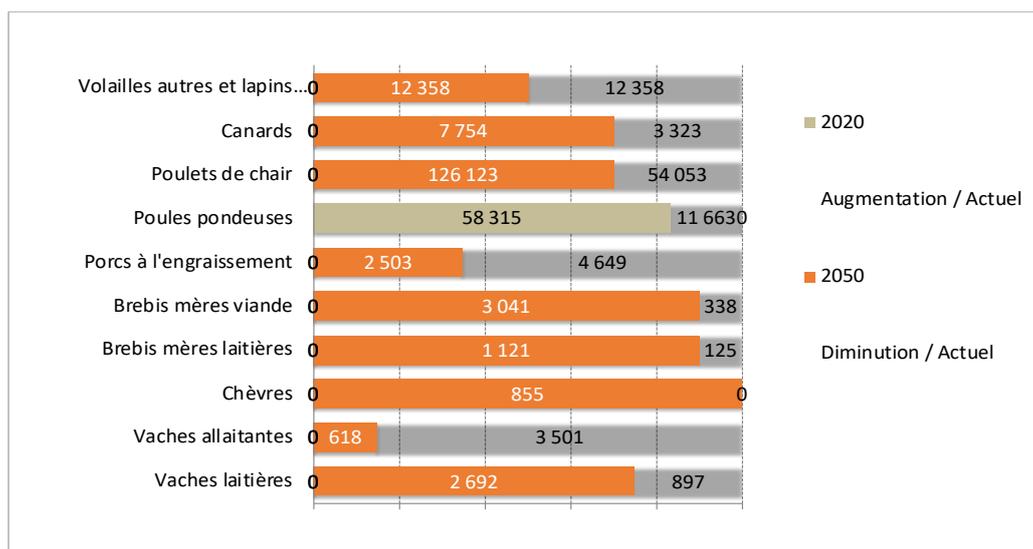


Figure 8 : Évolution des cheptels (milliers de places ou d'effectifs présents)

Clé de lecture : voir figure 2.

Les cheptels ruminants sont nettement plus herbagers, les systèmes en herbe intégral ou avec très peu de concentrés représentent la moitié des cheptels. Les systèmes intensifs, notamment le zéro pâturage, disparaissent. Les systèmes intensifs en monogastriques sont entièrement éliminés au profit des productions sous label.

La production fourragère diminue sensiblement avec la presque disparition des productions fourragères sur terres arables (maïs et autres cultures fourragères, prairies temporaires ou artificielles), qui sont remplacées par des céréales et oléoprotéagineux et les légumes, et avec la diminution des prairies naturelles. Elle est suffisante pour alimenter les cheptels de ruminants avec un solde excédentaire qui permet de faire face aux aléas climatiques.

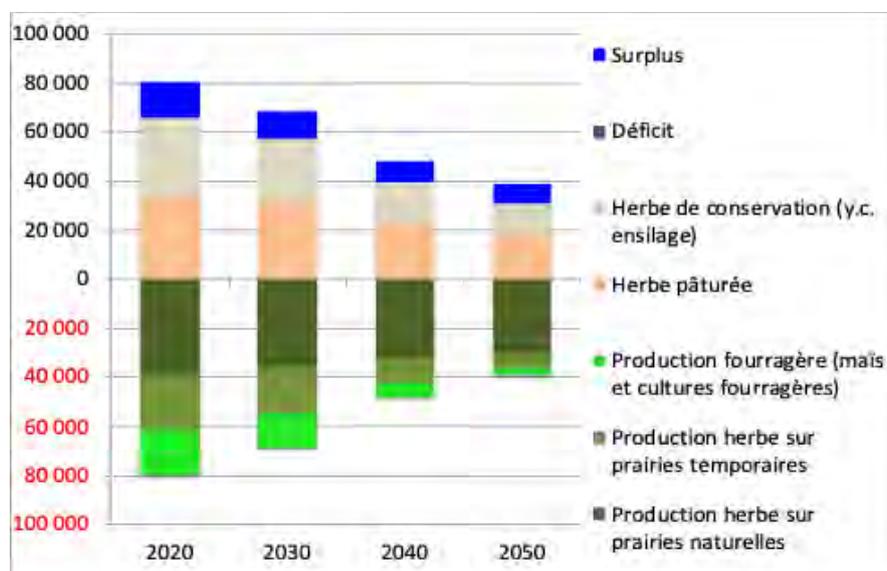


Figure 9 : Évolution du bilan fourragère (milliers de tonnes de matières sèches)

Lecture du graphique : ce bilan d'approvisionnement en fourrages indique d'une part les ressources (herbes et fourrages produits par les prairies naturelles, les prairies temporaires et les cultures fourragères), et d'autre part leur emploi (sous forme d'herbe pâturée ou conservée en ensilage ou en foin). Le bilan permet de faire apparaître des possibles surplus ou déficits.

Le volume d'eau consommé pour l'irrigation s'élève à 1,7 milliards de m³, dont 0,4 pour les cultures d'été. Les surfaces irriguées diminuent de 1,7 à 1,4 millions d'hectares, dont près de 60% pour les fruits et légumes.

Les exportations d'azote* augmentent de 14% à 4,6 MtN. La consommation d'azote minéral est réduite de 40%. La fixation symbiotique est multipliée par 1,6 et dépasse les apports d'engrais azotés minéraux. Les émissions d'ammoniac sont réduites de 72%. Le solde azote est réduit de 31% à 22 kg/ha de SAU.

La consommation d'énergie finale est réduite de 47%. Les surfaces de serres chauffées sont réduites de plus de 80%.

3.3.4. Les échanges internationaux

Les productions actuellement excédentaires le restent encore en 2050 pour la plupart des productions. La France continue à exporter des quantités importantes de céréales, car la demande en céréales pour le bétail a diminué presque autant que la production. Le solde exportateur de la viande reste à peu près à l'équilibre, la production s'étant adaptée à la demande. Celui du lait devient faible, car la productivité a nettement diminué (5.800 litres en moyenne) tout comme celui des pommes de terre. En revanche le pays a pratiquement conquis son autonomie pour les légumes, et le solde importateur de fruits a très nettement diminué grâce à la substitution d'une partie des fruits d'origine tropicale par des productions locales et par le développement de nouvelles productions.

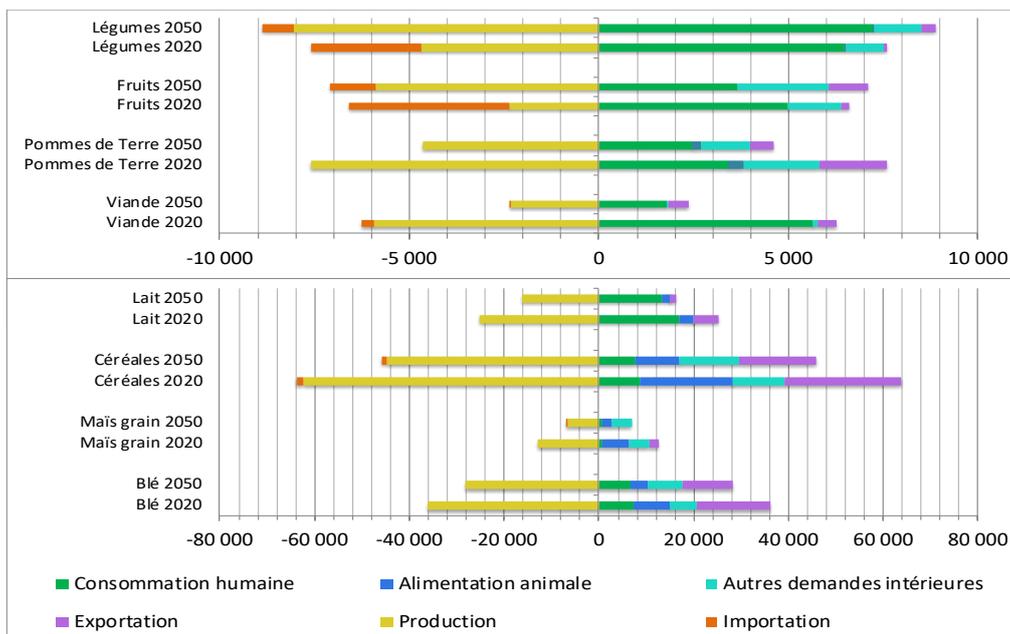


Figure 10 : Bilan d'approvisionnement pour une sélection de produits

Lecture du graphique : les ressources sont constituées de la production et des importations, et les emplois de la demande intérieure et des exportations, la demande intérieure étant elle-même constituée de la demande en alimentation humaine, en alimentation animale, et les autres demandes englobent les semences, les transformations, les usages industriels, les pertes.

3.3.5. Les émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre atteignent 40 MteqCO₂ en 2050, soit une réduction de 58%. La valeur GES des importations a diminué, plus que la valeur GES des exportations, d'où une empreinte de 34 Mt soit une réduction de l'empreinte par habitant de 66%.

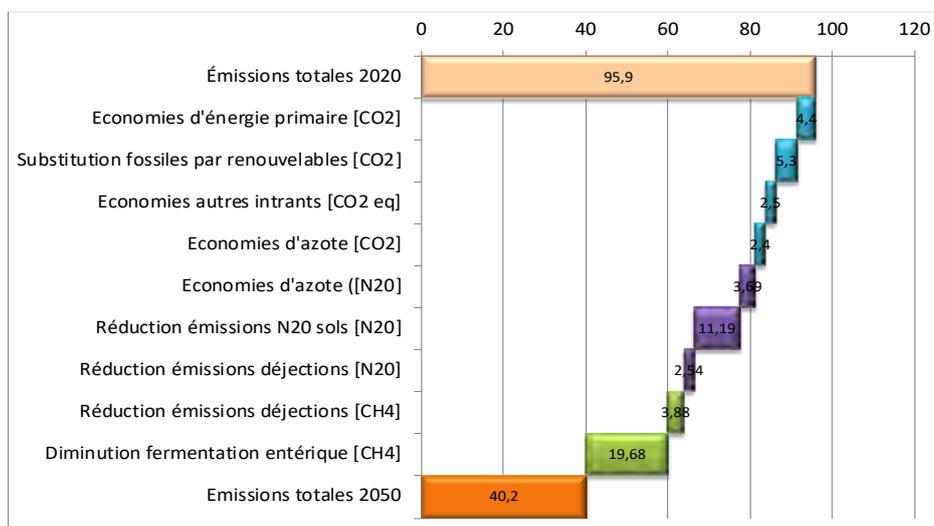


Figure 11 : Évolution des émissions territoriales de GES du secteur agricole entre 2020 et 2050 (Mteq CO₂)

Clé de lecture : voir figure 3.

3.3.6. Les bioénergies

Les productions de biocarburants liquides augmentent de 10% (stabilité pour le biodiesel et doublement pour l'éthanol). La production de bois énergie issu de l'agroforesterie et des arbres hors forêt en général augmente sensiblement. La production de biogaz atteint 73 TWh. Les taillis à courte rotation et les plantes énergétiques pérennes occupent 500.000 ha.

La valeur GES des bioénergies d'origine agricole s'élève à 26 MteqCO₂ et compense 60% des émissions de l'agriculture.

3.4. Le Scénario Coopérations territoriales

3.4.1. Principes généraux

Le Scénario Coopérations territoriales mise sur une modification significative des régimes alimentaires et un développement important de l'agriculture biologique et de la production intégrée. Il va moins loin dans les changements de comportement (division par 2 de la consommation de viande) et dans la remise en cause des modes de production (50% en agriculture biologique et 50% en production intégrée).

3.4.2. L'occupation du territoire

La forêt gagne un million d'hectares par évolution spontanée des landes et de prairies. Les surfaces artificialisées sont contenues et ne gagnent que 300.000 ha. Les cultures fourragères régressent de 2 millions d'hectares au profit des grandes cultures, des légumes et des fruits (multiplication par 2,5 : les surfaces de maraîchage et d'arboriculture passent de 450.000 ha à 1,3 million d'hectares) tandis que la vigne régresse.

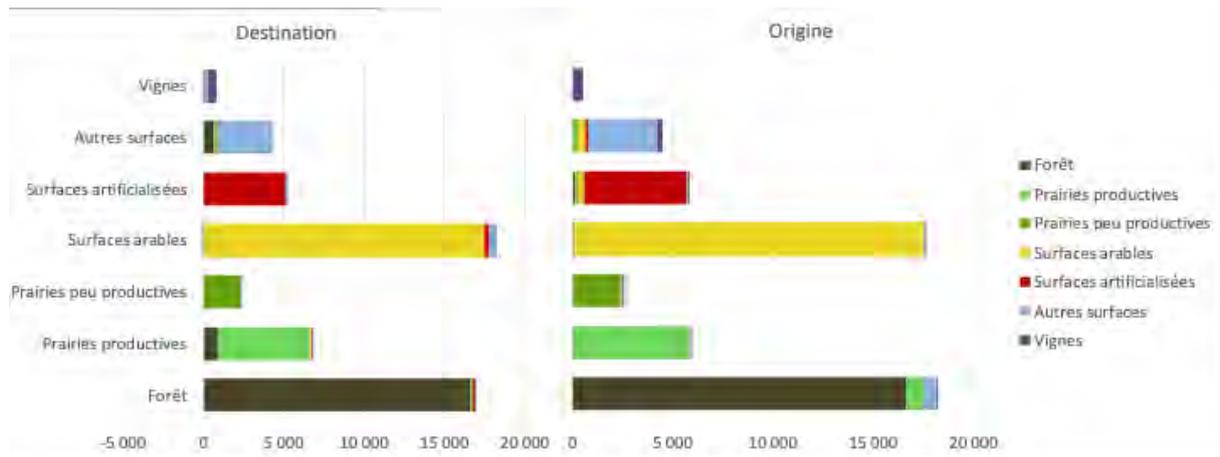


Figure 12 : Surfaces (milliers d'hectares)

Clé de lecture : voir figure 1.

3.4.3. Les productions agricoles

L'agriculture biologique occupe 50% des surfaces des terres arables et la production intégrée 50%. Le rendement en blé est de 5,0 t/ha. Le rendement global augmente de 14%.

Les différents cheptels diminuent parallèlement à la diminution de la demande. Le déclin est très marqué pour les bovins viande et pour la production porcine. Le cheptel bovin lait est réduit d'un quart. Le nombre de poulets de chair diminue peu, celui des poules pondeuses se maintient.

Comme dans le scénario Génération frugale, les élevages bovins sont nettement plus herbagers qu'aujourd'hui, les systèmes sans pâturage disparaissent, les systèmes intensifs basés sur les cultures fourragères et les concentrés diminuent en proportion, au profit des systèmes plus voire intégralement herbagers. La productivité en lait diminue à 6.000 litres. Le bilan fourrager est largement excédentaire, ce qui contribue grandement à la résilience des élevages bovins.

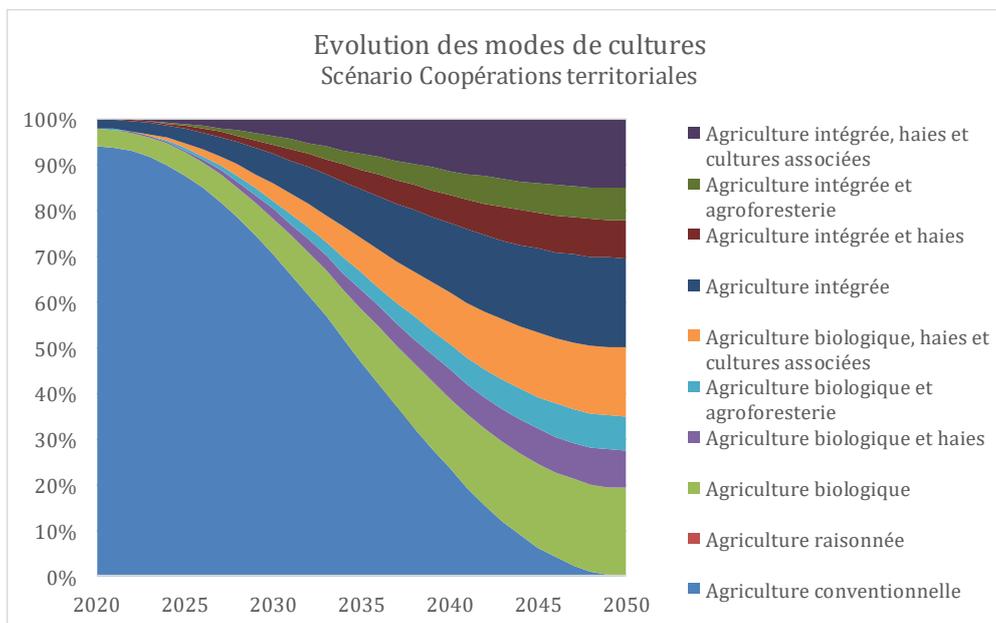


Figure 13 : Évolution des modes de cultures (exemple des céréales)

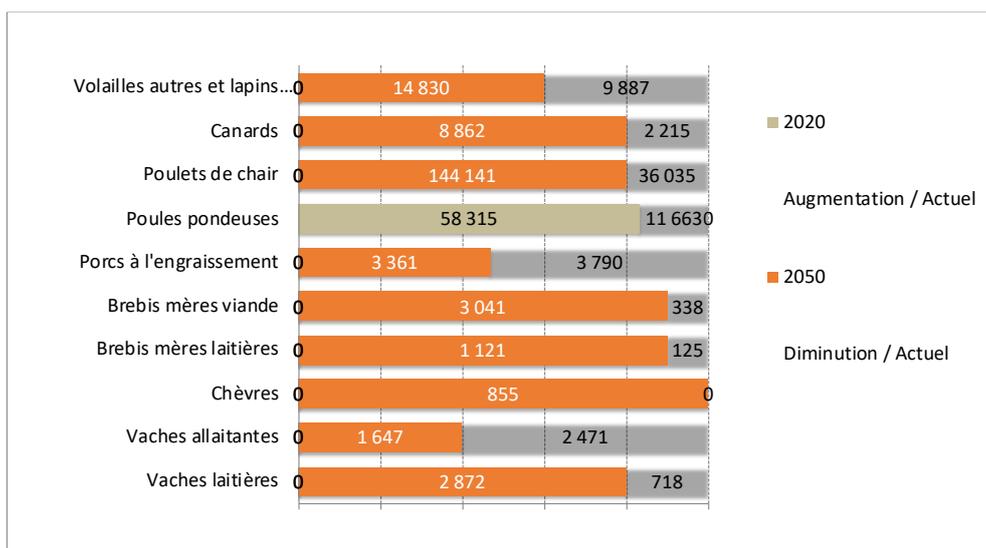


Figure 14 : Évolution des cheptels (milliers de places ou d'effectifs présents)

Clé de lecture : voir figure 2.

En monogastriques, les productions passent largement sous label qualité : 60% en AB pour le poulet de chair et 20% sous label, 20% certifié : les systèmes en cage ont été complètement éliminés. L'indice de consommation passe de 3 kg de grain consommé par kg de carcasse produite à 4,5 kg en 2050.

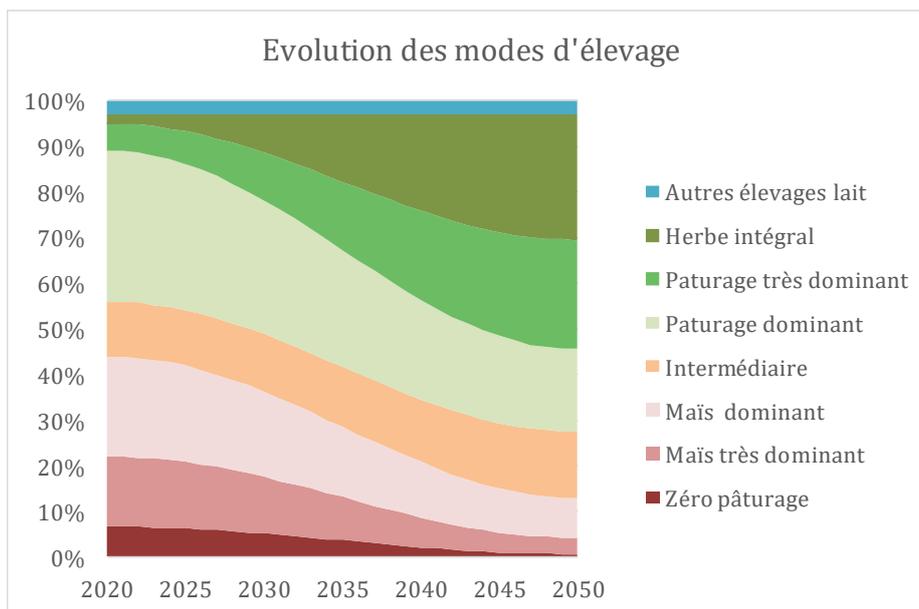


Figure 15 : Évolution des modes d'élevage

Approvisionnement des animaux : concentrés - milliers de tonnes de MS

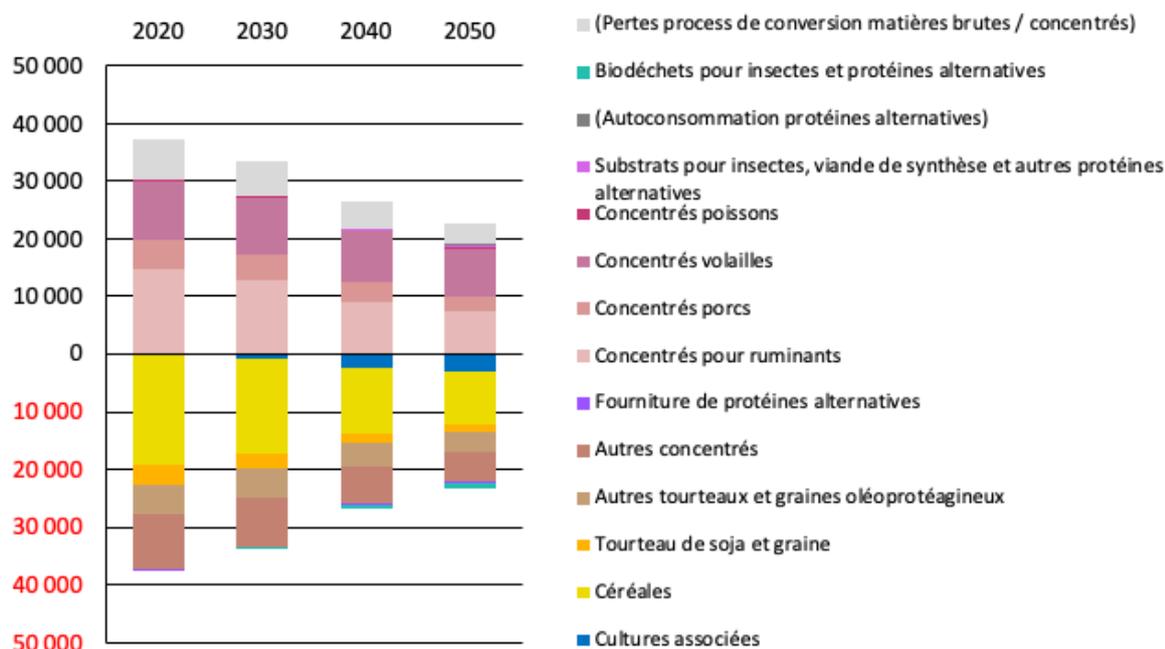


Figure 16 : Bilan des concentrés pour l'alimentation animale

Les surfaces irriguées augmentent à 2 millions d'hectares : les surfaces irriguées pour les fruits et légumes doublent et atteignent 1 million d'hectares. Les surfaces irriguées en grande culture restent stables, la diminution des surfaces en maïs est compensée par l'augmentation des surfaces irriguées en céréales. Au total, le volume d'eau consommé pour l'irrigation diminue légèrement à 2,2 milliards de m³, dont 0,8 pour les cultures d'été, soit une division par 2,5.

Les émissions d'ammoniac sont de 195.000 tonnes. La consommation d'énergie finale est de 48 TWh, celle d'azote minéral de 800.000 tonnes.

3.4.4. Les échanges internationaux

La France reste excédentaire pour ses principales productions, sauf pour les exportations de lait qui deviennent négligeables. La production de légumes couvre presque la demande intérieure. Le solde importateur en fruits diminue d'un quart.

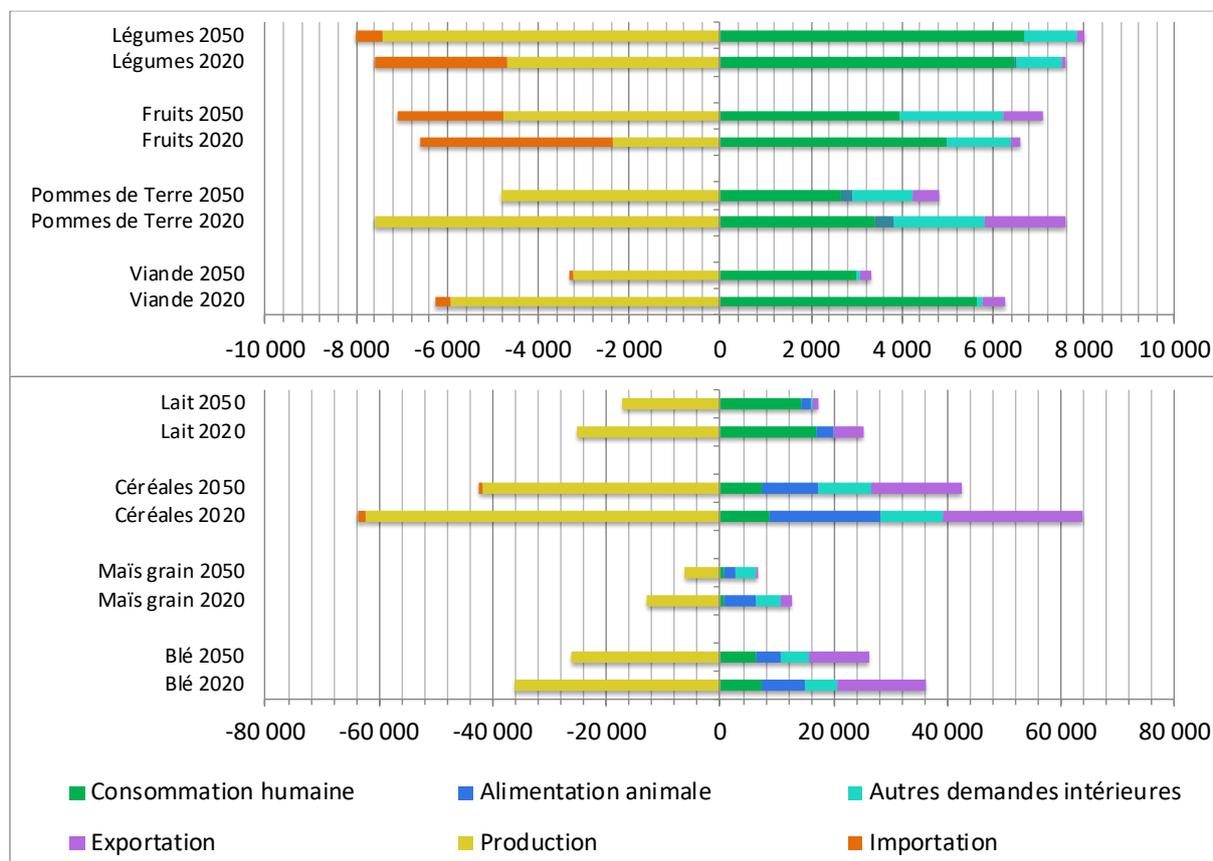


Figure 17 : Bilan d'approvisionnement pour une sélection de produits

Lecture du graphique : les ressources sont constituées de la production et des importations, et les emplois de la demande intérieure et des exportations, la demande intérieure étant elle-même constituée de la demande en alimentation humaine, en alimentation animale, et les autres demandes englobent les semences, les transformations, les usages industriels, les pertes.

3.4.5. Les émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre sont divisées par 2,5 et diminuent à 44 MteqCO₂. Le solde des importations et des exportations exprimées en GES varie peu, aussi l'empreinte suit la même évolution.

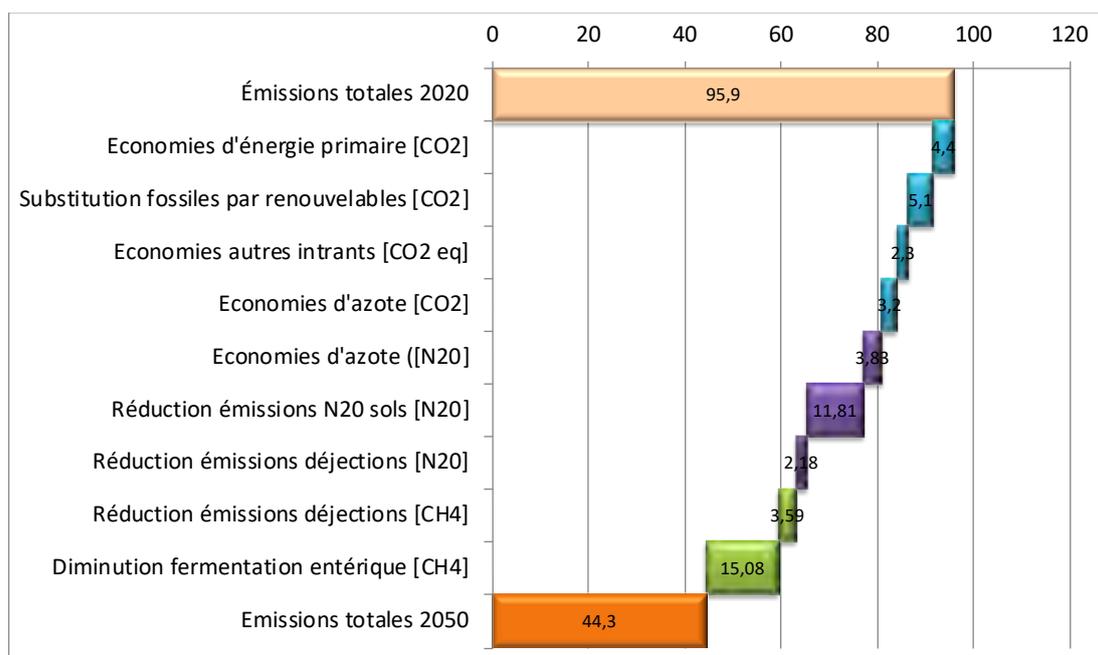


Figure 18 : Évolution des émissions territoriales de GES du secteur agricole entre 2020 et 2050 (millions de tonnes équivalent CO₂)

Clé de lecture : voir figure 3.

3.4.6. Les bioénergies

Les productions de biocarburants 1^{ère} génération sont divisées par 2. La méthanisation d'origine agricole – principalement issue de cultures intermédiaires et de déjections d'élevage – approche 80 TWh. La biomasse solide - bois énergie issu des haies, de l'agroforesterie et des « arbres hors forêt » en général, résidus de culture - atteint 40 TWh. S'y ajoute la production de matières lignocellulosiques issues de 500.000 ha de TCR et plantes pérennes.

La valeur GES des bioénergies d'origine agricole s'élève à 27 MteqCO₂ et compense 60% des émissions de l'agriculture.

3.5. Le Scénario Technologies vertes

3.5.1. L'occupation du territoire

Les surfaces artificialisées progressent de 800.000 ha, la forêt de 2,5 millions d'hectares. Celle-ci progresse à partir des prairies naturelles (1,4 Mha), des terres arables (0,9 Mha), notamment des cultures fourragères qui perdent 1,5 Mha ; et des landes (0,6 Mha). Les cultures maraîchères gagnent 120.000 ha, l'arboriculture 110.000 ha, la vigne en perd 130.000. La SAU recule de 3,7 Mha et les terres arables de 1,9 Mha. Les espaces naturels gagnent 320.000 ha. Les espaces peu anthropisés gagnent au total 3,3 Mha.

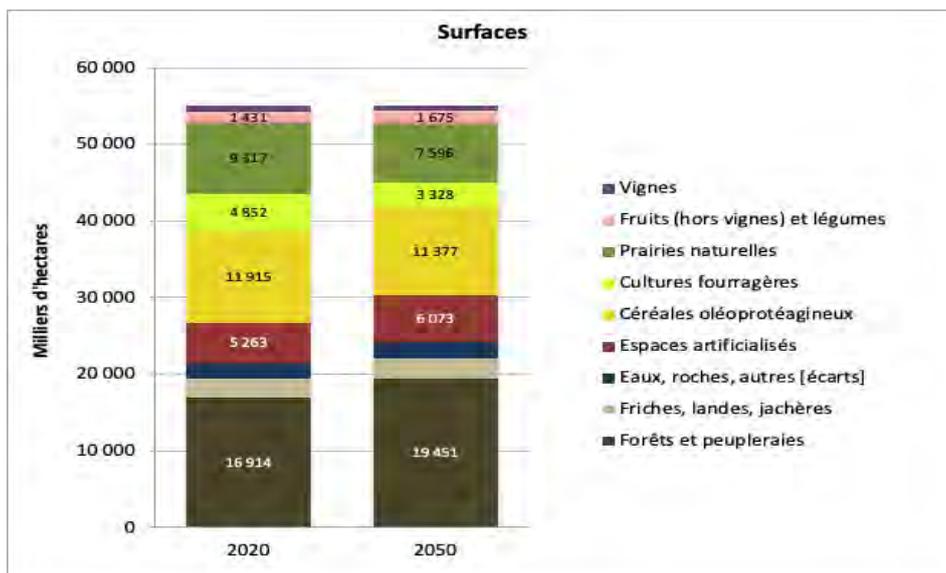


Figure 19 : Évolution des surfaces (milliers d'hectares)

3.5.2. Les productions agricoles

Les cultures sont menées pour 50 % en production intégrée, 20 % en agriculture biologique et pour 30 % en agriculture conventionnelle ou raisonnée. Le rendement global augmente de 13 %, le rendement en blé pur est de 6,7 t/ha.

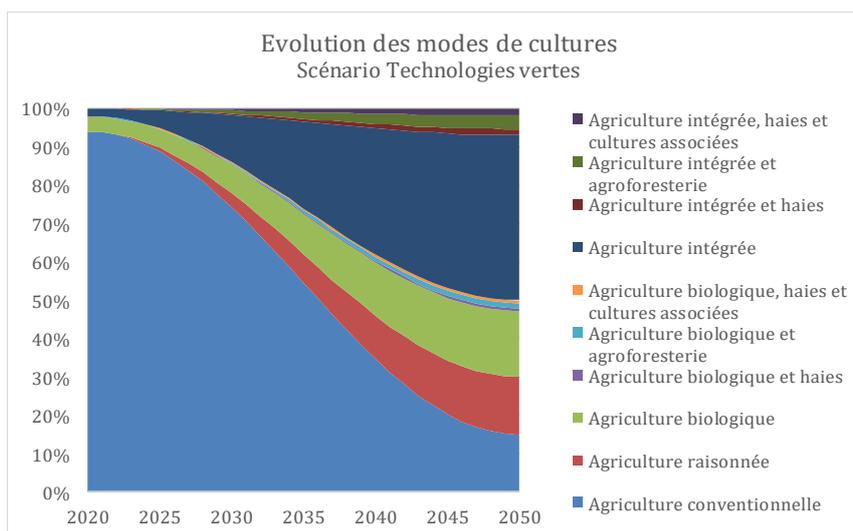


Figure 20 : Évolution des modes de cultures (exemple des céréales)

Les cheptels évoluent en fonction de la demande. Les effectifs de bovin lait diminuent de 25% car la demande (intérieure et pour l'exportation) de lait diminue, la productivité augmente. Les systèmes de production évoluent de façon différenciée : le troupeau plutôt herbager le devient beaucoup plus (7% des effectifs en herbe intégrale), le troupeau plus intensif le devient encore plus (10% des effectifs en non pâturage). La productivité en lait passe à 7.400 litres.

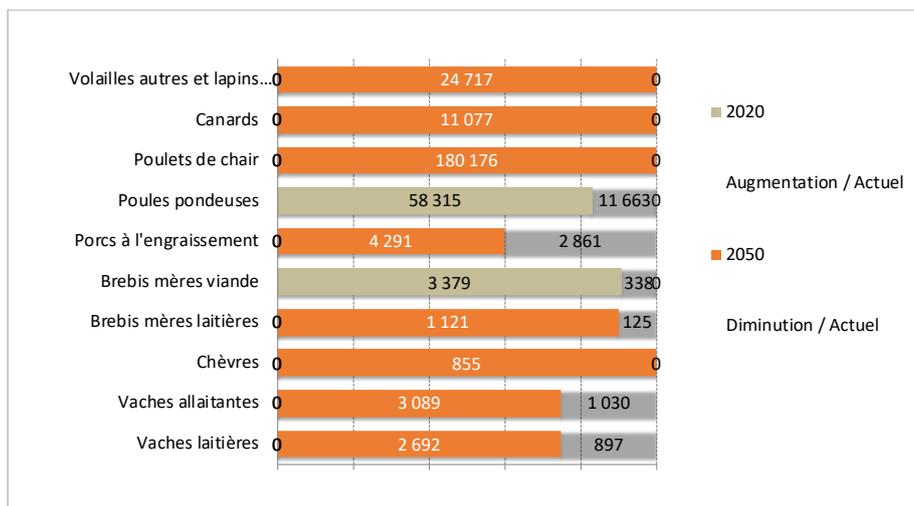


Figure 21 : Évolution des cheptels (milliers de places ou d'effectifs présents)

Clé de lecture : voir figure 2.

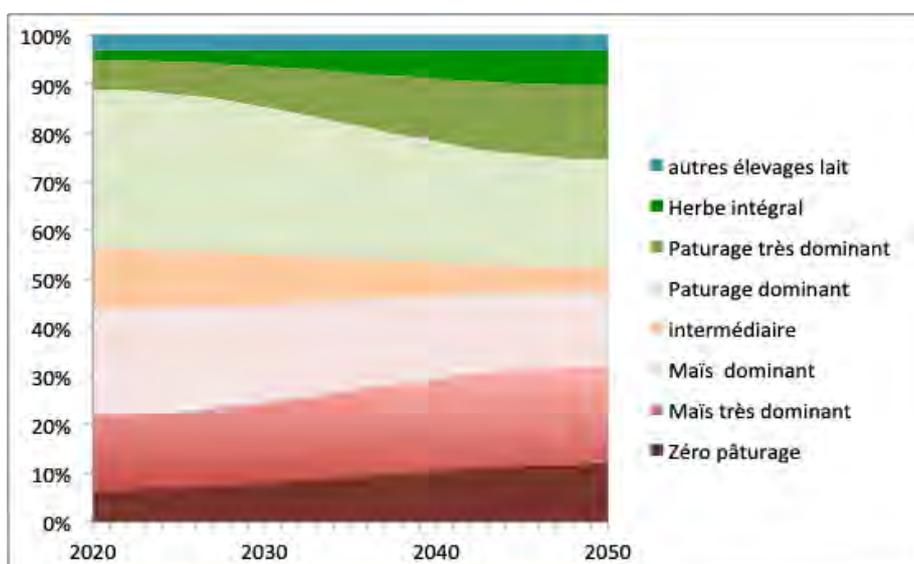


Figure 22 : Évolution des modes d'élevage (exemple des bovins lait)

Les systèmes monogastriques évoluent massivement vers des productions bio (30% pour le poulet de chair) ou sous signe de qualité (50% de label ou de poulet certifié), mais une partie de la production reste intensive (30% pour le poulet de chair, 70% pour le porc). L'indice de consommation pour les poulets de chair passe de 3 kg de concentrés par kg de carcasse produite à 4 kg.

Le bilan fourrager est à l'équilibre avec un surplus correct.

Les surfaces irriguées dépassent 2,6 Mha, dont 0,5 pour les céréales, 0,8 pour le maïs (qui se maintient pour satisfaire la demande en ensilage et en aliments pour le bétail), et 0,9 pour les fruits et légumes, soit un doublement par rapport à aujourd'hui. La consommation d'eau augmente légèrement, avec une diminution de 30% des volumes prélevés en été.

Les exportations d'azote augmentent de 11%. La consommation d'azote minéral est réduite de 30%. La fixation symbiotique est multipliée par 3. Les émissions d'ammoniac sont réduites de 66% et le solde d'azote au sol est réduit de 28%.

La consommation d'énergie finale est réduite de 33%. Les surfaces de serres chauffées restent inchangées.

3.5.3. Les échanges internationaux

Dans une stratégie de compétitivité et de spécialisation, la France continue à miser sur ses principales exportations et à importer les produits agricoles manquant. Elle reste fortement exportatrice de céréales, de viande de volaille et de lait. Le déficit en fruits et légumes n'augmente pas, car la hausse de la demande est compensée par la hausse de la production.

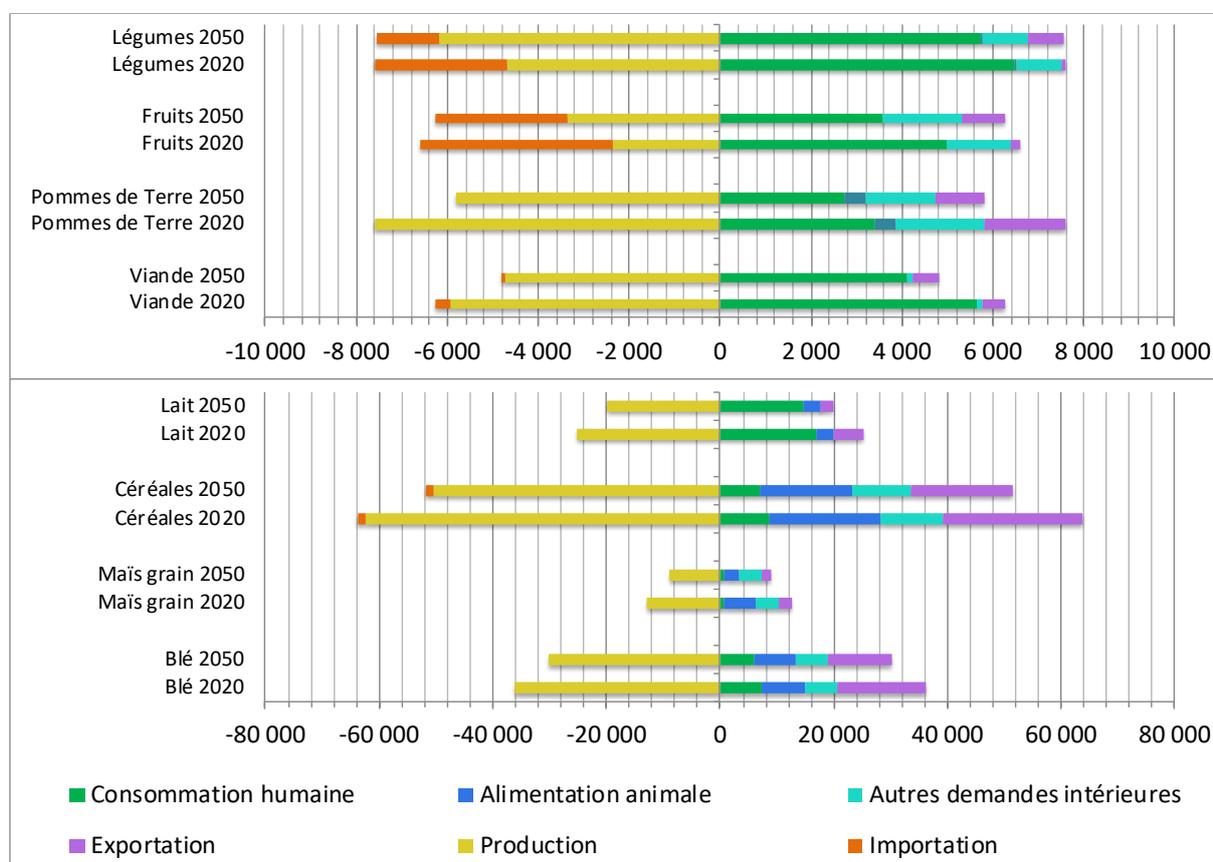


Figure 23 : Bilan d'approvisionnement pour une sélection de produits (milliers de tonnes)

Lecture du graphique : les ressources sont constituées de la production et des importations, et les emplois de la demande intérieure et des exportations, la demande intérieure étant elle-même constituée de la demande en alimentation humaine, en alimentation animale, et les autres demandes englobent les semences, les transformations, les usages industriels, les pertes.

3.5.4. Les émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre sont de 60 MteqCO₂, dont 27 pour le CH₄, 22 pour le N₂O et 10 pour le CO₂. En termes de postes, les émissions directes comptent pour 52 MteqCO₂, dont 16 par les sols et 27 pour les fermentations entériques, et les émissions indirectes 8 MteqCO₂.

La valeur GES des exportations diminue un peu plus que celle des importations, et l'empreinte se situe à 56 MteqCO₂. L'empreinte par habitant est de 803 kgeqCO₂.

Le gain le plus important provient de la diminution des fermentations entérique, elle-même due à la réduction du cheptel de ruminants. Le second poste de réduction est celui des émissions de N₂O au niveau des sols, ce qui est dû à une meilleure maîtrise de l'efficacité de l'azote et à une moindre volatilisation d'ammoniac, due aussi en partie à la réduction des cheptels. Enfin la décarbonation de l'énergie et des autres intrants, et les économies d'énergie, comptent pour le quart du total.

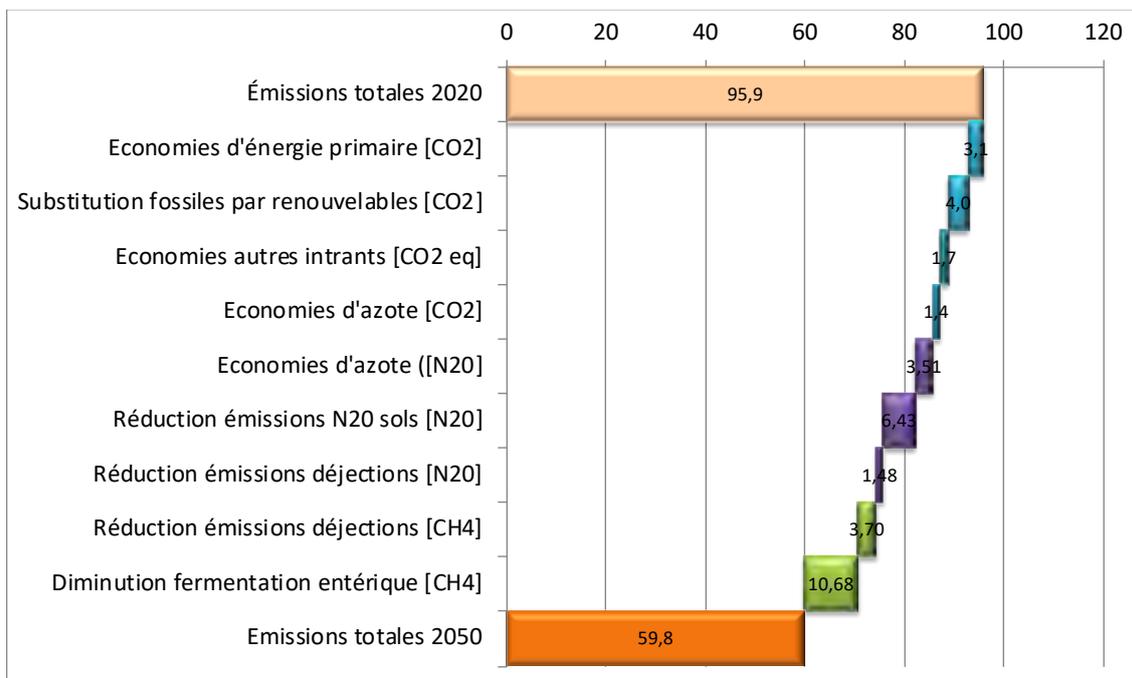


Figure 24 : Évolution des émissions territoriales de GES du secteur agricole entre 2020 et 2050 (millions de tonnes équivalent CO₂)

Clé de lecture : voir figure 3.

3.5.5. Les bioénergies

Les bioénergies d'origine agricole (hors forêt et industries du bois) doublent et représentent 154 TWh, dont 113 TWh de biogaz, 28 TWh de biocarburants 1G, et 13 TWh, 13 TWh de biocombustibles solides (bois énergie issu des haies, de l'agroforesterie et des arbres hors forêt).

La valeur GES des bioénergies d'origine agricole s'élève à 31 MteqCO₂ et compense la moitié des émissions de l'agriculture.

3.6. Le Scénario Pari réparateur

3.6.1. Principes généraux

Le Scénario Pari réparateur repose sur l'innovation technique et un moindre effort de la part des consommateurs. La principale évolution du régime alimentaire est l'importance prise par les foodtech et la viande de synthèse, mais qui ne représente encore qu'une faible part de l'alimentation. De même la production d'insectes à partir de biodéchets se développe en parallèle avec l'aquaculture et les élevages de volaille. La production fait appel à toutes les solutions des agtech, sans modification en profondeur des systèmes et des modèles actuels. La France continue à importer et exporter, sans chercher d'ajustements entre la demande et la production qui évoluent de manière indépendante.

3.6.2. L'occupation du territoire

La forêt progresse légèrement, principalement par évolution spontanée d'espaces naturels (landes) et de prairies inexploitées. La principale évolution est l'augmentation des surfaces artificialisées qui s'effectue essentiellement au détriment des terres arables.

Toutes les surfaces agricoles sont occupées car nécessaires : le niveau de la demande ne diminue pas car du côté de la demande, les évolutions (mineures) dans l'alimentation sont effacées par l'augmentation de la population ; du côté de la production les rendements stagnent, car le progrès technique parvient juste à compenser les

effets du changement climatique. La répartition des surfaces agricoles reste inchangée, les prairies et les terres arables occupent pratiquement la même proportion de la SAU.

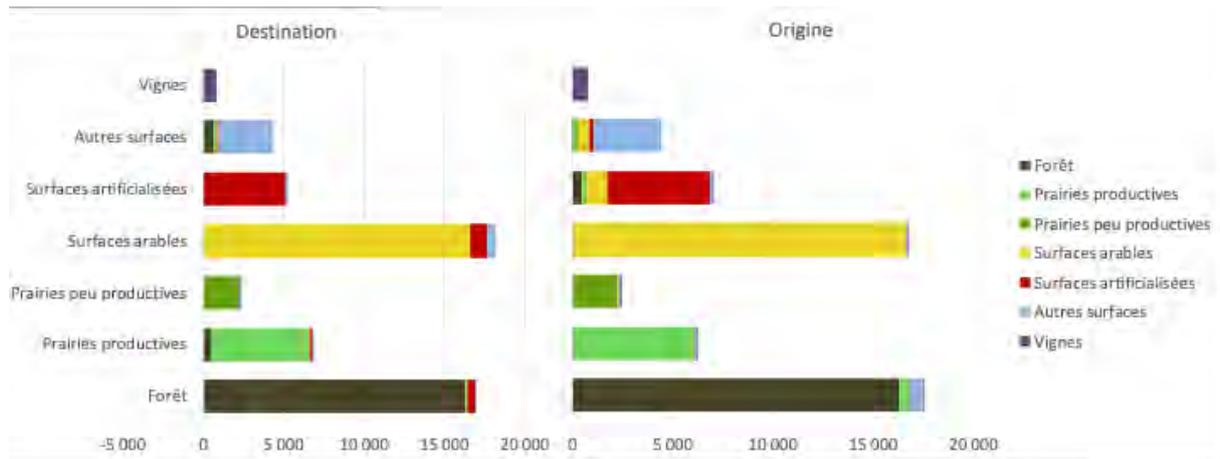


Figure 25 : Surfaces (milliers d'hectares)

Clé de lecture : voir figure 1.

3.6.3. Les productions agricoles

Les productions végétales passent intégralement en agriculture de conservation des sols ou sur des systèmes proches. Ce scénario mobilise de nombreuses technologies – agtech, génétique, agriculture de précision, etc. - qui permettent de gagner 10% de rendement pour un même système par rapport aux autres scénarios, sans intrants supplémentaires. Ainsi le rendement moyen en blé est légèrement supérieur au rendement actuel malgré les effets du changement climatique, alors qu'il diminue de 3 à 27 % dans les autres scénarios. Le rendement global n'augmente cependant que de 8%, ce qui est faible comparé aux autres scénarios (+13 à +25%) qui recourent aux cultures intermédiaires, aux cultures associées et développent des infrastructures agroécologiques, générant ainsi d'importants volumes supplémentaires de biomasse.

Les cheptels se maintiennent dans l'ensemble, sauf pour les vaches laitières, car leur productivité en lait dépasse 10.000 litres, contre 5.800 litres dans le scénario Génération frugale. Les systèmes laitiers deviennent plus intensifs : un tiers du cheptel est en zéro pâturage, les systèmes très pâturants disparaissent quasiment au profit des systèmes basés sur les cultures fourragères et les tourteaux. Au total la production de lait augmente bien que le cheptel diminue.

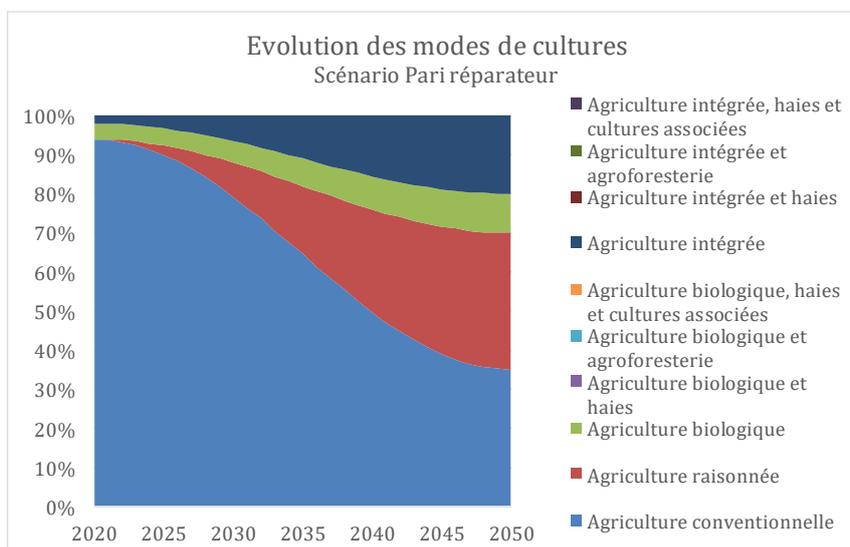


Figure 26 : Évolution des modes de cultures

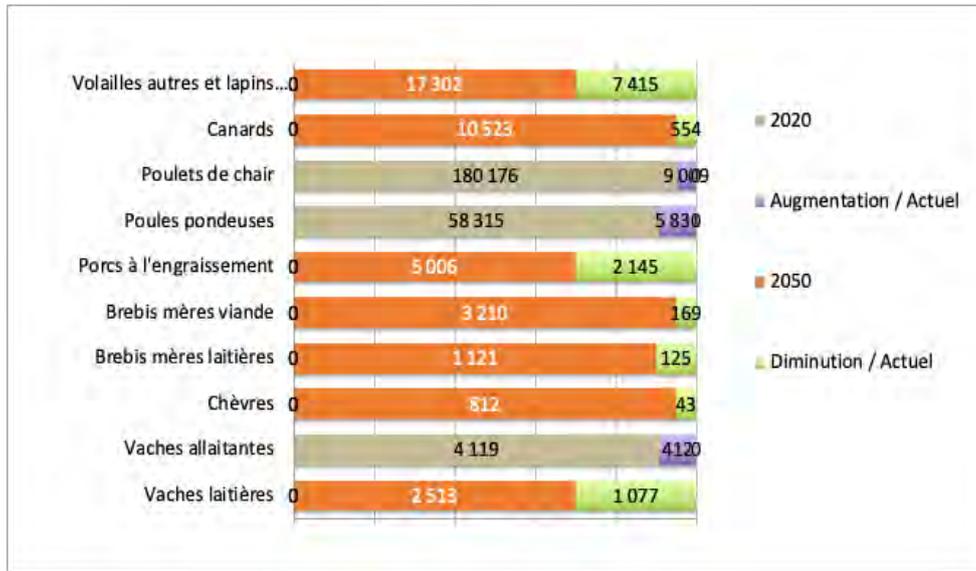


Figure 27 : Évolution des cheptels (milliers de places ou d'effectifs présents)

Clé de lecture : voir figure 2.

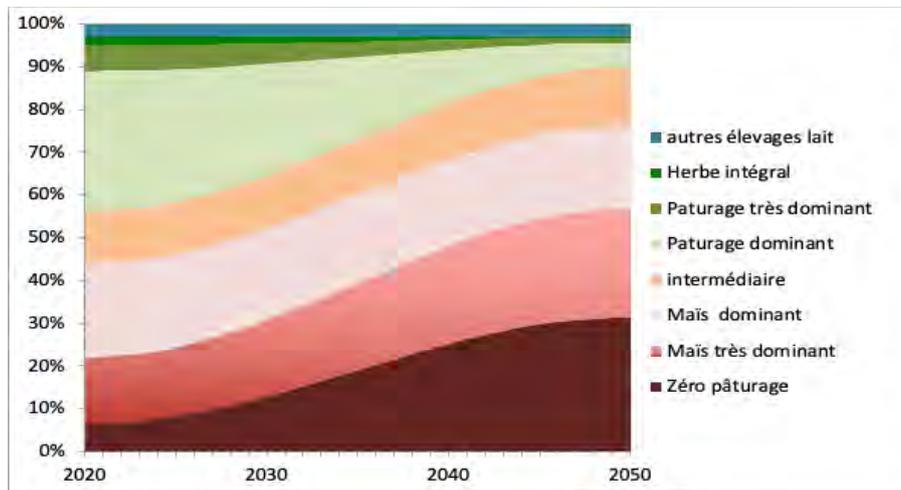


Figure 28 : Évolution des modes d'élevage (exemple des bovins lait)

Le bilan fourrager national est juste à l'équilibre : les surfaces fourragères globales diminuent parallèlement au cheptel, mais comme les rendements diminuent à cause du changement climatique, le solde des ressources fourragères diminue. En outre le cheptel allaitant se maintient voire augmente afin de suivre la demande (faible diminution de la consommation individuelle de viande bovine, augmentation de la population, diminution de la viande de réforme du troupeau laitier).

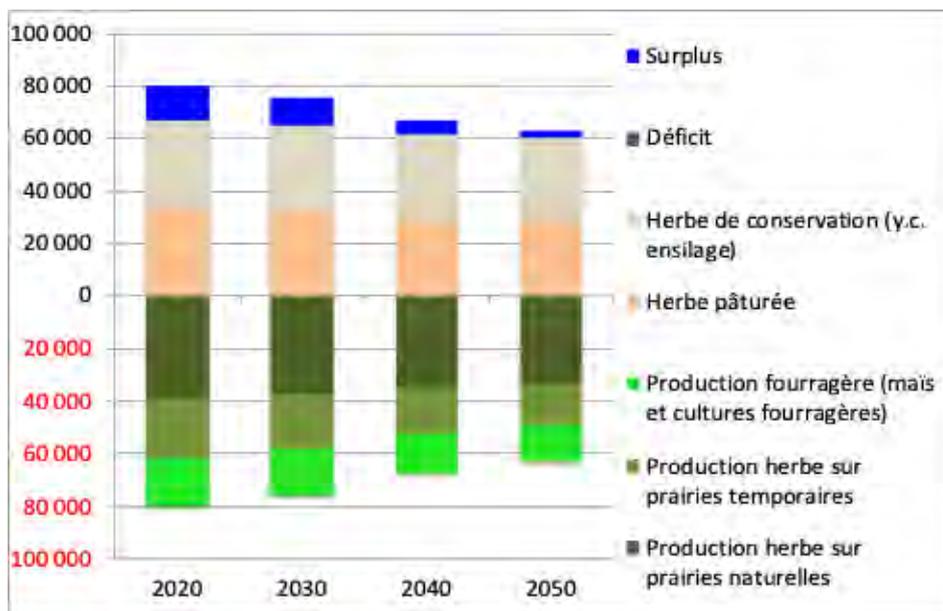


Figure 29 : Évolution du bilan fourrager (milliers de tonnes de matières sèches)

Clé de lecture : voir figure 6.

L'aquaculture, l'entomoculture, la viande de synthèse et d'autres sources de protéines alternatives se développent. L'aquaculture permet de produire presque le tiers de la consommation de poisson, l'entomoculture fournit le quart des protéines consommées par les élevages de volaille et de poissons, en utilisant principalement des biodéchets des ménages et des entreprises, qui sont massivement récupérés et recyclés. Les élevages de porc diminuent, mais ceux de volaille augmentent sous l'effet de la demande (viande blanche bon marché).

Approvisionnement des animaux : concentrés - milliers de tonnes de MS

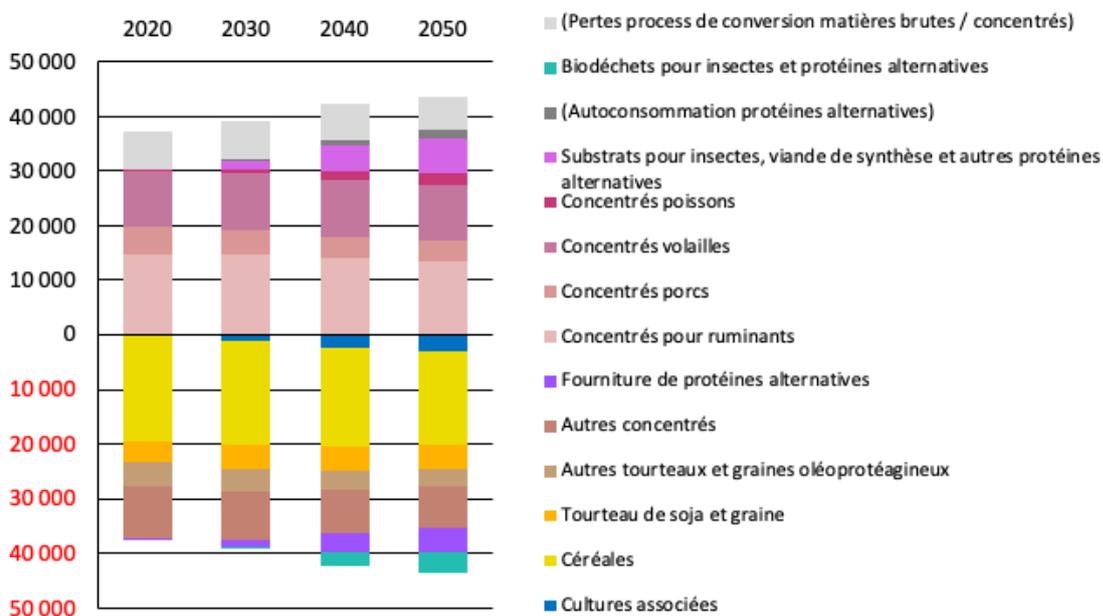


Figure 30 : Bilan des concentrés pour l'alimentation animale

Le volume d'eau consommé pour l'irrigation augmente de 70%, à 4,5 milliards de m³, dont 1,9 pour les cultures d'été. Les surfaces irriguées augmentent de 1,7 à 3,8 millions d'hectares, dont 0,7 Mha pour les céréales, 1,2 pour le maïs et 1 pour le maraîchage et l'arboriculture.

La quantité d'azote exporté n'augmente que de 28%. La consommation d'azote minéral diminue de 9%, alors que la fixation symbiotique augmente de 23%. Les émissions d'ammoniac sont de 240.000 t.

La consommation d'énergie finale est de 81 TWh. Les surfaces de serres chauffées augmentent de 40%.

3.6.4. Les échanges internationaux

Les soldes exportateurs des principales productions varient peu (céréales, lait, viande). Le déficit en fruits et en légumes ne diminue pas, voire augmente. Les importations de tourteaux de soja augmentent, car la consommation de concentrés en général augmente avec l'intensification des élevages bovins, la croissance des élevages de volaille et le fort développement de l'aquaculture et des nouvelles protéines alternatives. La France continue à exporter ses productions excédentaires et à importer les produits pour lesquelles elle est déficitaire ou qu'elle ne produit pas, sans viser de relocalisation ni de substitution. Globalement le solde se dégrade car en additionnant l'ensemble des facteurs d'évolution, on constate que les productions stagnent alors que la demande augmente.

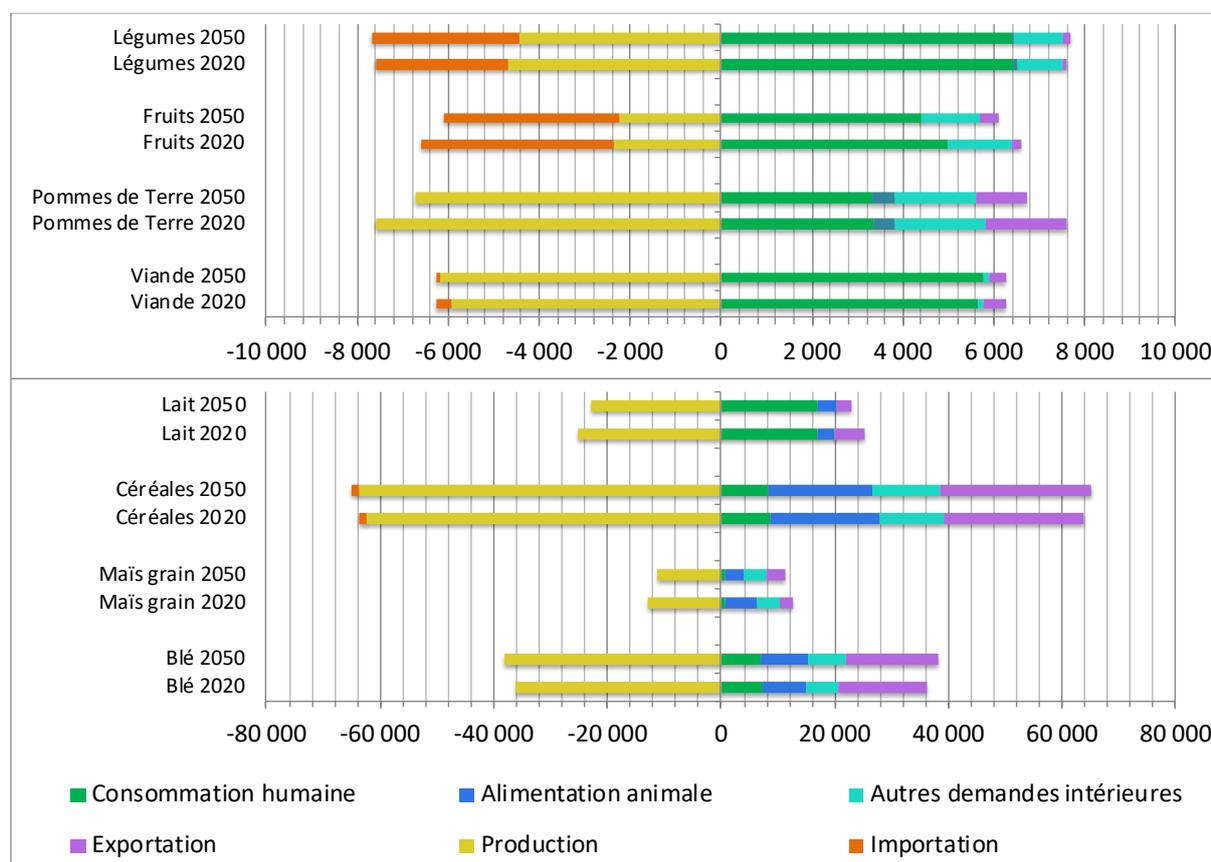


Figure 31 : Bilan d'approvisionnement pour une sélection de produits (milliers de tonnes)

Lecture du graphique : les ressources sont constituées de la production et des importations, et les emplois de la demande intérieure et des exportations, la demande intérieure étant elle-même constituée de la demande en alimentation humaine, en alimentation animale, et les autres demandes englobent les semences, les transformations, les usages industriels, les pertes.

3.6.5. Les émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre diminuent à 66 MteqCO₂. Le système de production dans son ensemble est assez peu modifié par rapport à aujourd'hui, les progrès techniques n'offrent que des gains limités. Les principales améliorations proviennent de l'efficacité énergétique, de la décarbonation des énergies utilisées, et d'une meilleure efficacité de l'utilisation de l'azote. Les importations (exprimées en GES) augmentent et les exportations diminuent, aussi l'empreinte passe à 64 MteqCO₂, soit une réduction de 34%.

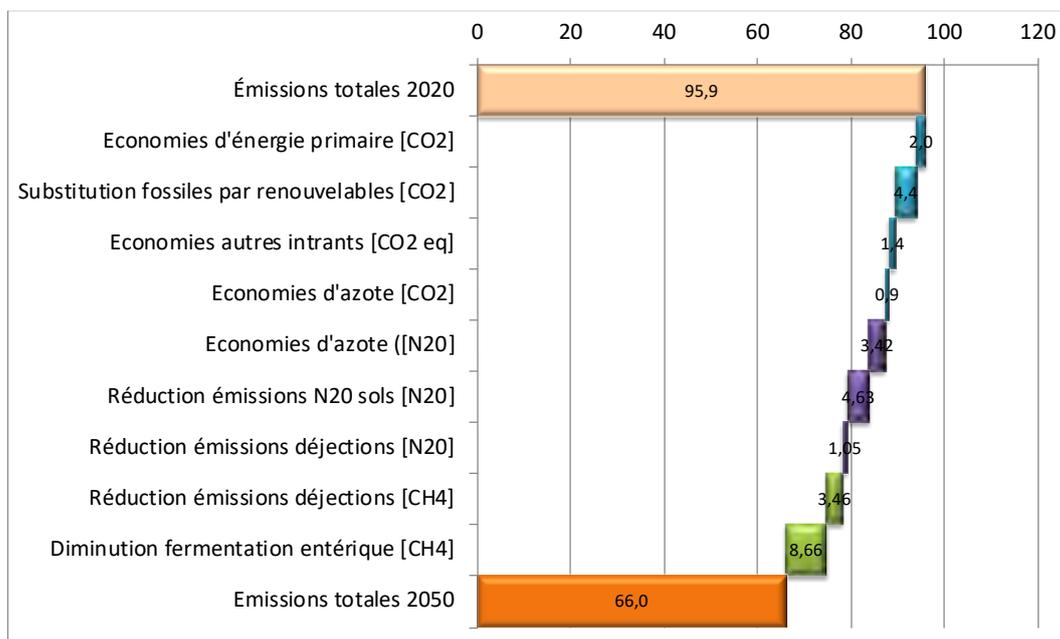


Figure 32 : Évolution des émissions territoriales de GES du secteur agricole entre 2020 et 2050 (millions de tonnes équivalent CO₂)

Clé de lecture : voir figure 3.

3.6.6. Les bioénergies

La production de bioénergies d'origine agricole atteint 116 TWh : 60 TWh de biogaz, 31 TWh de biocarburants, et 24 TWh de biocombustibles solides (bois des haies, résidus de culture).

La valeur GES des bioénergies d'origine agricole s'élève à 21 MteqCO₂ et compense le tiers des émissions du secteur agricole.

3.7. Le scénario SNBC

3.7.1. Principes généraux

Le scénario « SNBC » est construit à partir du volet agricole de la Stratégie Nationale Bas Carbone. L'exercice présent est une reconstruction du scénario à partir des éléments disponibles, avec des compléments apportés ici afin de rendre l'exercice comparable aux autres scénarios.

Ce scénario repose sur des hypothèses modérées de changement du régime alimentaire, et des hypothèses ambitieuses d'amélioration des performances du système agricole globalement, qui permettent de compenser notamment la diminution du cheptel bovin.

3.7.2. L'occupation du territoire

La forêt progresse de 1,6 million d’hectares, à la fois par la déprise agricole sur terres arables, vignes et sur prairies naturelles, et par évolution spontanée d’espaces naturels (landes). L’augmentation des surfaces artificialisées s’effectue essentiellement au détriment des terres arables. La répartition des surfaces agricoles reste inchangée, les prairies et les terres arables occupent pratiquement la même proportion de la SAU.

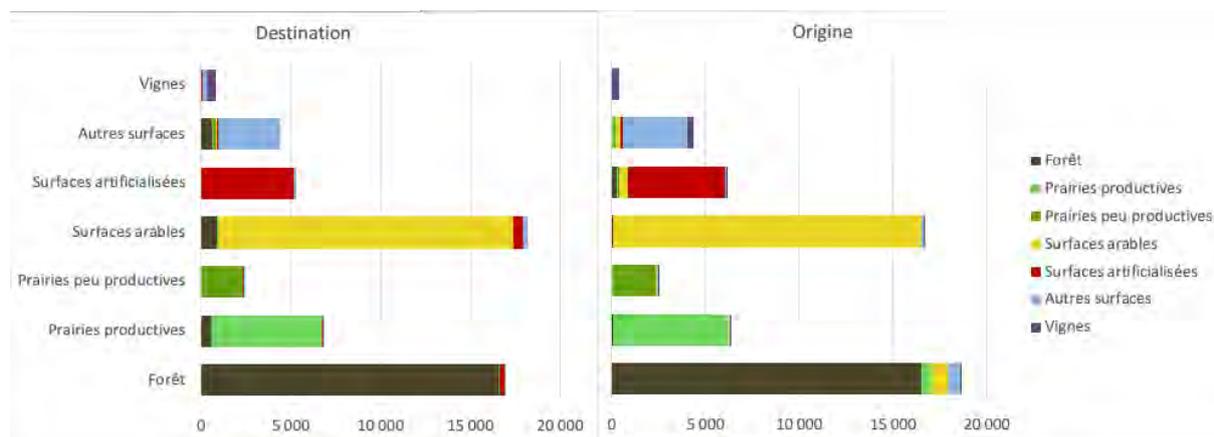


Figure 33 : Surfaces (milliers d’hectares)

Clé de lecture : voir figure 1.

3.7.3. Les productions agricoles

Les productions végétales passent pour moitié en agriculture de conservation des sols ou sur des systèmes proches, et pour un tiers en agriculture biologique. Ce scénario mobilise des nouvelles technologies – agtech, génétique, agriculture de précision, etc. - qui permettent de gagner 10% de rendement pour un même système par rapport aux autres scénarios. Le rendement en blé pur atteint 6 t/ha et le rendement global augmente de 25%, car il cumule les hauts rendements des cultures principales (comme le scénario 4) et le recours important aux cultures associées ou intermédiaires.

Les cheptels sont tous réduits, de manière homogène, de près de 20% environ. Les élevages bovins lait sont intensifiés, avec une augmentation de la part des systèmes sans pâture ou à base de maïs.

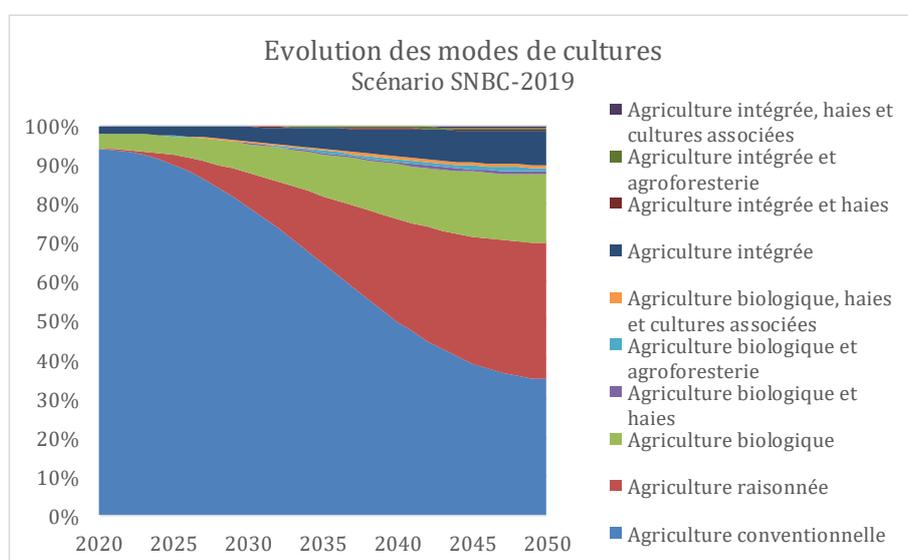


Figure 34 : Évolution des modes de cultures (exemple des céréales)

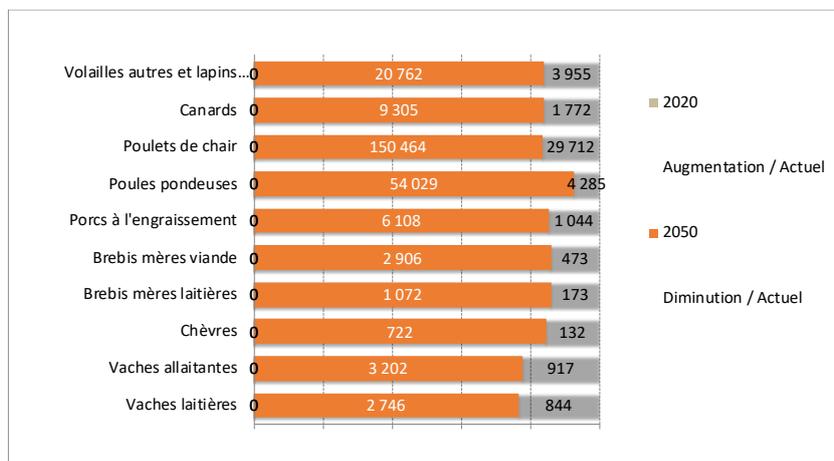


Figure 35 : Évolution des cheptels (milliers de places ou d'effectifs présents)

Clé de lecture : voir figure 2.

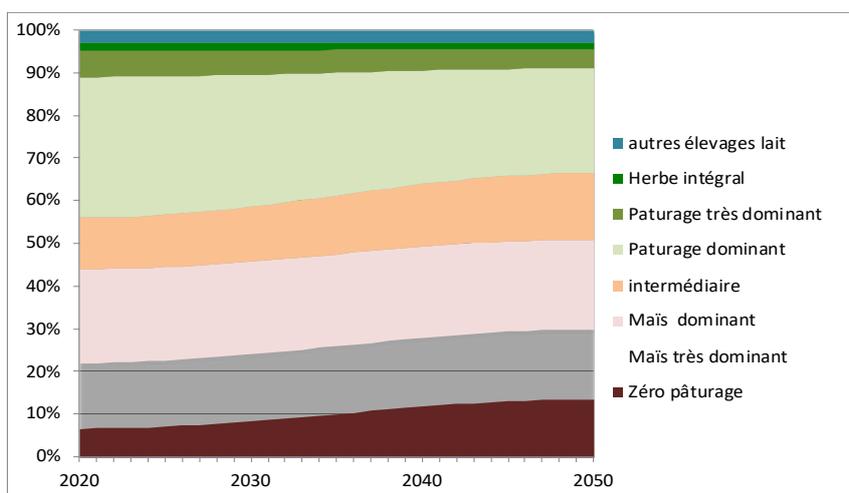


Figure 36 : Évolution des modes d'élevage (exemple des bovins lait)

Le bilan fourrager national est à l'équilibre : les surfaces fourragères globales diminuent parallèlement au cheptel, mais comme les rendements diminuent à cause du changement climatique, le solde des ressources fourragères diminue).

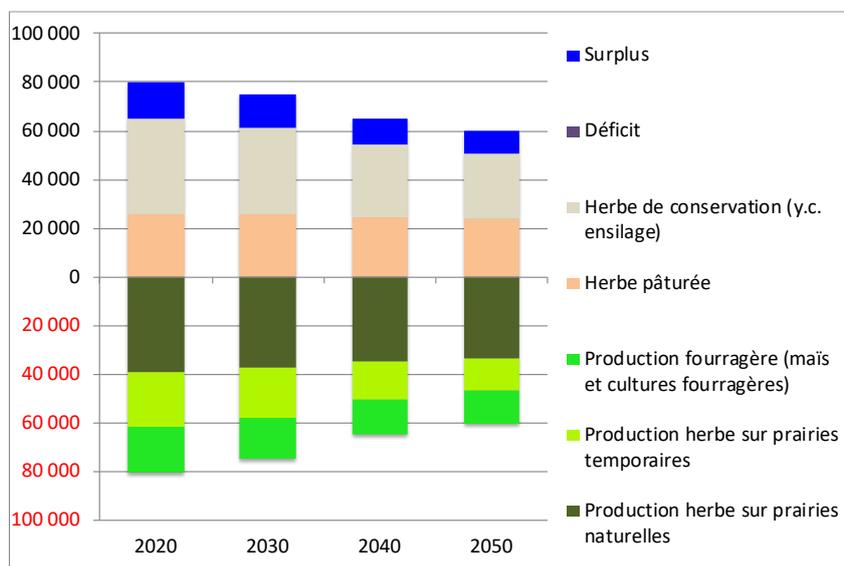


Figure 37 : Évolution du bilan fourrager (milliers de tonnes de matières sèches)

Clé de lecture : voir figure 6.

Le volume d'eau consommé pour l'irrigation s'élève à 3,9 milliards de m³, dont 1,3 pour les cultures d'été. Les surfaces irriguées augmentent de 1,7 à 3,2 millions d'hectares, dont 1 Mha pour les céréales, 0,9 pour le maïs et 0,9 pour le maraîchage et l'arboriculture.

La quantité d'azote exporté augmente de 28%. La consommation d'azote minéral est de 1 Mt soit une diminution de près de 50%, alors que la fixation symbiotique représente 1,2 million de tonnes. Les émissions d'ammoniac sont de 310.000 t.

La consommation d'énergie finale est de 65 TWh, celle d'azote minéral de 810.000 tonnes, mais le solde au sol se maintient. Les surfaces de serres chauffées sont maintenues.

3.7.4. Les échanges internationaux

La France continue à exporter ses productions excédentaires et à importer les produits pour lesquelles elle est déficitaire ou qu'elle ne produit pas, sans viser de relocalisation ni de substitution. Les soldes exportateurs des principales productions diminuent (céréales, lait, viande). Le déficit en légumes diminue (relocalisation), mais le déficit en fruits augmente (la consommation de fruits importés augmente). Le solde importateur de tourteaux et son est divisé par 2.

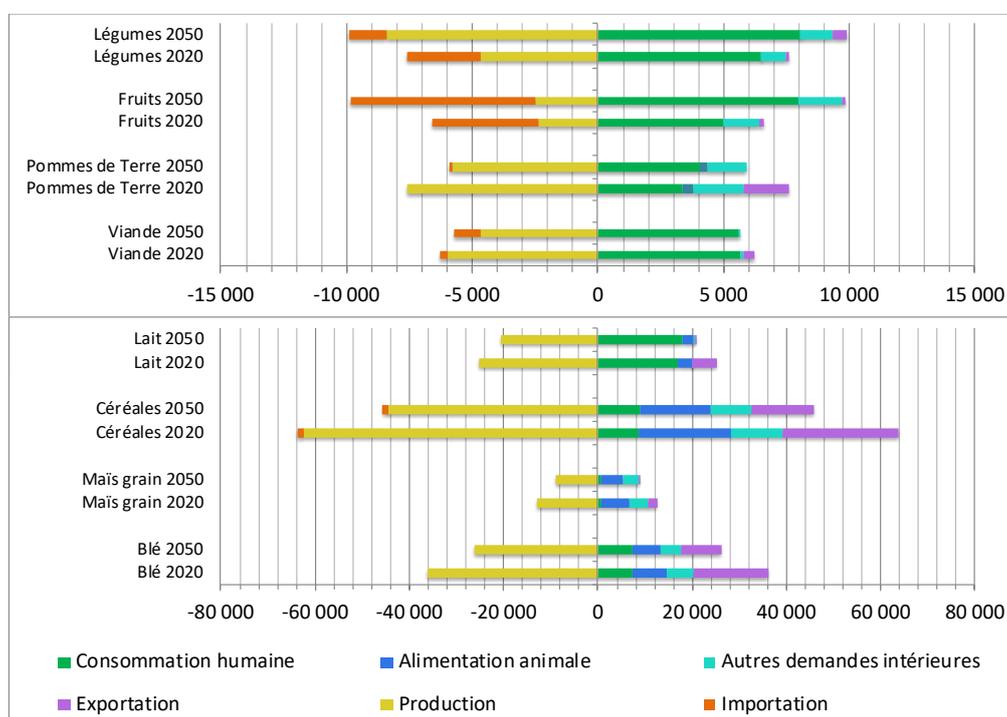


Figure 38 : Bilan d'approvisionnement pour une sélection de produits

Lecture du graphique : les ressources sont constituées de la production et des importations, et les emplois de la demande intérieure et des exportations, la demande intérieure étant elle-même constituée de la demande en alimentation humaine, en alimentation animale, et les autres demandes englobent les semences, les transformations, les usages industriels, les pertes.

3.7.5. Les émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre diminuent à 63 MteqCO₂. Les émissions de méthane sont réduites de 30%, celles de protoxyde d'azote de 37%, et celles de CO₂ de 40%. Les importations (exprimées en GES) augmentent et les exportations diminuent, aussi l'empreinte passe à 77 MteqCO₂, soit une réduction de 20% seulement.

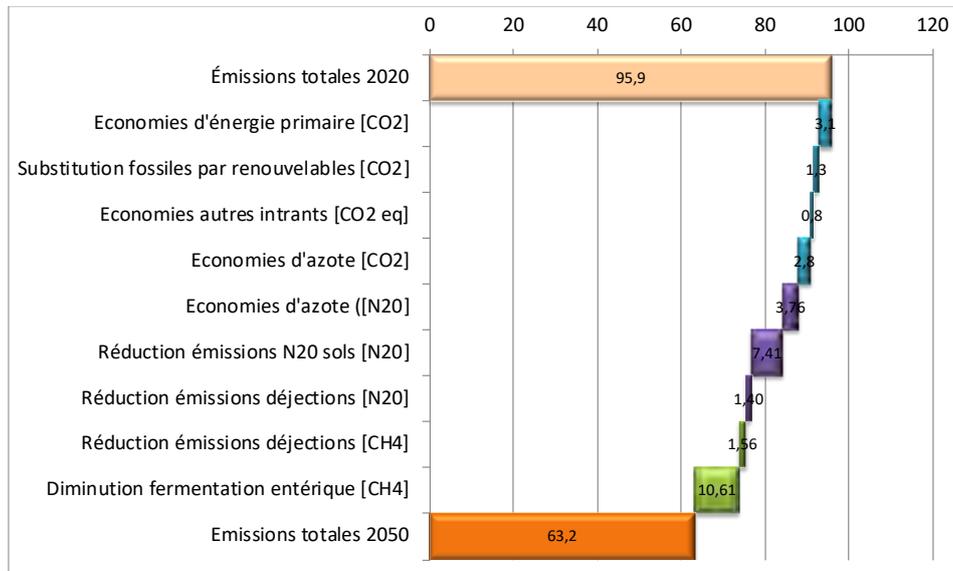


Figure 39 : Évolution des émissions territoriales de GES du secteur agricole entre 2020 et 2050 (millions de tonnes équivalent CO₂)

Clé de lecture : voir figure 3.

3.7.6. Les bioénergies

La production de bioénergies atteint 95 TWh, dont 30 TWh avec la méthanisation de déjections d'élevage et des cultures intermédiaires, 28 TWh de biocarburants et 37 TWh de biocombustibles issus des haies, de l'agroforesterie et des arbres hors forêt en général, et des résidus de culture.

La valeur GES des bioénergies est de 18 MteqCO₂ et ne compense que le quart des émissions du secteur agricole.

4. La transformation

Une analyse approfondie du secteur de la transformation alimentaire a été menée dans le cadre de ce projet. Elle s'est déroulée en deux volets :

- La consolidation des flux actuels, produits, importés et exportés et la réalisation de diagrammes de flux pour une sélection de produits.
- L'analyse prospective afin de décrire l'évolution de l'activité de transformation pour chaque scénario à l'horizon 2050 nécessaire à l'alimentation de la population métropolitaine et son impact sur les consommations d'énergie et les gaz à effet de serre.

Une partie de ces travaux a été menée dans le cadre d'un stage et fait l'objet d'un rapport disponible en annexe. Nous présenterons ici pour chacun des volets les sources, les méthodologies mobilisées et les résultats obtenus.

L'essentiel de la consommation alimentaire des Français provient des industries de transformation alimentaire, basés en France ou à l'étranger. La production nationale des IAA en France a été de 124 millions de tonnes en moyenne sur les années de référence (2012 à 2014), comprenant des produits de 1^{ère} et de 2^{de} transformations. Les échanges de produits agroalimentaires ont été ces mêmes années de 22 Mt pour les produits importés et 25 Ms de produits exportés.

4.1. La production et les échanges de produits transformés

4.1.1. Les produits transformés dans la nomenclature CECAM-SISAE

Lors du projet CECAM, nous avons établi une nomenclature propre au projet afin de construire une interface entre la production, la transformation, le transport et la consommation des produits agricoles et alimentaires. Sur les 40 postes que comportent cette nomenclature, 25 postes concernent les produits transformés (codes C04xx). Une table de passage permet de passer de cette nomenclature à la nomenclature NAF rev2 utilisée dans la base Prodcum et dans les données de l'Agreste sur les consommations d'énergie et les émissions de GES des IAA.

Ces IAA comprennent des activités de 1^{ère} et de 2^{de} transformation, certains produits de base sont donc achetés puis transformés de nouveau pour former des produits plus élaborés. Les diagrammes de flux représentent ces échanges et permettent d'évaluer la production de produits finis en bout de filière à destination des ménages, de la RHD ou des artisans-commerçants (entreprises de moins de 20 salariés, non comprises dans les IAA). Des coefficients de transformation peuvent donc être établis à chaque étape. Les productions sont dans la majorité des cas à destination de l'alimentation humaine, mais peuvent être aussi destinées à l'alimentation animale (animaux de ferme ou de compagnie) ou encore à d'autres usages (carburants, etc.).

40 groupes de produits CECAM	
C0111	Froment, épeautre, méteil
C0112	Orge
C0115	Maïs
C0119	Autres céréales
C0120	Pomme de terre
C0130	Betterave à sucre
C0140	Autres fruits frais ou congelés
C0142	Agrumes
C0143	Bananes fraîches ou congelées
C0144	Pommes frais ou congelés
C0150	Autres légumes frais ou congelés
C0179	Oléagineux
C0190	Lait brut
C0414	Viande de boucherie et volaille
C0416	Charcuterie
C0420	Poissons et crustacés
C0422	Préparation et conserves à base de poissons et crustacés
C0436	Légumes et pommes de terre transformés
C0437	Déchets industriels alimentaires de végétaux et sous-produits pour animaux
C0438	Fruits transformés dont jus
C0443	Tourteaux
C0445	Huiles animales et végétales
C0451	Lait de consommation
C0452	Produits laitiers : beurre, fromage, ultra-frais, caséine, lactose, poudres et concentrés
C0461	Riz
C0462	Farine et semoule
C0463	Amidon et fécule, glucose, fructose et maltose
C0468	Son et autres résidus de meunerie
C0471	Vins
C0472	Bière
C0473	Boissons alcooliques
C0474	Eaux
C0475	Autres boissons non alcoolisées
C0481	Sucre de canne et betterave
C0482	Café, cacao, thé
C0484	Céufs
C0485	Autres préparations alimentaires diverses
C0489	Boulangerie et pâtes alimentaires
C9000	Produits agricoles divers
C9100	Produits non agricoles

PRODUITS PRIMAIRES

PRODUITS TRANSFORMÉS

Tableau 7 : Nomenclature de produits propres aux exercices CECAM et SISAE

4.1.2. Sources de données et harmonisation des nomenclatures

La principale source de données est la base de données Prodcom (Eurostat) des produits transformés qui fournit les productions, importations et exportations en kg de produits transformés. Les données Prodcom sont collectées via des questionnaires par pays et des données d'entreprises. Les volumes sont reportés en kilogrammes (avec des exceptions pour certains produits dans d'autres unités, qui dans le cas des produits alimentaires est négligeable). Ne sont considérées que les entreprises de plus de 20 salariés. La nomenclature Prodcom (« PRODUCTION COMMUNAUTAIRE ») est dérivée de deux nomenclatures européennes : la NACE (nomenclature d'activité au niveau européen) dont la version française est la NAF (Nomenclature d'Activité Française) rev2 et la CPA (Classification de Produits par Activité), pour laquelle la CPF est la version française. Une correspondance existe entre la NAF rev2 et la nomenclature combinée (NC) permettant de relier Prodcom à d'autres nomenclatures internationales. Les postes de la base Prodcom à codes à six ou huit chiffres ont des correspondances directes à des postes de nomenclature combinée (NC) (Eurostat Prodcom, 2017). La nomenclature Prodcom à huit chiffres est constituée ainsi : les quatre premiers chiffres sont issus des catégories NACE, et les cinquième et sixième chiffres sont issus de la nomenclature CPF ce qui permet de créer le lien entre ces deux nomenclatures, ainsi qu'une catégorisation claire des produits. Il y avait en 2016 déjà 3900 postes existants (Eurostat Prodcom, 2017).

Dans la Figure 33, nous prenons l'exemple de produits issus des poissons et produits de la pêche entre la nomenclature CPF6 et les catégories plus générales NACE (INSEE, 2020).

10.20 Transformation et conservation de poisson, de crustacés et de mollusques	10.20 Préparations et conserves à base de poisson et de produits de la pêche
10.20Z Transformation et conservation de poisson, de crustacés et de mollusques	10.20.1 Poissons, frais, réfrigérés, congelés ou surgelés
Cette sous-classe comprend :	CC : - poissons préparés et conserves de poissons, coquillages, crustacés et mollusques NC : - poissons frais entiers (03.00.2)
- la préparation et la conservation de poissons, de crustacés et de mollusques par congélation, surgélation, séchage, cuisson, fumage, salage, saumurage, mise en conserve, etc.	10.20.11 Filets de poissons et autres viandes de poisson (y compris hachées), frais ou réfrigérés
- la préparation de produits à base de poissons, de crustacés et de mollusques (filets de poisson, laitances, caviar et ses succédanés, etc.)	CC : - filets, tranches et morceaux de poissons, frais ou réfrigérés, y compris hachés
- la production de farines de poissons destinées à l'alimentation humaine ou animale	
- la production de farines et de solubles à partir de poissons et d'autres animaux aquatiques impropres à la consommation humaine	
Cette sous-classe comprend aussi :	
- les activités des navires se livrant uniquement à la transformation et à la conservation du poisson	
- la transformation d'algues marines	
Cette sous-classe ne comprend pas :	
- la transformation et la conservation du poisson sur des navires se livrant à la pêche en mer (cf. 03.11Z)	
- la transformation des baleines à terre ou à bord de bateaux spécialement équipés (cf. 10.11Z)	
- la production d'huiles et de matières grasses à partir de substances marines (cf. 10.41A)	
- la production de plats préparés à base de poissons (cf. 10.85Z)	
- la fabrication de potages à base de poissons (cf. 10.89Z)	
- le conditionnement des poissons, crustacés et mollusques par les mareyeurs (cf. 46.38A)	
Produits associés : 10.20.11, 10.20.12, 10.20.13, 10.20.14, 10.20.15, 10.20.16, 10.20.21, 10.20.22, 10.20.23, 10.20.24, 10.20.25, 10.20.26, 10.20.31, 10.20.32, 10.20.33, 10.20.34, 10.20.41, 10.20.42, 10.20.91, 10.20.99	

Figure 40 : Nomenclature NAF (à gauche) et nomenclature CPF6 (à droite)

Les nomenclatures à huit chiffres de Prodcom donnent un niveau de détail élevé, plus que les niveaux CPA et CN, ce qui signifie que plusieurs postes Prodcom peuvent correspondre à un seul poste CN4 .

Les postes de Prodcom étant très précis, il est indiqué que les correspondances peuvent ne pas être exactes entre les valeurs comprises dans la production et celles dans les échanges extérieurs. Précisons également qu'il s'agit uniquement de la production vendue, pour que celle-ci puisse être mise en lien avec les données de commerce extérieur (Eurostat Prodcom, 2017).

Les données du commerce extérieur de Prodcom étaient souvent manquantes ou peu représentatives des échanges réels. Nous avons eu recours à d'autres bases de données pour consolider ces données :

- La base de données FAO Fishstat (FAO Fishstat)

Cette base fournit les données de production de pêche pour les captures et la production en aquaculture, ainsi que les données de production et commerce extérieur des produits de la pêche, y compris les produits transformés issus de la pêche ou de l'aquaculture. Il s'agit des productions de poissons, crustacés, mollusques et autres produits issus de la mer (algues et mammifères marins). Les captures sont celles réalisées par les bateaux français qu'elles soient pêchées en eaux françaises ou internationales, ou à destination de l'exportation ou de la consommation intérieure. D'autre part ne sont pas prises comme données françaises celles réalisées dans le DOM-TOM. Les données FAO Fishstat sont cependant fournies sans code produit, nous avons donc travaillé sur ces données à partir uniquement du libellé.

- Les « Matrices du commerce détaillé » de la FAO pour les échanges extérieurs
- **Les données de la douane française (DGDDI)** également pour les échanges extérieurs
Les données de la douane sont disponibles avec la nomenclature combinée (NC) à un niveau 8, soit un niveau de détail plus élevé que les données Prodcop, et leur nomenclature qui permet de faire correspondre aisément les bases de données et compléter les données manquantes Prodcop. Nous avons travaillé sur les données 2015. Elles sont comptabilisées sur le territoire statistique de la France, qui est compris comme intégrant la Corse, Monaco ou les DOM mais pas les territoires d'outre-mer. Ces opérations intègrent « les marchandises entrant directement dans le circuit de l'économie nationale (destinées à la consommation intérieure directe ou pour ouvrison), les marchandises retirées d'entrepôts douaniers pour être mises à la consommation, les marchandises originaires d'un pays hors Union européenne mise en libre pratique (acquittement des droits de douane et respect des normes) sur le territoire national. » (DGDDI, 2021). Les exportations comprennent les marchandises produites, fabriquée en partie ou entièrement en France, ainsi que les réexportations de marchandises étrangères. Il existe certaines conditions d'exclusion de report de ces données, qui ici concernent des opérations dont les montants cumulés sont très faibles. Pour cette base de données aussi, les quantités sont en kilogramme de masse nette, la masse nette étant la marchandise sans emballage quelconque.
- **La base de données Agreste** (Statistique Agricole du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation) pour des données de production, ainsi que de production destinée à la transformation pour certaines cultures végétales.

Pour faire correspondre les différentes nomenclatures, en particulier celles de Prodcop et de la douane, nous avons eu recours aux tableaux de correspondance des nomenclatures issues du site Ramon (Eurostat) qui donne accès aux tables de correspondance en fonction des années et mises à jour des nomenclatures. Par contre, il n'y a pas de table de correspondance pour les nomenclatures FAO, nous avons donc pour certain cas constitué nous-même des tables de correspondance.

4.1.3. Données consolidées par catégorie de produits

La production domestique de produits de 1^{ère} et 2^{nde} transformation s'élevait à 103 Mtonnes par an (2012-2015). La filière des déchets agroalimentaires pour l'alimentation animale traite les plus gros volumes, suivie par les industries des eaux et boissons non alcoolisées, des produits céréaliers et des produits laitiers.

	Production	Importations	Exportations	Disponibilité intérieure
Viandes	8 121 940	1 752 643	1 898 373	7 976 211
Poissons et crustacés	531 725	1 081 009	322 540	1 290 194
Légumes et pommes de terre	2 155 759	1 326 690	1 559 473	1 922 976
Fruits	1 713 964	2 271 015	398 444	3 586 535
Huiles et tourteaux	4 406 767	5 928 285	1 479 264	8 855 789
Produits laitiers	12 533 642	1 653 715	3 286 983	10 900 375
Céréales	14 947 618	3 070 092	3 866 947	14 150 763
Sucre	6 280 979	714 201	2 569 664	4 425 516
Café, cacao, thé	1 176 247	886 320	653 852	1 408 715
Préparations alimentaires	2 934 646	1 883 479	1 465 573	3 352 552
Alimentation animale	23 891 256	367 976	1 068 700	23 190 531
Boissons alcoolisées	7 338 196	1 535 330	3 441 391	5 432 135
Eaux et boissons non alcoolisées	16 551 486	1 077 803	3 174 792	14 454 498
Total	102 584 225	23 548 558	25 185 995	100 946 788

Tableau 8 : Bilan d'approvisionnement en produits transformés issus des IAA
Le solde exportateur est légèrement positif (

	Production	Importations	Exportations	Disponibilité intérieure
Viandes	8 121 940	1 752 643	1 898 373	7 976 211
Poissons et crustacés	531 725	1 081 009	322 540	1 290 194
Légumes et pommes de terre	2 155 759	1 326 690	1 559 473	1 922 976
Fruits	1 713 964	2 271 015	398 444	3 586 535
Huiles et tourteaux	4 406 767	5 928 285	1 479 264	8 855 789
Produits laitiers	12 533 642	1 653 715	3 286 983	10 900 375
Céréales	14 947 618	3 070 092	3 866 947	14 150 763
Sucre	6 280 979	714 201	2 569 664	4 425 516
Café, cacao, thé	1 176 247	886 320	653 852	1 408 715
Préparations alimentaires	2 934 646	1 883 479	1 465 573	3 352 552
Alimentation animale	23 891 256	367 976	1 068 700	23 190 531
Boissons alcoolisées	7 338 196	1 535 330	3 441 391	5 432 135
Eaux et boissons non alcoolisées	16 551 486	1 077 803	3 174 792	14 454 498
Total	102 584 225	23 548 558	25 185 995	100 946 788

Tableau 8). Les volumes d'importations les plus importants concernent les produits oléagineux (huiles et tourteaux) avec près de 6 Mt. Parmi les 3 Mt de produits céréaliers importés, figurent les produits amylicés, le riz, les biscuits et pâtisseries de conservation, les farines et pâtes pour préparations, ou encore les pâtes alimentaires. Les importations de préparations alimentaires sont également importantes (1,9 Mt) dont la moitié sont des plats préparés.

Si nous raisonnons en termes d'empreinte, soit la distribution des produits transformés à destination de l'alimentation de la population métropolitaine, 18 Mt sont importées sur une disponibilité totale nécessaire de 101 Mt. La répartition est assez différente (

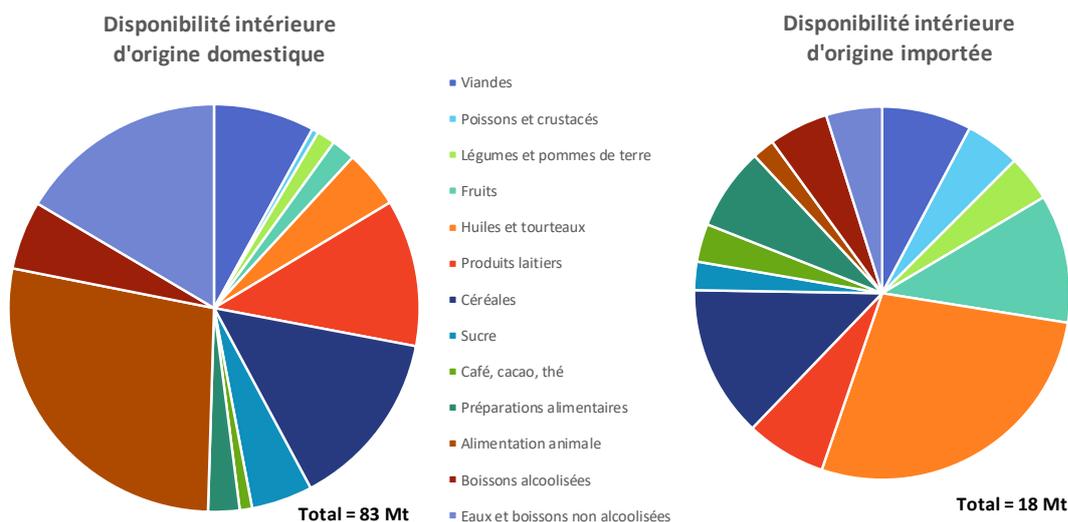


Figure 41). Comme nous l'avons vu, les volumes d'huiles et tourteaux sont les plus importants avec plus d'un quart des importations. Les importations de produits à base de céréales et les fruits, légumes et pommes de terre transformés s'élèvent respectivement à 2,4 Mt et 2,7 Mt. Les huiles et tourteaux, les fruits et les poissons sont les seules classes de produits dont les importations sont supérieures à la production intérieure pour satisfaire les besoins intérieurs. Notons que pour les produits transformés à base de café, cacao, thé, la production intérieure (0,8 Mt) est légèrement supérieure aux importations (0,6 Mt). Cela est observé à l'échelle des grandes classes de produits, des résultats à une échelle plus fine sont disponibles en annexe 11.3.

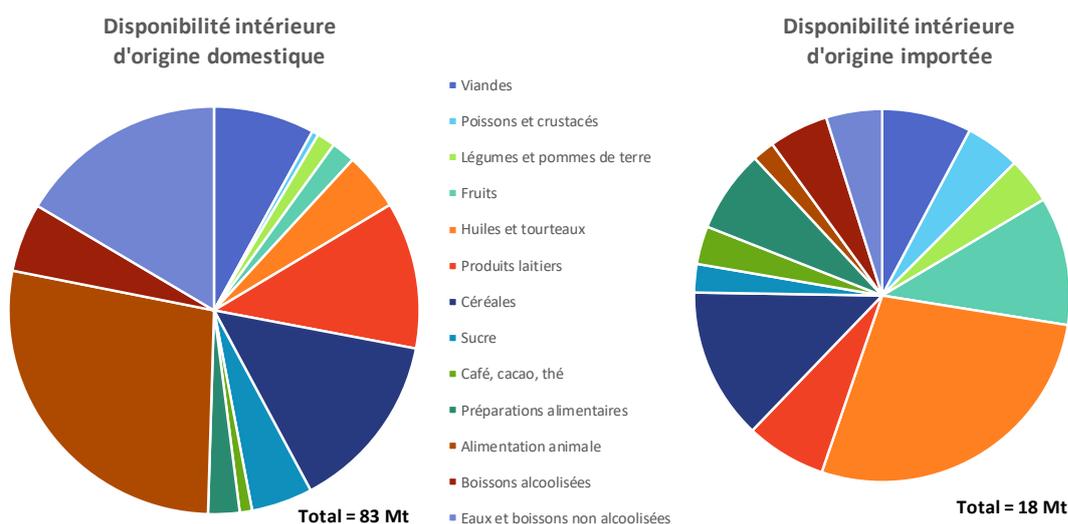


Figure 41 : Distribution par classe des produits transformés issus de la production domestique et des importations

4.2. Simulation des besoins de produits transformés et des échanges internationaux selon les scénarios

4.2.1. L'évolution de l'activité des IAA

A partir des régimes alimentaires moyens propres à chaque scénario, la modélisation du stade agricole présentée en seconde partie simule les évolutions des bilans d'approvisionnement pour l'ensemble des catégories de

produits agricoles et alimentaires. Des hypothèses globales puis détaillées par catégorie de produits ont été faites et validées en COPIL concernant la contraction du commerce international pour certains scénarios (S1, S2, S3) ou à l'inverse l'expansion de ce commerce (S0, S4) plus ou moins prononcées par rapport à la situation actuelle. Une stabilité des échanges est anticipée pour le scénario S5. Les soldes des échanges internationaux et les niveaux d'importations et d'exportations à solde identique ont ainsi été déterminés pour la plupart des produits bien renseignés dans les bilans d'approvisionnement FAO.

Pour dix catégories de produits, les données de production, d'importations et d'exportation ont été consolidées par l'analyse précédente à partir des bases de données Prodcum et des douanes notamment, car les données étaient sous-estimées le plus souvent dans les bilans FAO (Tableau 9).

C0422	Préparation et conserves à base de poissons et crustacés
C0436	Légumes et pommes de terre transformés
C0437	Déchets industriels alimentaires de végétaux et sous-produits pour nourrir les animaux
C0438	Fruits transformés dont jus
C0462	Farine et semoule
C0463	Amidon et fécule, glucose, fructose et maltose
C0474	Eaux
C0475	Autres boissons non alcoolisées
C0482	Café, cacao, thé
C0485	Autres préparations alimentaires diverses
C0489	Boulangerie et pâtes alimentaires

Tableau 9 : Activités de transformation faisant l'objet d'une analyse spécifique

4.2.2. Hypothèses d'évolution du commerce international pour certaines IAA

Deux types d'hypothèses ont été pris en compte :

- **une contraction ou expansion du commerce international à solde extérieur identique.** En cas de contraction par exemple, les importations sont réduites, ce qui a pour conséquence de réduire simultanément les exportations afin de pouvoir satisfaire la demande intérieure produit par produit.

- **une relocalisation en France d'activités de transformation pour les scénarios S1 et S2,** lorsque la production du produit primaire est excédentaire et en partie exporté alors que les importations de produits de seconde transformation dans la même filière sont supérieures aux exportations.

Dans le premier cas, un potentiel de réduction du commerce international a été estimé en considérant que les produits au niveau le plus détaillé de la NC8 sont similaires et substituables. A solde extérieur identique, il est envisagé de satisfaire la demande intérieure non pas par des importations mais en limitant les exportations de produits similaires. La Figure 42 présente les potentiels de réduction des importations, cumulés dans chaque catégorie de produits. Le détail de ces évaluations est présenté dans le rapport de stage en pièce complémentaire de ce rapport.

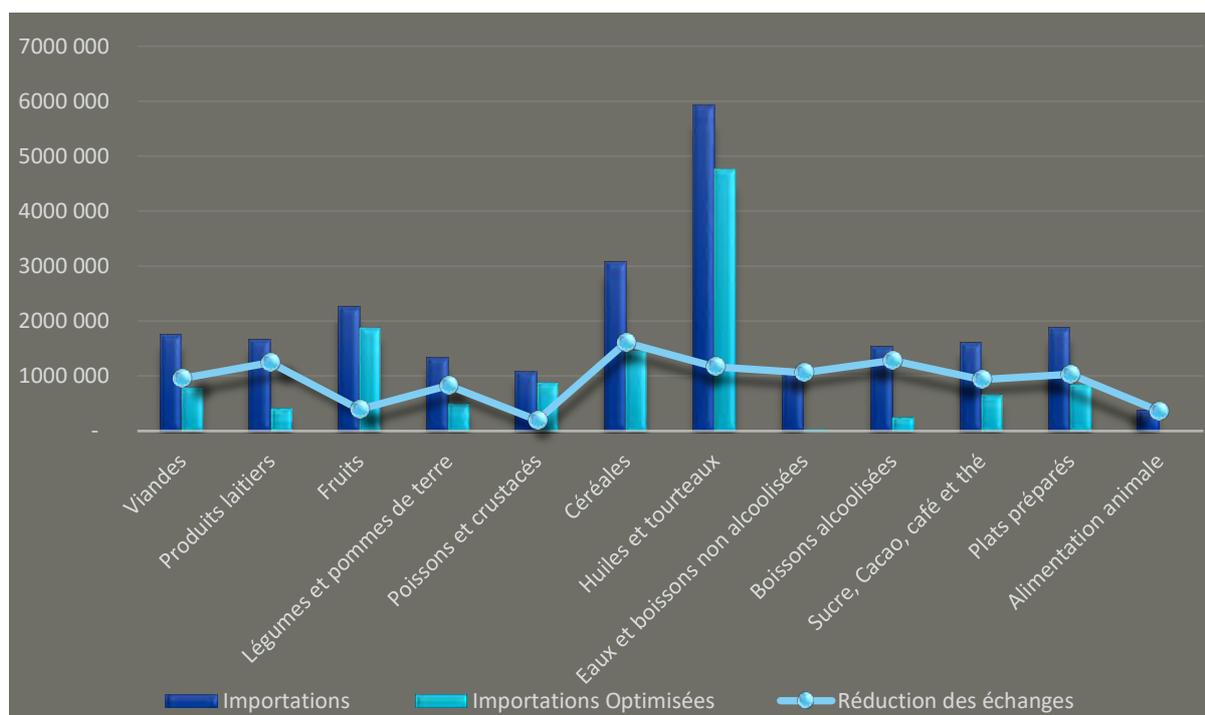


Figure 42 : Importations et réductions d'importations potentielles en moyenne 2012-2014 en tonnes

Pour prendre quelques exemples, les importations de produits à base de céréales s'élèvent à environ 3 Mt par an. Près de la moitié de ces importations sont constituées par des produits que nous exportons également : 255 kt de farine de blé importées et 524 kt exportées ; 159 kt de résidus d'amidonnerie importées contre plus de 600 kt exportées ; 138 kt de produits de la boulangerie, de la pâtisserie et de la biscuiterie contre 114 kt importées. Nous importons 574 kt de pommes de terre préparées surgelées alors que les exportations de ces produits s'élèvent à 337 kt. Les importations de lait demi-écrémé sans édulcorant sont de 325 kt et les exportations de 735 kt. Pour l'ensemble des produits, 11 Mt de produits transformés sont importés par an (soit près de 50% des produits transformés) alors que nous exportons des produits similaires à des niveaux au moins aussi importants. Une analyse plus fine des déterminants de ces échanges pourrait probablement conclure par la possibilité de les réduire de manière substantielle.

Ce potentiel de contraction/expansion des échanges internationaux est mobilisé de manière différenciée selon les scénarios

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Tx de mobilisation potentiel	-40%	100%	75%	25%	-25%	0%
Tx de reduction supplémentaire des Ms	50%	-70%	-40%	-10%	10%	0%

Tableau 10)

Enfin, une relocalisation d'activités de transformation est également envisagée pour les dix catégories de produits (Tableau 9) analysées à l'exception des activités de vinification et de production de fromage pour lesquelles les territoires de production ne sont pas considérés comme substituables. Ces possibilités de relocalisation concernent des produits transformés importés alors que nous produisons et exportons des produits primaires à la base de ces produits transformés (ex, les pommes de terre surgelées, la volaille en morceaux, etc.). Ce potentiel de relocalisation d'activités de transformation est mobilisé de manière différenciée selon les scénarios, ce niveau de mobilisation correspond au taux de réduction supplémentaire des importations dans

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Tx de mobilisation potentiel	-40%	100%	75%	25%	-25%	0%
Tx de reduction supplémentaire des Ms	50%	-70%	-40%	-10%	10%	0%

Tableau 10.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Tx de mobilisation potentiel	-40%	100%	75%	25%	-25%	0%
Tx de reduction supplémentaire des Ms	50%	-70%	-40%	-10%	10%	0%

Tableau 10 : Hypothèses d'évolution du commerce extérieur pour une sélection de produits transformés

4.2.3. Hypothèses sur les gains d'efficacité énergétique et mix par groupe d'IAA

Les gains d'efficacité dans les IAA sont plus particulièrement importants dans le Scénario Technologies vertes, se situant entre 25 et 30% (Figure 43).

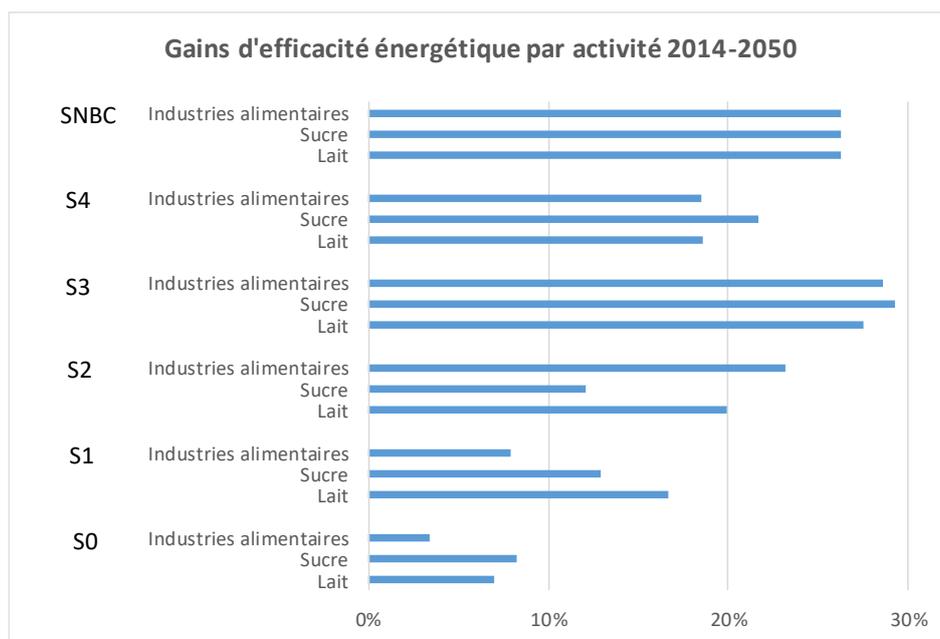


Figure 43 : Gains d'efficacité énergétique

Le tableau des mix énergétiques est présenté en annexe. Le charbon est totalement abandonné, ainsi que le GPL dans la plupart des scénarios. Les sources d'énergie principales sont l'électricité, le gaz et la vapeur.

4.2.4. Hypothèses sur la pénétration de biocombustibles

La part du gaz renouvelable dans le réseau de gaz varie de 18% à 100% selon les scénarios.

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Part du biogaz dans le réseau	19%	88%	98%	84%	51%	100%

Tableau 11 : Part du biogaz dans le réseau de gaz

L'électricité est totalement décarbonée dans tous les scénarios, les émissions de GES subsistantes concernent l'amont de la production d'énergie.

4.3. Résultats

4.3.1. Evolution des disponibilités intérieures des produits transformés et part importée

Dans les années de référence (2012-2015), les disponibilités intérieures nécessaires à l'alimentation de la population métropolitaine principalement s'élevaient à 226 Mt par an, tous produits confondus. Près de la moitié étaient des produits transformés (98 Mt), dont 30 Mt d'aliments pour animaux (tourteaux ou déchets industriels alimentaires), 17 Mt de lait et produits laitiers et 14 Mt d'eaux et boissons rafraichissantes sans alcool. Les eaux embouteillées représentent les deux tiers de cette catégorie 'Eaux et BRSA'.

Le Tableau 12 montre les volumes de produits transformés nécessaire à la consommation domestique et la part importée en 2050 selon les scénarios.

	Disponibilités domestiques	Disponibilités importées	Disponibilités intérieures totales
Tendanciel	68 169	28 235	96 404
Génération frugale	62 182	5 126	67 308
Coopérations territoriales	62 353	7 301	69 654
Technologies vertes	65 658	14 718	80 377
Pari réparateur	72 840	19 735	92 575
SNBC	75 477	19 378	94 854

Tableau 12 : Disponibilités intérieures en produits transformés et part importée (en kt)

Les besoins en produits transformés sont légèrement moins importants en 2050 par rapport à aujourd'hui dans les scénarios tendanciel, Croissance verte et SNBC. Pour ces scénarios, la réduction des pertes et des gaspillages ne compense pas totalement la hausse de la population et la demande associée, notamment les fruits et légumes et les huiles.

Les besoins en produits transformés sont par contre nettement plus faibles dans les scénarios Génération frugale et Coopérations territoriales (62 Mt pour les deux scénarios). C'est le cas notamment pour la viande et les produits laitiers et par conséquent les aliments pour animaux, ainsi que les jus de fruits tropicaux et existants (Figures suivantes).

La part des importations de produits transformés varie de 8% dans le scénario Génération frugale à 20% dans le scénario SNBC et 29% dans le scénario Tendanciel. Pour ces scénarios, ainsi que pour le Scénario Pari réparateur, les importations de tourteaux, de fruits transformés, ainsi que de boissons alcoolisés et d'autres produits alimentaires de seconde transformation (pâtes, plats préparés, etc.) restent élevées.

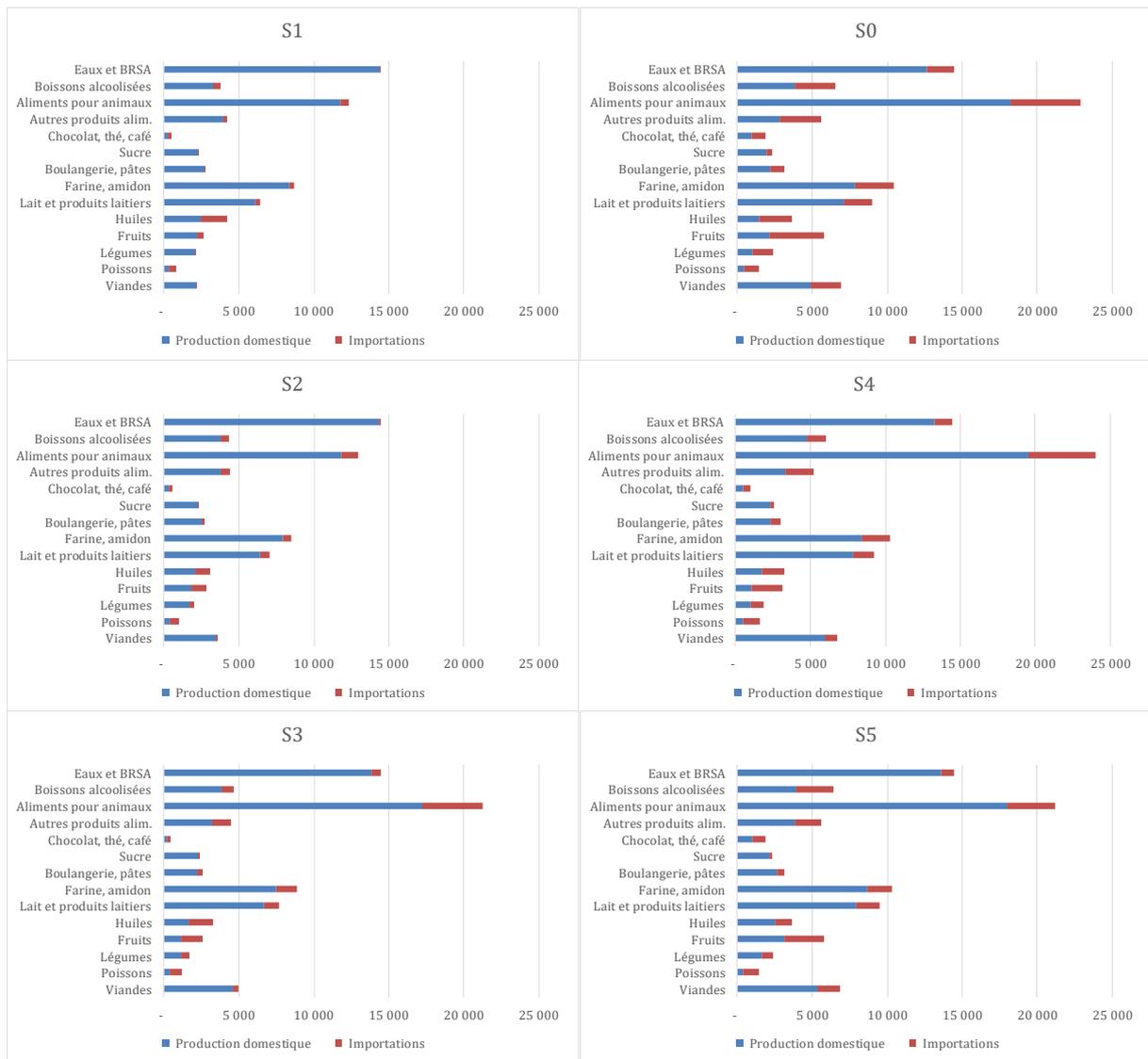


Figure 44 : Evolution des volumes de produits transformés par classe de produits

Les efforts de maîtrise des consommations d'énergie sont importants et permettent de réduire les consommations de cette étape de transformation agroalimentaire à un niveau de 33 à 43 TWh pour les cinq scénarios (S1 à S5, figures suivantes) contre 52 TWh pour le scénario Tendanciel. Les gains d'efficacité énergétique les plus importants sont retenus dans le Scénario Technologies vertes : -22% pour les industries laitières et sucrières et -26% pour les autres industries par rapport au scénario Tendanciel (voir coefficients unitaires et mix énergétiques en annexe). Notons que les consommations d'énergie unitaires et les émissions unitaires des productions importées sont identiques à celles des productions domestiques, ne disposant pas de données à l'international pour les IAA.

La part des énergies mobilisées est très différente selon les scénarios. Les scénarios Tendanciel et Pari réparateur privilégient le gaz (dont respectivement 19% et 51% sont renouvelables), alors que la biomasse est conséquente dans les scénarios Génération frugale. La pénétration de l'électricité est la plus importante dans le scénario SNBC.

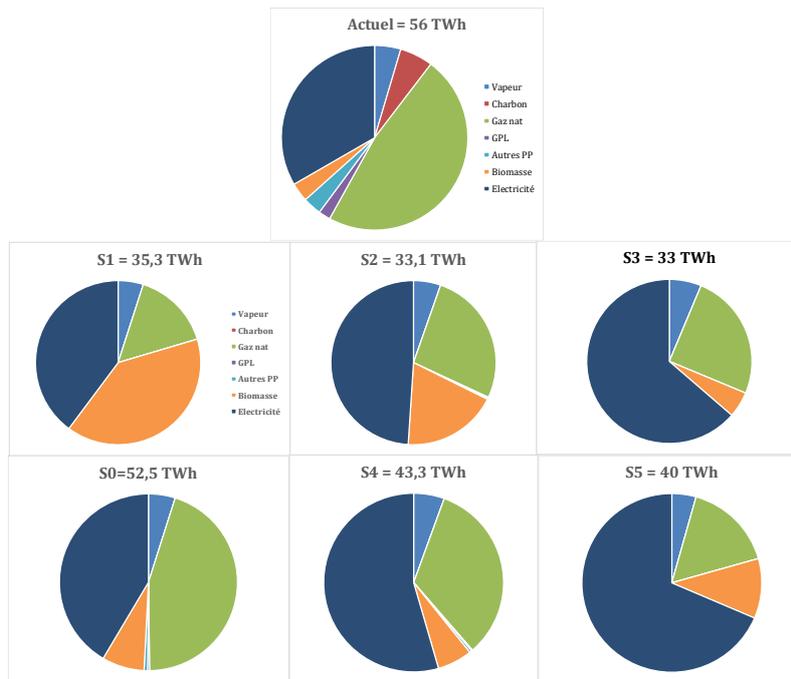


Figure 45 : Consommations d'énergie des IAA selon les scénarios

Les coefficients d'émissions sont ceux retenus pour les réseaux nationaux de gaz et d'électricité. Les émissions intègrent l'amont des productions d'énergie. La production d'électricité est totalement décarbonée pour les cinq scénarios (S1 à S5). La pénétration du gaz renouvelable est de 100% pour la SNBC, 98% pour le Scénario Coopérations territoriales, 88% pour le scénario Génération frugale. Les résultats sont présentés dans la figure suivante.

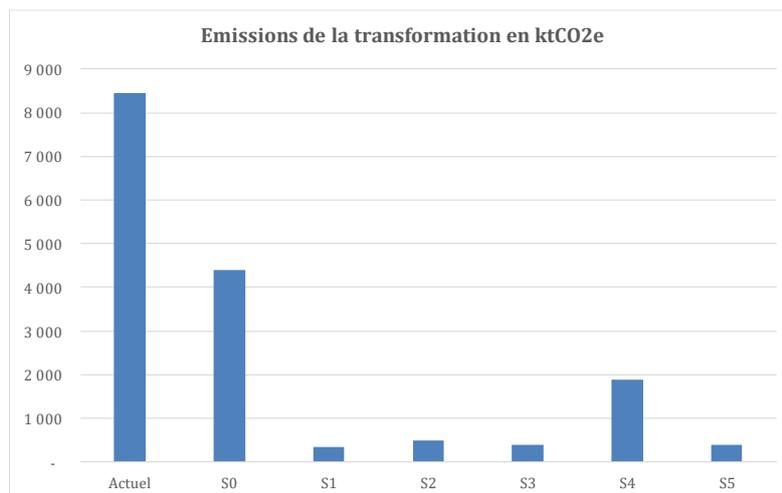


Figure 46 : Emissions de GES selon les scénarios

5. Transport de marchandises longue distance

La demande de produits alimentaires par scénario est évaluée par MoSut en lien avec la combinaison des assiettes, puis distribuée entre production domestique et internationale. Elle est dès lors intégrée dans le modèle TKM-Carbon et traitée selon les hypothèses de progrès technique et échanges extérieurs notamment qui seront présentées dans la partie méthodologique ci-après.

5.1. Méthodologie

Le modèle TKM-Carbon permet d'évaluer le trafic de produits agroalimentaires importés et produits en France pour l'alimentation de la population métropolitaine (selon la nomenclature NST). Il permet d'en calculer les émissions de CO2 en tenant compte des différents modes de transport. Cet outil s'appuie sur les données du modèle Amstram du Laboratoire METIS, complétées des distances maritimes de la base SeaDistance du Cerdi. Amstram permet de prendre en compte les trajets amonts (ordre 2 d'un trajet, en particulier pour les produits importés). Les trajets sont classés par produit, quantité transportée, lieu de départ et d'arrivée, mode de transport et distance parcourue. On ajoute un trajet amont aux trajets effectués en mode maritime et mode avion pour prendre en compte le transport routier intérieur effectué avant chargement.

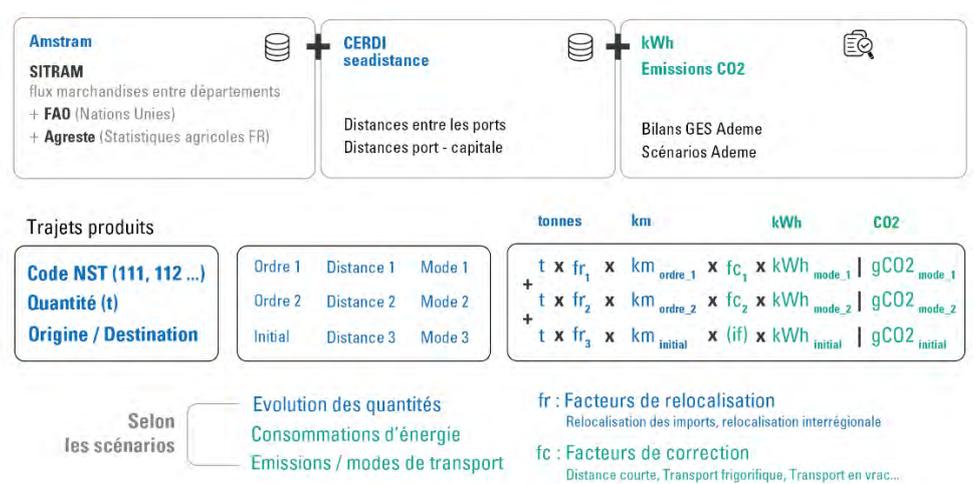


Figure 47 : Sources des données et modalités de traitement

L'outil informatique utilisé est une évolution de la base Microsoft Access utilisée lors de l'étude Cecam vers un système de base de données plus puissant, sous Postgresql.

Une table de passage entre la nomenclature NST et celle propre au projet SISAE assure une correspondance entre la demande de produits alimentaires évaluée par MoSut selon les scénarios et les flux de transports de produits alimentaires. Les résultats seront présentés selon la nomenclature SISAE étendue ou agrégée.

Le modèle permet d'effectuer des projections à l'horizon 2050 en intégrant des ratios d'évolution des quantités 2013 différenciés par produit. Une fonction de relocalisation des importations permet de privilégier les importations les plus proches lorsqu'elles diminuent. Une fonction expérimentale de relocalisation interrégionale est également testée. Une fois les différents scénarios construits, on les compare avec la situation "actuelle" et le scénario *Tendanciel*, pris alors comme référence.

5.1.1. Le calcul des tonne-kilomètres

Des facteurs différenciés selon les scénarios permettent d'intégrer des jeux d'hypothèses d'évolution des quantités et des distances parcourues à l'horizon 2050. Sont prises en compte des évolutions des échanges extérieurs, des objectifs de relocalisation de la production des produits, de distances et d'origines des trajets.

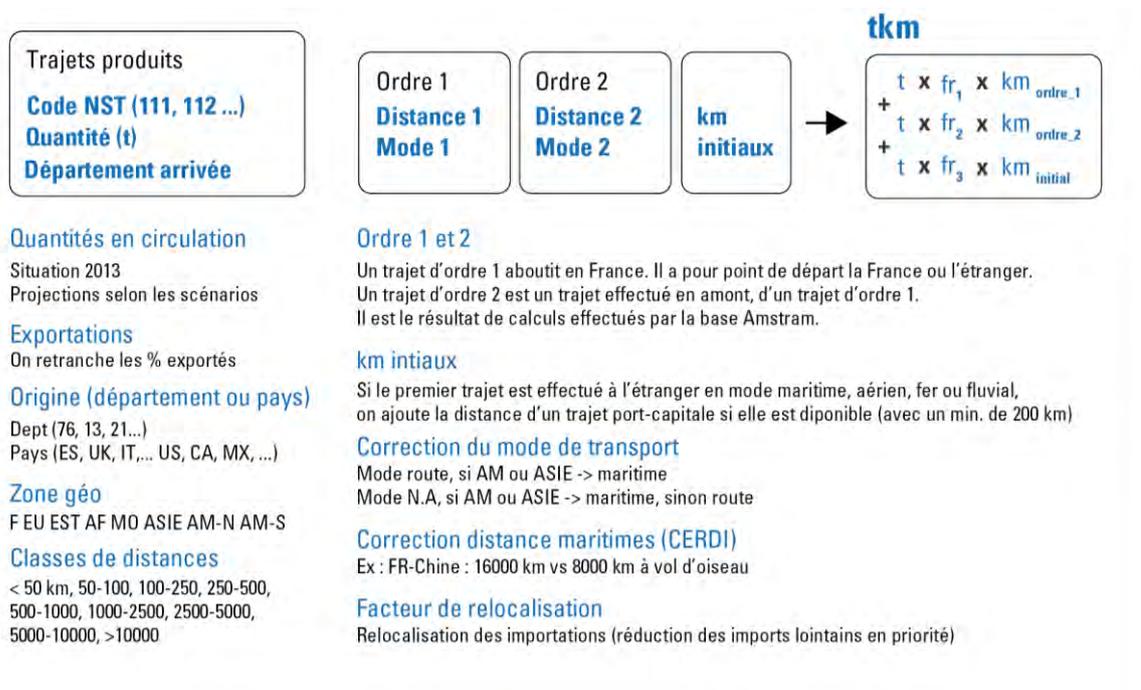


Figure 48 : Trafics en tkm - données utilisées

- **Code produit SISAE**
Les calculs internes du modèle TKM-Carbon sont effectués en conservant la classification NST des produits (classification issue de la base SITRAM, alimentant Amstram). Les produits sont regroupés par code « SISAE » en fin de calcul (C0111 - Froment, C0484 - Œufs, C0451 - Lait...) afin de pouvoir associer les résultats aux flux de produits alimentaires de l'étude.
- **Tonnes importées**
Les tonnes importées ne recouvrent pas la totalité des importations mais seulement celles qui sont destinées à la consommation domestique. Les produits exportés sont donc écartés ainsi que les importations réexportées.
- **Mode de transport non renseigné**
Lorsque le mode transport n'est pas précisé, on applique le mode maritime si le point de départ est l'Amérique ou l'Asie-Pacifique. Sinon, le mode route.
- **Transport ferroviaire**
Le modèle permet d'afficher une part du transport routier qui pourrait être effectuée en transport combiné. Cette part est calculée en prenant en compte un seuil de distance de 600 à 900 km selon les scénarios et un tonnage minimal de 19 t (cf. Annexes).
- **Transport initial**
Si le point de départ d'un trajet est en dehors de France et que le mode de transport n'est pas la route, on ajoute un trajet routier initial Port-Capitale (base SeaDistance) avec un trajet minimal de 200 km. Cette distance initiale peut être spécifiée manuellement par pays.
- **Classes de distances et zones géographiques d'origine**
Les résultats sont présentés par région du monde, zone européenne, pays européen limitrophe de la France et région française selon les besoins.
 - classes de distances : < 50, 50-100, 100-250, 250-500, 500-1000, 1000-2500, 2500-5000, 5000-10000, >10000 km
 - zones géographiques d'origine : CEI, ASIE, AfNordMO, AfSubSah, AmCent, AmSud, AmNord
 - Europe : EU NO, NE, SE, SO ; Pays limitrophes : UK, NL, BE, DE, IT, ES ; France (13 Régions)

- France, Europe et Monde : Les trajets sont regroupés en trois grandes catégories d'origine : France, Europe et Monde.
- Projection des quantités à 2050
 - Ratios 2050/2103**
On considère que l'évolution des tonnes en circulation est proportionnelle à celle des tonnes consommées. Les ratios de projections utilisés sont ceux des tonnes consommées (On en déduit les codes NST grâce à la table de passage Code SISAE -> Code NST).
 - Relocalisation des imports**
Pour les tonnes importées, ces ratios intègrent un facteur de réduction/augmentation des quantités en fonction de la distance parcourue. L'approvisionnement, même après relocalisation, reste hors de France.
 - Relocalisation interrégionale (expérimental – Fruits&Légumes uniquement)**
Facteur de réduction des quantités appliqué par code produit en fonction de la distance parcourue pour les produits d'origine Française (cf. chapitre XX).
- Calcul des trafics
Les tonne-kilomètres d'un trajet complet sont calculées de la manière suivante :
(tonnes importées) x (distance corrigée d'ordre 1 + distance corrigée d'ordre 2 + distance initiale)

5.1.2. Émissions selon les modes de transport

Pour l'année de référence, les émissions étaient calculées dans le projet CECAM en se basant sur les facteurs d'émissions des Bilans GES de l'Ademe. Elles étaient modulées en fonction du type de produit transporté (froid, vrac pour le mode maritime) et en fonction de la distance parcourue (camions articulés pour les trajets longs / porteurs pour les trajets courts, phases de décollage et d'atterrissage pour les avions). Pour ce projet ci, nous avons intégré les facteurs de consommation d'énergie et d'émissions de GES déterminés dans le cadre de la prospective Ademe, pour l'année de référence et pour les scénarios à 2050 ainsi que ceux issus de la SNBC 2. Nous n'avons ainsi limité les facteurs de correction des consommations d'énergie des poids lourds à la différenciation Poids lourds articulés et Camions porteurs, et un coefficient correcteur pour les trafics routiers effectués dans les régions hors Europe et hors Amérique du Nord. Les hypothèses seront précisées dans la partie méthodologique qui suit.

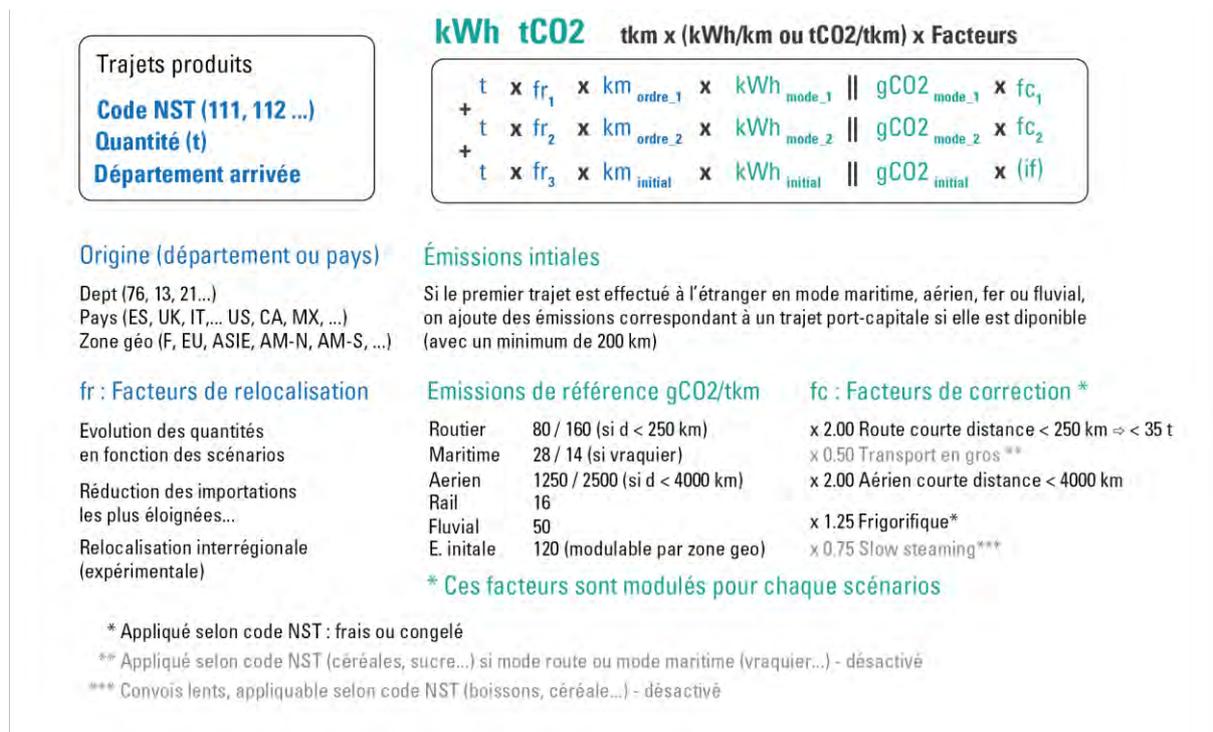


Figure 49 : Récapitulatif des indicateurs retenus

Note : Les valeurs indiquées dans l'infographie sont illustratives, les valeurs utilisées sont différenciées par scénario et sont rassemblées en annexe.

Les coefficients de consommation d'énergie et d'émissions de CO2 sont issus des hypothèses fournies par l'Ademe dans le cadre des scénarios encadrants et le rapport SNBC. Ils sont ajustés pour correspondre aux variables disponibles dans le modèle TKM-Carbon. Il en est de même pour les hypothèses de progrès technologique et mix énergétiques faites par scénario. Les émissions sont modulées de la façon suivante.

Mode route : Les coefficients de référence correspondent à un poids lourd articulé. Lorsque le trajet est inférieur à 250 km, on considère que le trajet est effectué par un camion non articulé. Les émissions sont alors augmentées d'un facteur 2 correspondant aux véhicules utilisés pour des transports régionaux⁵.

Mode ferroviaire : Les données de fret ferroviaire français étant absentes de la base Amstram pour les années 2012 et 2013, seuls figurent les trajets effectués à l'étranger. En conséquence, peu d'émissions dues à ce mode de transport apparaissent dans les résultats.

Mode transport combiné : valeur seuil de quantités et de distances de 600 à 900 km selon les scénarios (cf. Annexe). Dans cette étude, le facteur d'émissions du transport combiné est le même que celui de la route. Autrement dit, il s'agit uniquement de rendre apparent des trajets qui pourraient potentiellement être effectués en train.

Émissions initiales : On affecte les émissions équivalentes au trajet routier minimum de 200 km avant le chargement des produits transportés en mode maritime, aérien, rail et fluvial (en dehors de France). Les coefficients énergétiques et carbone retenus pour cet exercice sont ceux des poids lourds articulés. Ils sont modulés par un facteur 1,2 pour les trajets effectués hors Europe et Amérique du Nord.

Froid : On applique un facteur d'amplification x 1,25 aux émissions pour les produits devant être réfrigérés lors du transport. On ne différencie pas les produits frais des produits congelés car si le congelé nécessite des températures plus basses, le frais est, lui, plus volumineux⁶.

⁵ Thèse Ayadi, LAET.

⁶ Ibid.

Les consommations d'énergie unitaires et les émissions associées sont présentées dans les Tableau 13 et Tableau 14, il s'agit ici des coefficients avant application des facteurs de modulation indiqués précédemment. Ils sont le résultat d'hypothèses de gains d'efficacité par vecteur énergétique, des mix énergétiques et des contenus carbone des sources d'énergie (présentés en annexe).

en kWh/tkm	Fer	Route	Fluvial	Maritime	Air internat.
Référence 2015	0,038	0,307	0,078	0,029	4,000
Tendanciel	0,034	0,266	0,062	0,029	3,000
Génération frugale	0,035	0,221	0,061	0,026	3,010
Coopérations territoriales	0,029	0,185	0,058	0,028	3,010
Technologies vertes	0,026	0,166	0,053	0,027	2,819
Pari réparateur	0,023	0,150	0,056	0,027	2,818
SNBC	0,026	0,156	0,031	0,022	1,643

Tableau 13 : Hypothèses d'évolution de l'efficacité énergétique selon les modes

gCO2e/t.km	Fer	Route	Fluvial	Maritime	Air internat.
Référence 2015	3,881	97,83	24,73	9,49	1 248,0
Tendanciel	0,513	73,14	17,50	9,48	828,4
Génération frugale	0,541	21,78	9,99	6,57	686,1
Coopérations territoriales	0,361	3,61	1,67	5,12	510,0
Technologies vertes	0,178	2,60	1,08	2,46	317,4
Pari réparateur	0,128	7,70	3,88	5,34	233,7
SNBC	0,178	3,74	0,31	2,93	256,3

Tableau 14 : Hypothèses d'évolution des coefficients de GES selon les modes

5.2. Prise en compte des évolutions du commerce international

L'évaluation de la demande de transport est le fruit de trois étapes. Pour chaque scénario en comparaison avec le scénario tendanciel, nous identifions :

- la demande de produits alimentaires par la modélisation des assiettes et de la production agricole.
- la part produite en France et la part importée grâce aux hypothèses d'importations (cf ci-dessus),
- et enfin la distribution des importations selon les pays d'origine.

3.1.1. Application aux scénarios des exercices PER et SNBC

Afin de cadrer les évolutions des échanges internationaux, une variation du niveau global des importations en ordre de grandeur a été définie pour chaque scénario. Ces taux de variation sont indicatifs et adaptés selon les catégories de produits en fonction de leur nature, des hypothèses de réduction de leur consommation et des possibilités de production en France (Tableau 15). Les objectifs de réduction d'importations sont plus élevés pour les produits tempérés qui peuvent être produits en France, et plus faibles pour les produits tropicaux tels que le cacao, le café, le thé, le riz, les fruits tropicaux.

Scénarios	Descriptif	Hypothèses de réduction des imports	
		Produits tropicaux	Produits tempérés
Tendanciel	Stabilisation des échanges en volume	-	-
S1	Commerce international contracté, Economie plutôt protectionniste, Circuits courts	-60%	-90%
S2	Marché dual (commerce international plus régulé + valorisation territoriale), protectionnisme ciblé (social et environnemental)	-40%	-70%
S3	Planification nationale (et européenne) via encadrement acteurs privés	-	-20%
S4	Globalisation, très mondialisé avec spécialisations territoriales (avantages comparatifs)	-	+20%
S5	Relative stabilité des échanges	-	- 5%

Tableau 15 : Cadrage des évolutions des échanges selon les scénarios

Les flux d'importations et d'exportation sont estimés pour chaque scénario à partir du solde net et des flux actuels pour chaque produit. Le solde net est obtenu par différence entre la production et la demande intérieure.

Dans un premier temps on estime ensuite les flux d'importation et d'exportation en affectant les flux actuels d'un prorata sur le solde.

Pour le scénario tendanciel, on va ainsi considérer que si le solde est doublé, on va également doubler les importations et les exportations. Dans ce scénario tendanciel, la production diminue de 22%, la consommation de 3%, les exportations de 8%, tandis que les importations augmentent de 82%.

Pour le scénario Génération frugale, on cherche à minimiser les flux transportés, on va donc considérer en première approche qu'un produit pour lequel le solde net est exportateur, ne fera l'objet d'aucune importation. En réalité on conserve tout de même des importations, pour tenir compte de la réalité des marchés et du fait que dans chaque produit (blé...) il existe de nombreuses catégories (blé dur, farine, pâtes, semoule...) dont les soldes peuvent être exportateurs pour les uns et importateurs pour les autres. La « relocalisation » ne sera donc pas intégrale, même dans le scénario 1. Dans ce scénario, les exportations et les importations diminuent de respectivement 60 et 71% On distingue par ailleurs les produits « tropicaux » des produits « tempérés », c'est-à-dire les denrées qui ne peuvent pas être produites en France métropolitaine, des autres qui peuvent donc faire l'objet d'une relocalisation. Les produits « tropicaux » sont principalement le soja (qui ne peut être produit en France qu'en quantité réduite), certains fruits (ananas, agrumes, banane, dattes...), le café, thé et cacao, certains oléagineux (arachide, coco, sésame...), les épices, le riz, et l'on a ajouté le poisson.

Dans le Scénario Pari réparateur, la réduction des flux n'est pas une priorité, néanmoins on cherche une certaine maîtrise de la consommation et des transports par rapport au scénario tendanciel : les importations de produits tropicaux n'augmentent que de 2% et celles de produits tempérés de 10%.

Les scénarios Coopérations territoriales et Technologies vertes sont construits avec des hypothèses intermédiaires entre le scénario tendanciel et le Scénario Pari réparateur. Le scénario SNBC est quant à lui proche des scénarios Croissance verte et Pari réparateur.

Le bilan emplois-ressources par scénario (Figure 50) intègre également les hypothèses faites sur les échanges internationaux des produits transformés présentées en 3^{ème} partie. Les soldes extérieurs restent exportateurs en volume quelques soient les scénarios.

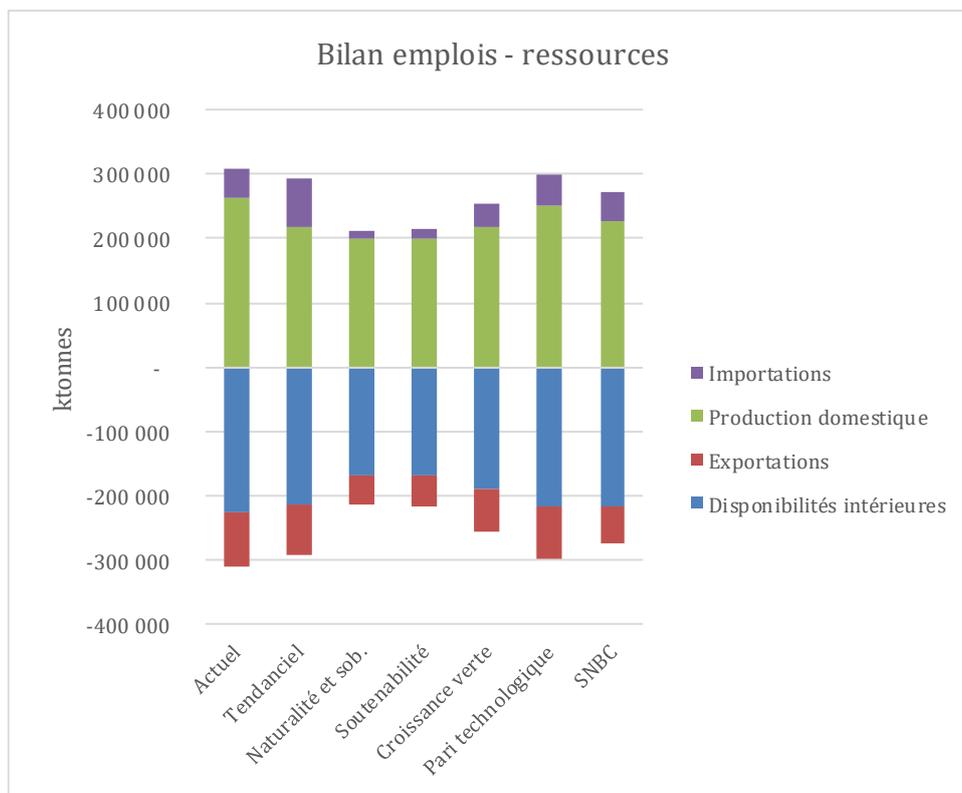


Figure 50 : Evolution de la production, des disponibilités intérieures et des flux d'importation et d'exportation

Afin de raisonner en termes d'empreinte, nous estimons dès lors la répartition des disponibilités intérieures selon qu'elles sont produites en France ou à l'étranger, au prorata de la production domestique et des importations (Figure 51). L'évaluation des transports associés est faite à partir de ces volumes produits en France ou importés à destination de la consommation domestique.

Nous estimons ainsi que 26% des disponibilités intérieures sont importées dans le scénario Tendanciel contre 7% dans le scénario Génération frugale.

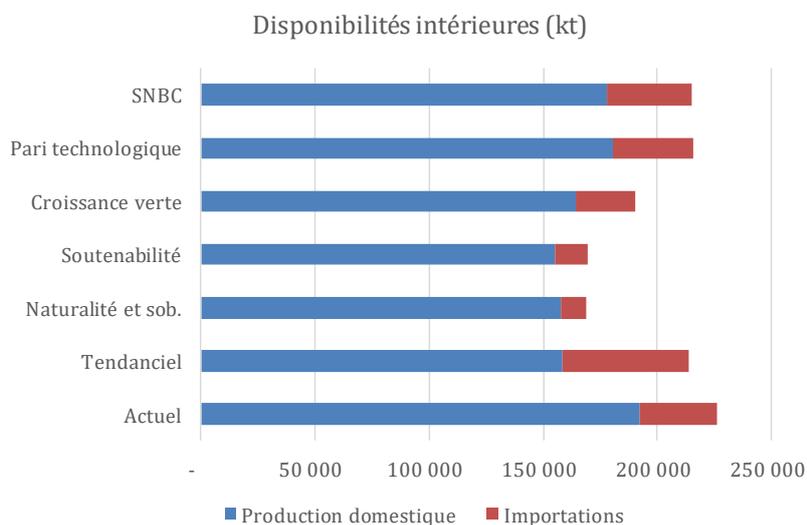


Figure 51 : Origine des disponibilités intérieures

5.2.1. Distribution des importations selon les pays d'origine

Importations d'origine extra-européenne

Les émissions liées au transport en $\text{teqCO}_2/\text{tonne}$ importée sont plus élevées pour les pays extra-européens que pour les pays européens, malgré l'importance de la part maritime dans les trajets extra-européens moins émissive par tonne kilomètre. La plus faible consommation énergétique des navires ne compense pas les longues distances parcourues pour les trajets intercontinentaux par rapport aux trajets intra-européens. Les émissions liées à la production et celles liées au changement d'usage des sols sont également plus élevées pour les pays hors Europe du fait de rendements à l'hectare souvent plus faibles, sauf exception.

Ces critères jouant dans le même sens, la règle adoptée est de réduire en priorité les importations hors Europe et de les substituer par des productions domestiques. Une préférence est de plus introduite en faveur des pays d'Afrique du Nord et Moyen-Orient par rapport aux autres régions du monde.

Importations d'origine européenne

A l'intérieur de l'Europe, les écarts d'émissions à la production et celle liées aux changements d'usage des sols, entre les pays, sont réduits. Il n'y a pas lieu d'établir de priorité entre pays européens sur ces critères. Cependant, nous donnerons une priorité aux pays frontaliers de la France afin de limiter la demande de transport.

Encadré : La relocalisation des importations dans le modèle tkm-carbon

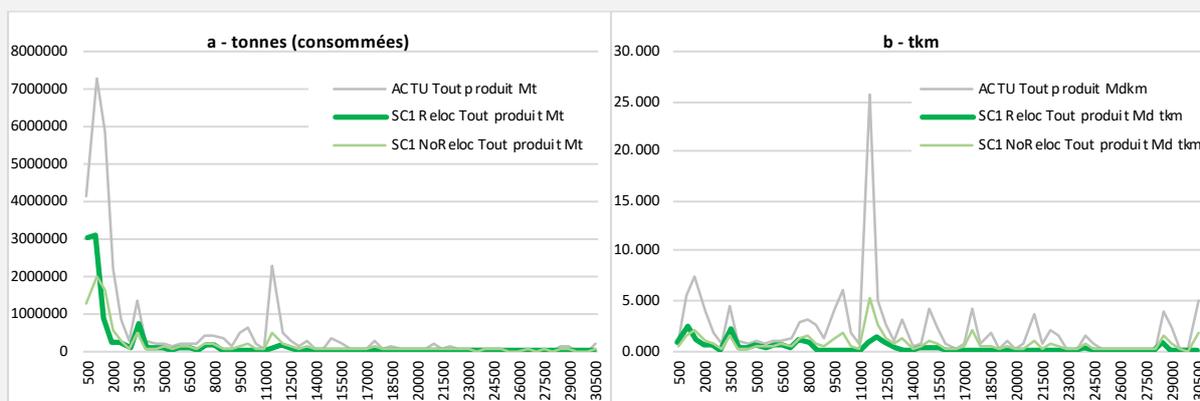
Le principe est de réduire les importations les plus lointaines. Vu qu'on ne considère ici que les tonnes importées, l'approvisionnement, même après relocalisation, reste hors de France.

Lorsque les besoins en importations de la France en 2050 sont en baisse par rapport à 2013, on importe en priorité les produits ayant parcouru les plus faibles distances et évitons d'importer les productions les plus éloignées. Les produits viendront donc, par conséquent, en priorité des pays frontaliers, puis d'Europe en enfin du reste du monde (il ne s'agit pas d'un choix explicite de pays d'origine des produits). Nous mobilisons en priorité les capacités exportatrices des pays partenaires les plus proches, le plafond étant le niveau d'importations atteint en 2013. Les points d'approvisionnement les plus proches sont donc d'abord saturés, puis les suivants dans l'ordre croissant des classes de distance jusqu'à épuisement de la demande.

Lorsque les besoins en importations de la France en 2050 sont en hausse par rapport à 2013, les quantités supplémentaires sont distribuées entre pays partenaires de manière identique à celle de 2013.

Exemple pour le scénario *Génération frugale*

- Distribution actuelle des trajets
- Distribution des trajets pour la quantité consommée en 2050 **sans** relocalisation
- Distribution des trajets pour la quantité consommée en 2050 **avec** relocalisation



Sans relocalisation (●→●)

On distribue les quantités 2050 proportionnellement à la distribution 2013. Les courbes de distribution en 2050 sans relocalisation (●) ont alors une forme similaire à celles de 2013 (●) en tonnes (a) comme en tkm (b). Les valeurs sont cependant largement inférieures à celles de 2013 car les importations chutent de 70%.

Avec relocalisation (●→●)

Les importations étant inférieures aux niveaux d'importations de 2013, on peut choisir de s'approvisionner au plus près.

On voit ainsi sur le graphe de gauche (a) que les tonnes importées situées au-delà de 4000 km sont très largement évitées.

Sur le graphe de droite (b), en tonne-kilomètres, cela se traduit par l'évitement des milliers de tkm parcourus par les produits situés dans les classes de distances supérieures à 8000 km.

On voit en particulier s'aplatir le pic situé vers 12000 km.

5.3. Résultats

5.3.1. Situation 2013 et Scénario Tendanciel

Le scénario *Tendanciel*, référence pour les comparaisons avec les autres scénarios, est une projection de la situation 2013 présentée ci-dessous. En 2013, 25% des tkm étaient parcourus en France, 13% en Europe et 61% dans le reste du monde. Certains produits circulent en grandes quantités sur de faibles distances, comme le froment, les fruits ou le lait. D'autres produits circulent en faibles quantités sur de longues distances, tels que les bananes ou le riz. Enfin, on note le cas des tourteaux générant près de 50 Mdtkm à eux seuls.

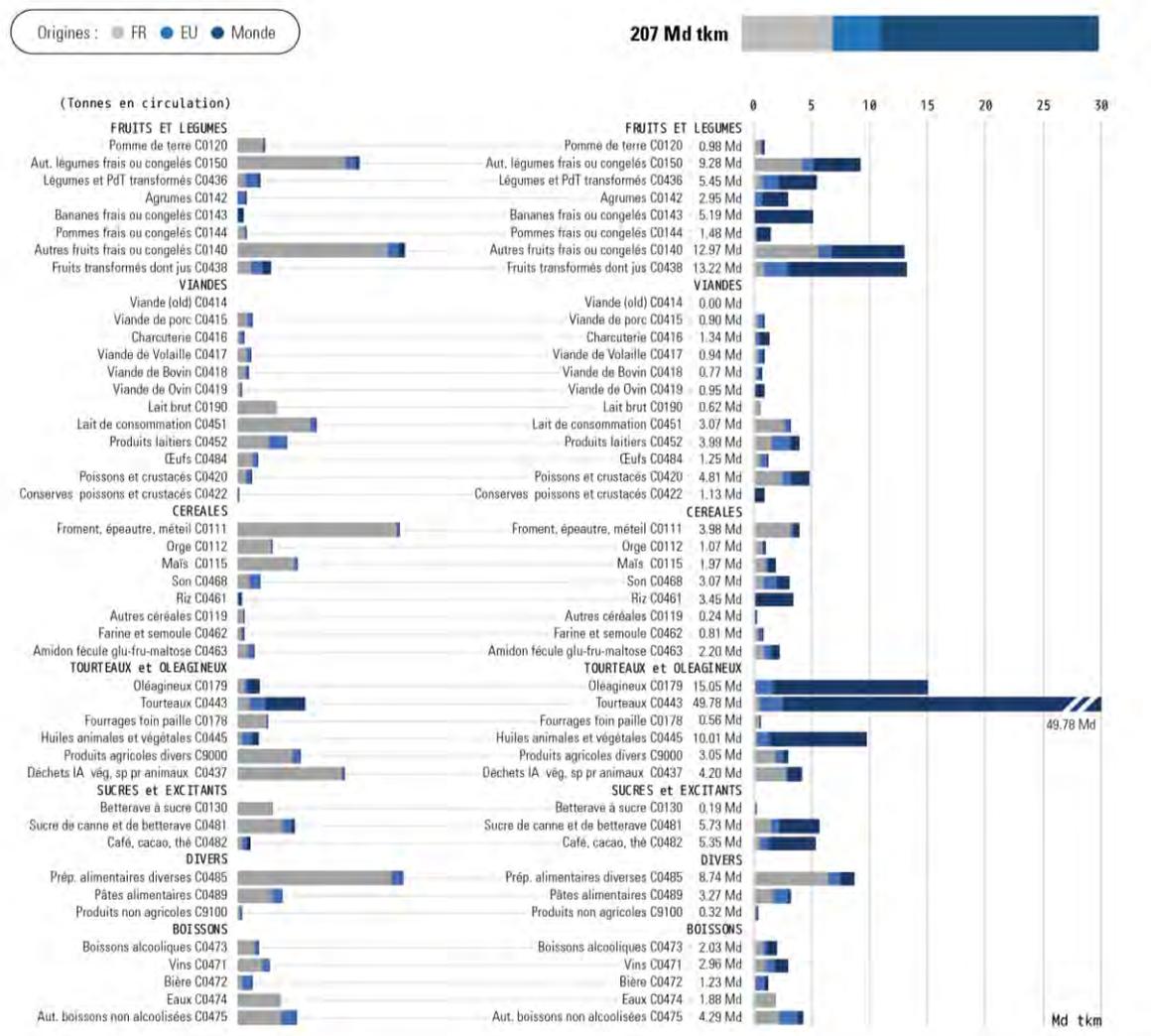


Figure 52 : Situation 2013 – Origines produits France, Europe et Monde

Trajets d'origine Monde. On note l'importance de l'origine Monde des trajets pour les oléagineux, huiles et tourteaux, mais également pour les fruits, en particulier les jus. Ces produits font plus de 5000 km en moyenne par trajet.

Trajets d'origine Europe. *A contrario*, on note l'importance de l'origine européenne de certains produits comme les boissons, la viande et les produits laitiers.

Trajets d'origine France. On note l'importance de l'origine française des céréales et des préparations alimentaires diverses, mais aussi du lait.

Note : les distances parcourues en Europe par des produits ayant été chargés en dehors de l'Europe sont comptabilisées dans la catégorie « Origine Monde » (ils n'apparaissent pas dans les catégories Europe ou France).

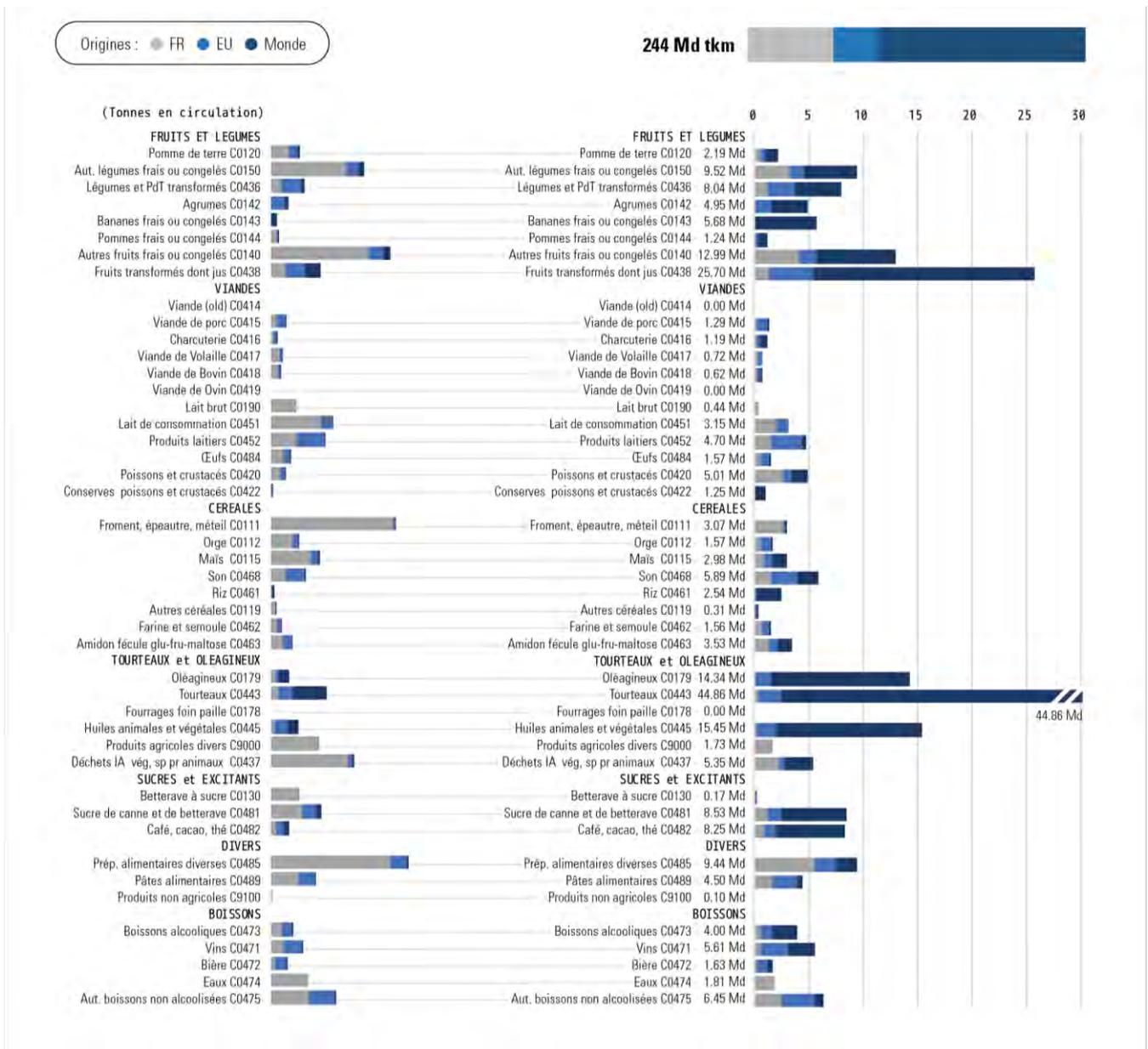


Figure 53 : Scénario Tendanciel – Origines produits France, Europe et Monde

19% des tkm sont parcourus en France, 19% en Europe et 62% dans le reste du monde.

Par rapport à la situation actuelle, le scénario *Tendanciel* intègre une hausse de la population et une baisse du gaspillage (cf. chapitre XX). Cela se traduit par une légère baisse des tonnes en circulation (-3%). Cependant, cette baisse se situe essentiellement en France, les tonnes en circulation augmentent dans le reste du monde (FR : -17%, EU : 71%, MD : 28%). La principale conséquence en est l'augmentation du nombre de tonne-kilomètres parcourus par rapport à la situation actuelle : +18%. Cette hausse est inégalement répartie : +69% en Europe contre +19% dans le reste du monde. En France, on observe une légère baisse des tkm parcourus : -10%.

S0/SA | FR : 47 Mdtkm (-10%) | EU : 46 Mdtkm (+69%) | Monde : 150 Mdtkm (+19%) | Total : 244 Mdtkm (+18%)

Note : les distances parcourues en Europe par des produits ayant été chargés en dehors de l'Europe sont comptabilisées dans la catégorie « Origine Monde » (ils n'apparaissent pas dans les catégories Europe ou France).

5.3.2. Trafic total par région d'origine selon les scénarios

5.3.2.1. Origine France / Europe / Monde

Les trafics totaux de produits alimentaires sont estimés à 206 Gtkm pour les années de référence. Ils sont en croissance dans le scénario tendanciel à l'horizon 2050 (+18%), croissance à l'international tant depuis l'Europe que le reste du monde. Les trafics dans les Scénarios Génération frugale et Cooperations territoriales sont à l'inverse divisés par trois, atteignant respectivement 71 Gtkm et 66 Gtkm. Cette réduction forte des trafics internationaux pour ces deux scénarios ne se traduit pas par une hausse des trafics de produits domestiques, les besoins pour l'alimentation humaine et pour l'alimentation animale étant réduits également. Les trafics pour les produits domestiques varient de 43,7 Gtkm pour le scénario Génération frugale à 55,7 Gtkm pour le Scénario Pari réparateur. Pour mémoire, les trafics pour les produits domestiques étaient évalués à 46 Gtkm pour les années 2012-2014 (CECAM).

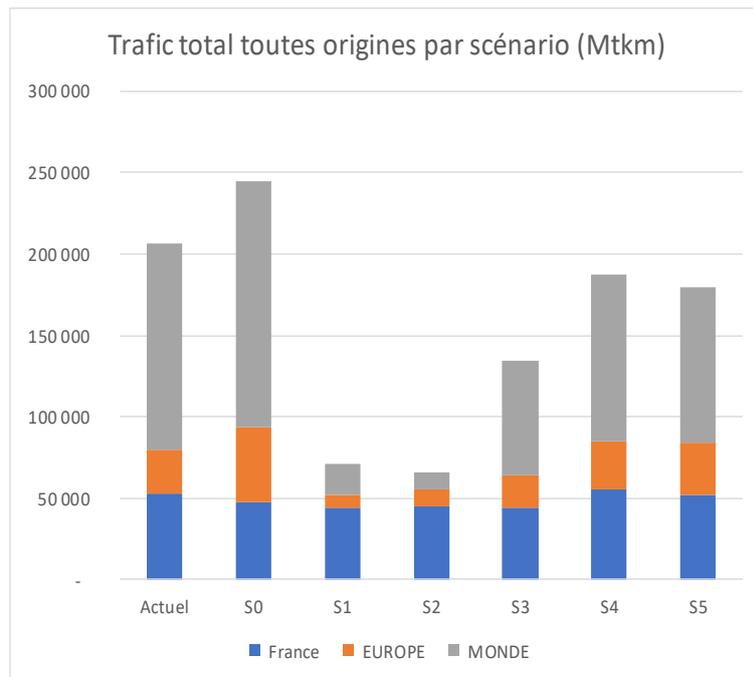


Figure 54 : Trafic total par région d'origine de la production

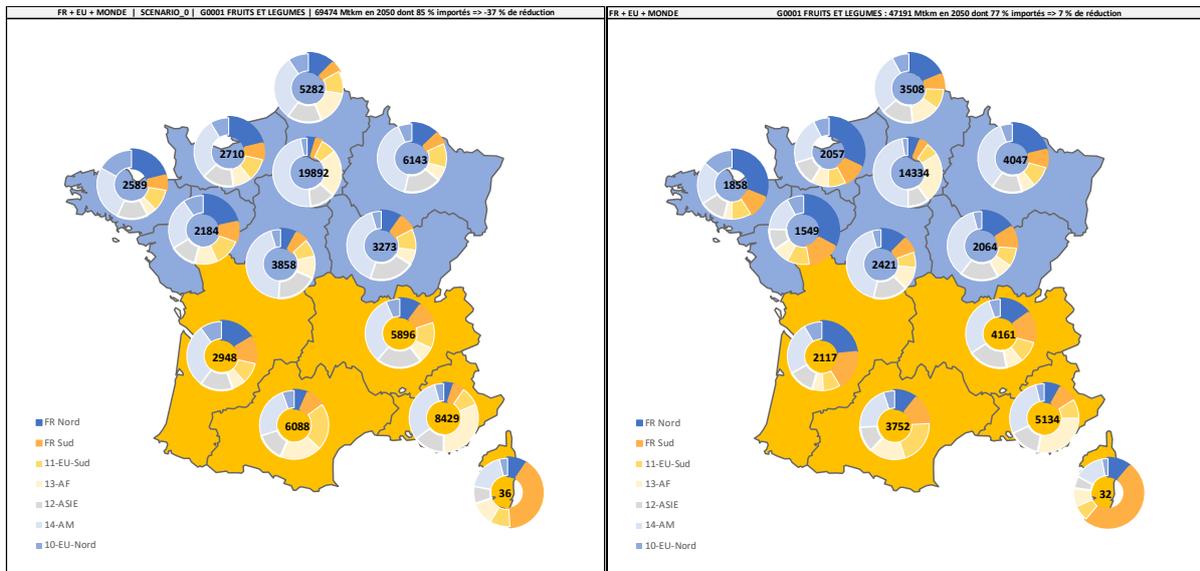
5.3.2.2. L'impact de la relocalisation des imports

Tendanciel

70 Md tkm, imports 85% → + 37% de tkm

Pari réparateur

47 Md tkm, imports 77% → - 7% de tkm [- 33% de tkm]



Technologies vertes

28 Md tkm, imports 61% → - 44% de tkm [- 60% de tkm]

Génération frugale

18 Md tkm, imports 30% → - 65% de tkm [- 74% de tkm]

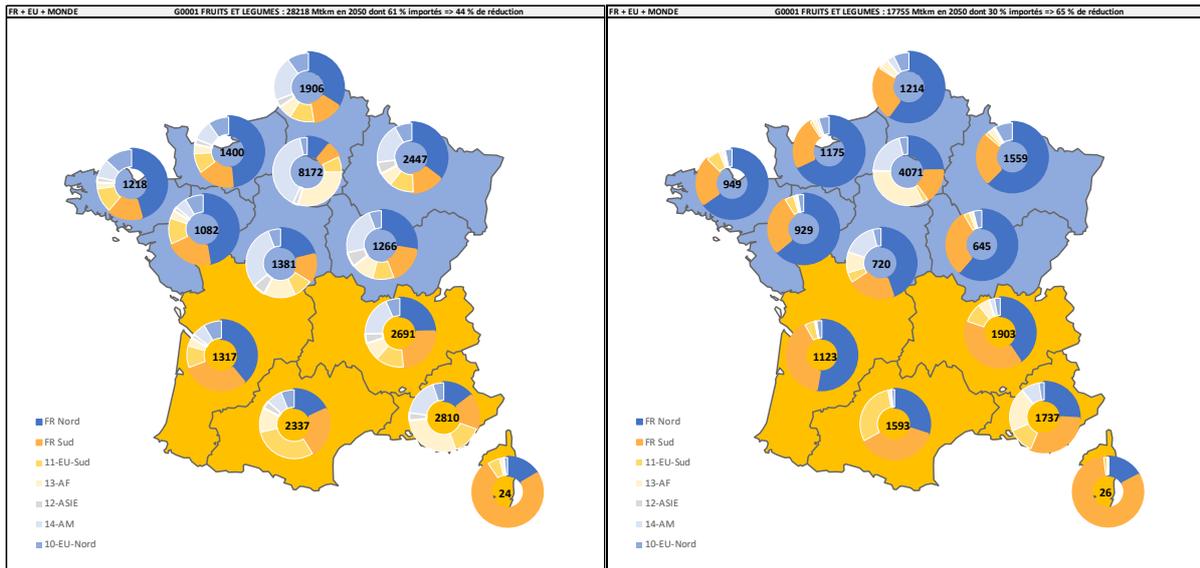


Figure 55 : Fruits & Légumes

Comparaison avec 2013 (●) et avec le scénario Tendanciel (●)

La baisse des imports de fruits et légumes permet d'éviter de 7 à 65% de tkm par rapport à 2013 selon les scénarios. Pour les scénarios *Technologies vertes* et *Génération frugale*, on voit nettement diminuer les parts provenant du Monde hors Europe, qui figurent en teintes claires sur les graphes.

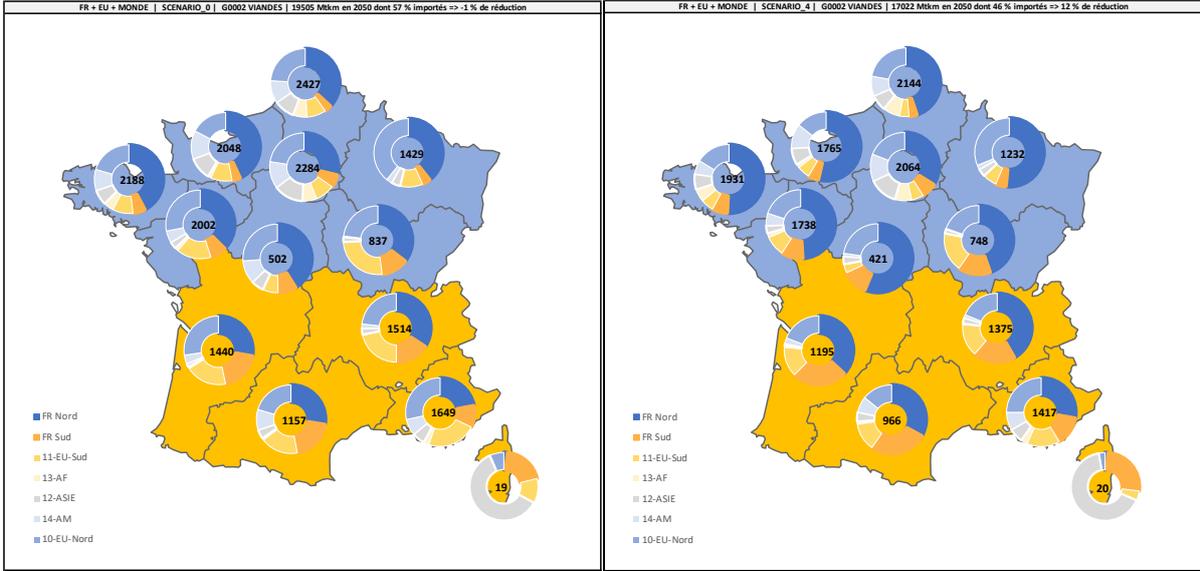
Les tonne-kilomètres du scénario *Tendanciel* étant significativement en augmentation comparées à la situation 2013 (+37%), les pourcentages de tkm évités sont plus importants par rapport au scénario *Tendanciel* (●) que ceux calculés par rapport à la situation 2013 (●).

Tendanciel

19 Md tkm, imports 57% → - 1% de tkm

Pari réparateur

17 Md tkm, imports 46% → - 12% de tkm [- 11% de tkm]



Technologies vertes

12 Md tkm, imports 42% → - 38% de tkm [- 37% de tkm]

Génération frugale

6 Md tkm, imports 20% → - 66% de tkm [- 68% de tkm]

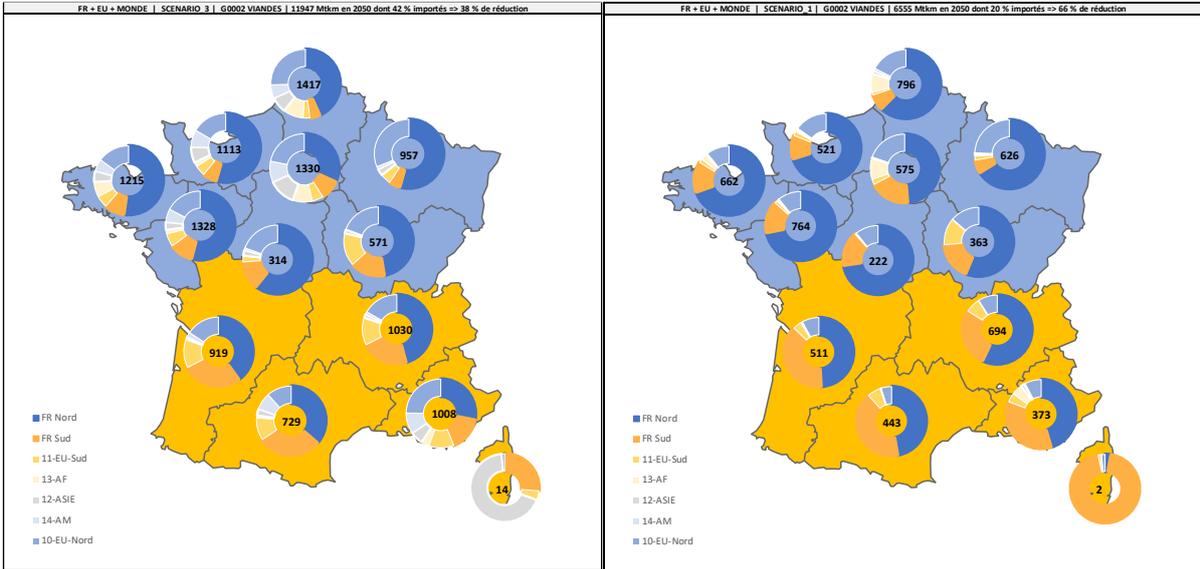


Figure 56 : Viande - Comparaison avec 2013 (●) et avec le scénario Tendanciel (●)

La baisse des imports de viande permet d'éviter de 11% à 68% de tkm selon les scénarios.

Dans le scénario *Génération frugale*, on remarque que les imports hors Europe sont presque entièrement évités, et que seule subsiste une faible part des imports en provenance d'europe.

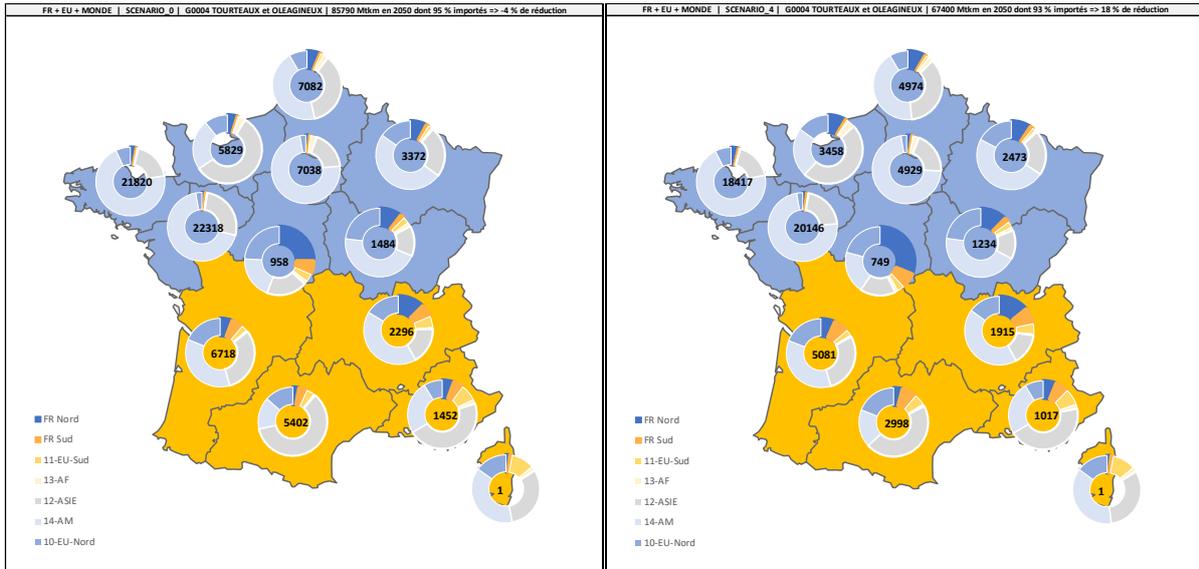
Les tonne-kilomètres du scénario *Tendanciel* étant très proches des tkm 2013, les pourcentages de tkm évités sont les mêmes par rapport à la situation 2013 et au scénario *Tendanciel*.

Tendanciel

82 Md tkm, imports 95% → - 4% de tkm

Pari réparateur

67 Md tkm, imports 93% → - 18% de tkm [- 18% de tkm]



Technologies vertes

62 Md tkm, imports 94% → - 24% de tkm [- 24% de tkm]

Génération frugale

19 Md tkm, imports 88% → - 77% de tkm [- 77% de tkm]

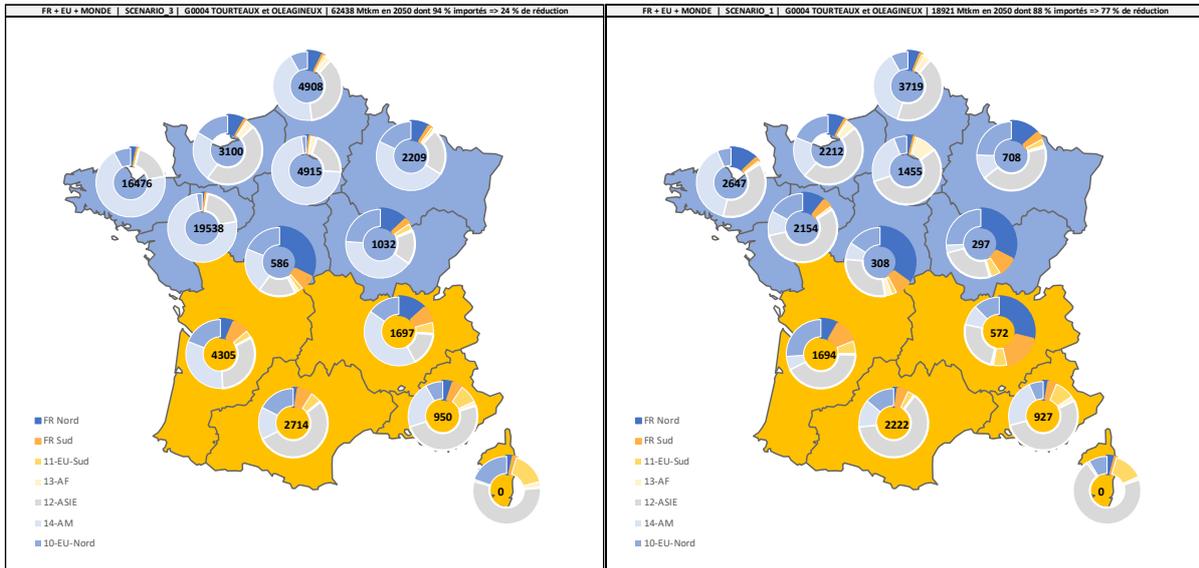


Figure 57 : Tourteaux et oléagineux
Comparaison avec 2013 (●) et avec le scénario Tendanciel (●)

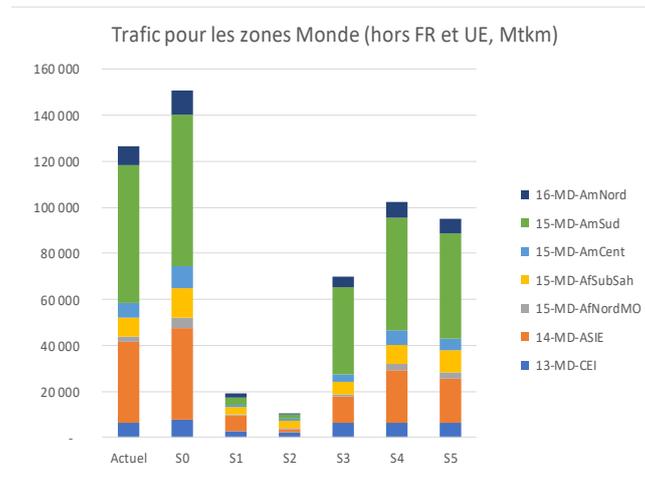
Avec de 88% à 95% d'import selon les scénarios, la dépendance envers l'étranger pour l'approvisionnement en tourteaux et oléagineux reste très forte.

On arrive cependant à réduire de 77% les tkm dans le scénario *Génération frugale* en rapatriant une partie des imports en Europe du Nord notamment.

Les tonne-kilomètres du scénario *Tendanciel* étant très proches des tkm 2013, les pourcentages de tkm évités sont les mêmes par rapport à la situation 2013 et au scénario *Tendanciel*.

5.3.3. Trafics par classe de produits et région d'origine

Concernant les trafics internationaux hors Europe, la part des trafics en provenance du continent américain, principalement d'Amérique du Sud, représentent plus de la moitié des trafics totaux hors Europe pour tous les scénarios pour lesquels les échanges commerciaux restent à haut niveau (Tendanciel, Croissance verte, Pari réparateur et SNBC). C'était déjà le cas pour les années de référence. La zone américaine ne représente plus que 27% et 22% des trafics internationaux hors Europe pour les Scénarios Génération frugale et Coopérations territoriales, du fait notamment de la réduction des besoins en tourteaux et produits tropicaux. La distribution des zones d'origine hors Europe des importations étant plus équilibrée pour ces deux scénarios.



Les produits agricoles et alimentaires ont été regroupés en 7 classes, les trafics sont présentés dans les cartes suivantes (

). Le détail de ces trafics est présenté en annexe 11.4.

Si les tonne-kilomètres parcourus par les produits d'origine française sont du même ordre de grandeur entre scénarios (de 44 et 52 Md tkm), en revanche, les tkm importés sont très différents d'un scénario à l'autre, allant de 10 Md tkm pour le scénario *Coopérations territoriales* à 244 Md tkm pour le scénario *Tendanciel*, soit 24 fois plus. Les tkm importés sont très largement inférieurs dans les scénarios *Génération frugale* (S1) et *Coopérations territoriales* (S2) : -71 à -73% par rapport au scénario *Tendanciel*.

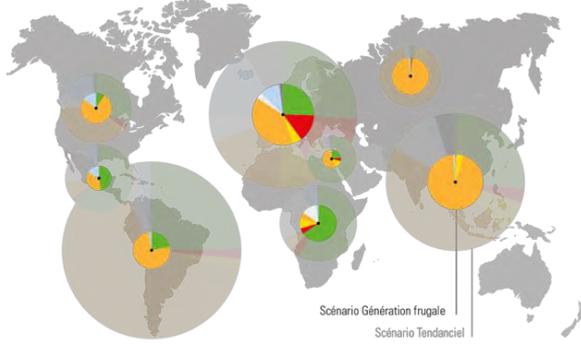
On remarque cependant quelques différences dans les effets de la relocalisation des importations pour les scénarios S1 et S2, en particulier les tkm importés en provenance de l'Europe sont davantage évités dans le scénario S1 que dans S2 (-83% vs -77%) alors que c'est l'inverse pour les tkm importés depuis le reste du monde (-87% pour S1 vs -93% pour S2).

Les produits qui restent importés présentent aussi des différences, notamment les tourteaux en provenance d'Amérique, qui disparaissent dans S2 alors qu'ils sont présents dans S1.

Pour les scénarios *Technologies vertes*, 45% des tkm importés restent évités, mais cette quantité diminue à 26% pour les scénarios *Pari réparateur* et *SNBC*.

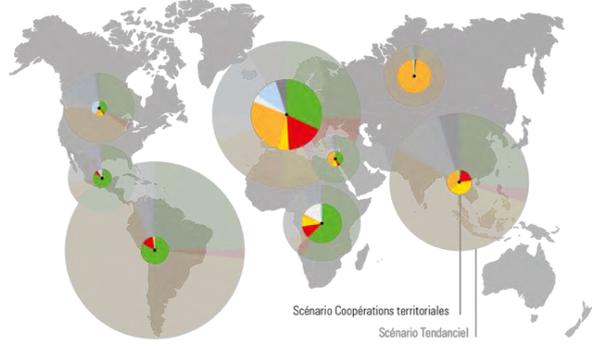
Scénario Génération frugale

S1 | FR : 44 Mdtkm (-8%) | EU : 8 Mdtkm (-83%) | Monde : 19 Mdtkm (-87%) | Total : 70 Mdtkm (-71%)



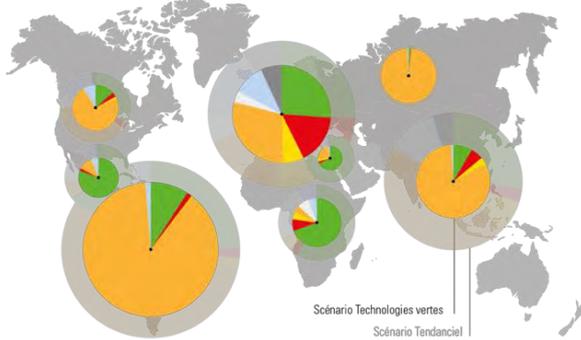
Scénario Coopérations territoriales

S2 | FR : 44 Mdtkm (-7%) | EU : 10 Mdtkm (-77%) | Monde : 10 Mdtkm (-93%) | Total : 65 Mdtkm (-73%)



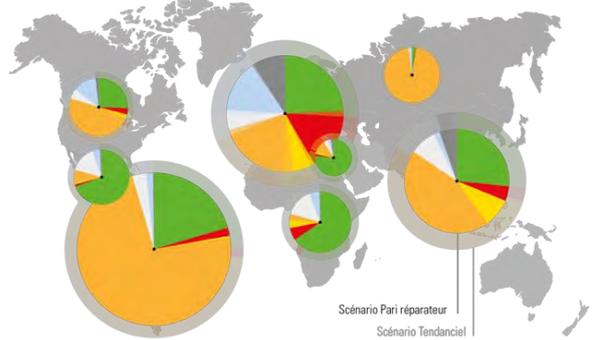
Scénario Technologies vertes

S3 | FR : 44 Mdtkm (-7%) | EU : 20 Mdtkm (-56%) | Monde : 70 Mdtkm (-54%) | Total : 134 Mdtkm (-45%)



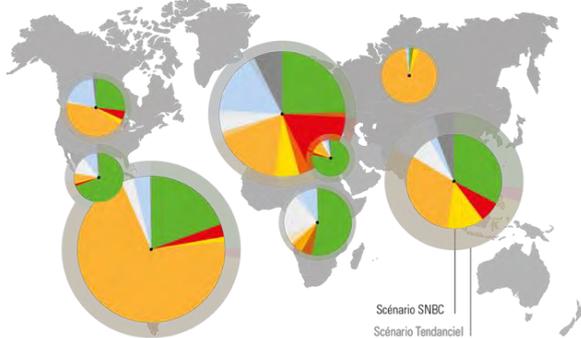
Scénario Pari réparateur

S4 | FR : 50 Mdtkm (+5%) | EU : 29 Mdtkm (-37%) | Monde : 102 Mdtkm (-32%) | Total : 181 Mdtkm (-26%)



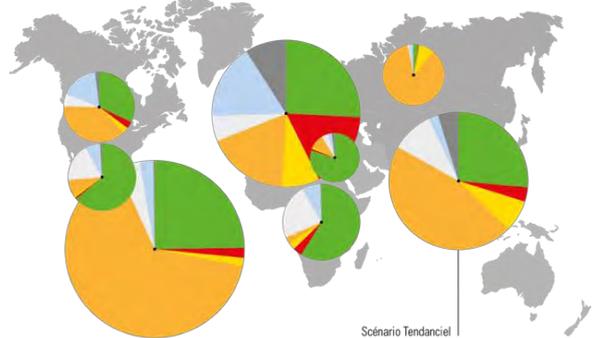
Scénario SNBC

S5 | FR : 52 Mdtkm (+10%) | EU : 33 Mdtkm (-29%) | Monde : 95 Mdtkm (-37%) | Total : 180 Mdtkm (-26%)



Scénario Tendanciel

S0 | FR : 47 Mdtkm | EU : 46 Mdtkm | Monde : 150 Mdtkm | Total : 244 Mdtkm



(% = évolution par rapport au scénario Tendanciel)

Figure 58 : Trafics par classe de produits et région d'origine

5.3.4. Résultats par scénario et par mode de transport

5.3.4.1. Les trafics évités selon les scénarios

Selon les scénarios, de 3% à 23% des tonnes en circulation sont évitées par rapport à 2013. Cela se traduit par un évitement bien plus important en nombre de tonne-kilomètres, du fait des transports longue distance évités. Par rapport au scénario *Tendanciel*, l'écart entre les scénarios est très marqué : on évite 73% des tonne-kilomètres, essentiellement maritimes, 151 Mdtkm se réduisant à 11 Mdtkm dans le scénario *Coopérations territoriales*, soit 94%.

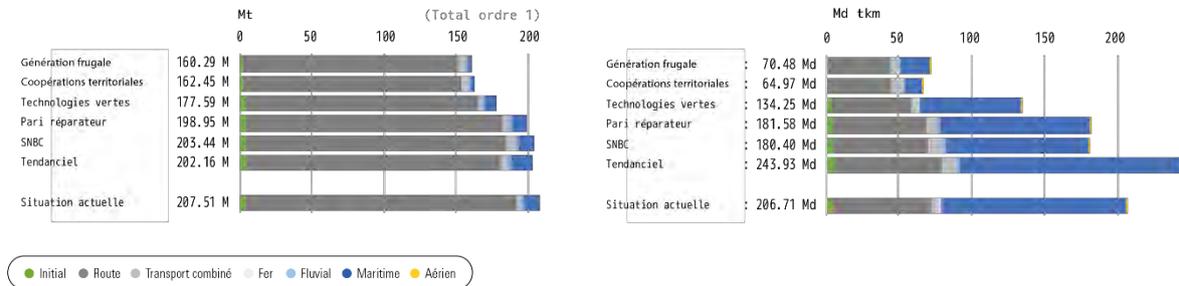


Figure 59 : Les trafics évités selon les scénarios



Figure 60 en page suivante présente par scénario les trafics par mode et classe de produits. Ainsi que nous l'avons décrit dans le projet CECAM pour les années de référence, les trafics les plus importants concernent les tourteaux et oléagineux, ainsi que les fruits (ils comprennent les jus de fruits et représentent 70% du trafic de la catégorie Fruits & Légumes). Pour ces produits, comme pour les excitants (thé, café, cacao), le transport maritime est le mode principal. Viennent ensuite les trafics de viandes et poissons (20 Gtkm). Parmi ceux-ci les produits laitiers et le lait représentent 7,7 Gtkm, les poissons 5,9 Gtkm, les viandes 4,9 Gtkm, le reste étant les

œufs (1,3). Le trafic des préparations alimentaires diverses et pâtes alimentaires est également conséquent, et atteint 15 Gtkm.

Les scénarios Génération frugale et Coopérations territoriales sont caractérisés par une contraction importante des échanges internationaux conduisant à une division par 3 des trafics au regard de la situation actuelle comme nous l'avons vu précédemment. La réduction forte des importations en provenance d'autres continents conduit à limiter également substantiellement la part du mode maritime. La baisse du trafic routier est plus limitée, elle est de 35% entre aujourd'hui et 2050 dans ces deux scénarios. La hiérarchie des trafics par classe de produits n'est pas modifiée par rapport à la situation actuelle, à l'exception du transport des huiles qui reste élevé dans le Scénario Génération frugale du fait en partie d'importations de biocarburants en provenance notamment d'Asie.

Dans le scénario Génération frugale, le trafic de fruits et légumes est de 18 Gtkm en 2050 contre 51 Gtkm aujourd'hui. Les réductions de trafics les plus fortes concernent les produits transformés : les jus de fruits notamment (jus d'orange) et les légumes et pommes de terre transformés dont une partie de la transformation est relocalisée en France.

Le trafic de viandes et poissons est de 6,6 Gtkm dont la moitié concerne les produits laitiers. Parmi les produits à base de céréales, la moitié du trafic concerne le transport du froment contre $\frac{1}{4}$ aujourd'hui. Les trafics de riz, farines et produits amylacés sont les plus fortement réduits.

Les transports de tourteaux chutent très fortement avec une essentiellement européenne et française, ils n'atteignent plus que 0,8 Gtkm dans ce scénario. Le trafic des sucres et excitants est de 2,3 Gtkm contre 11 Gtkm aujourd'hui.

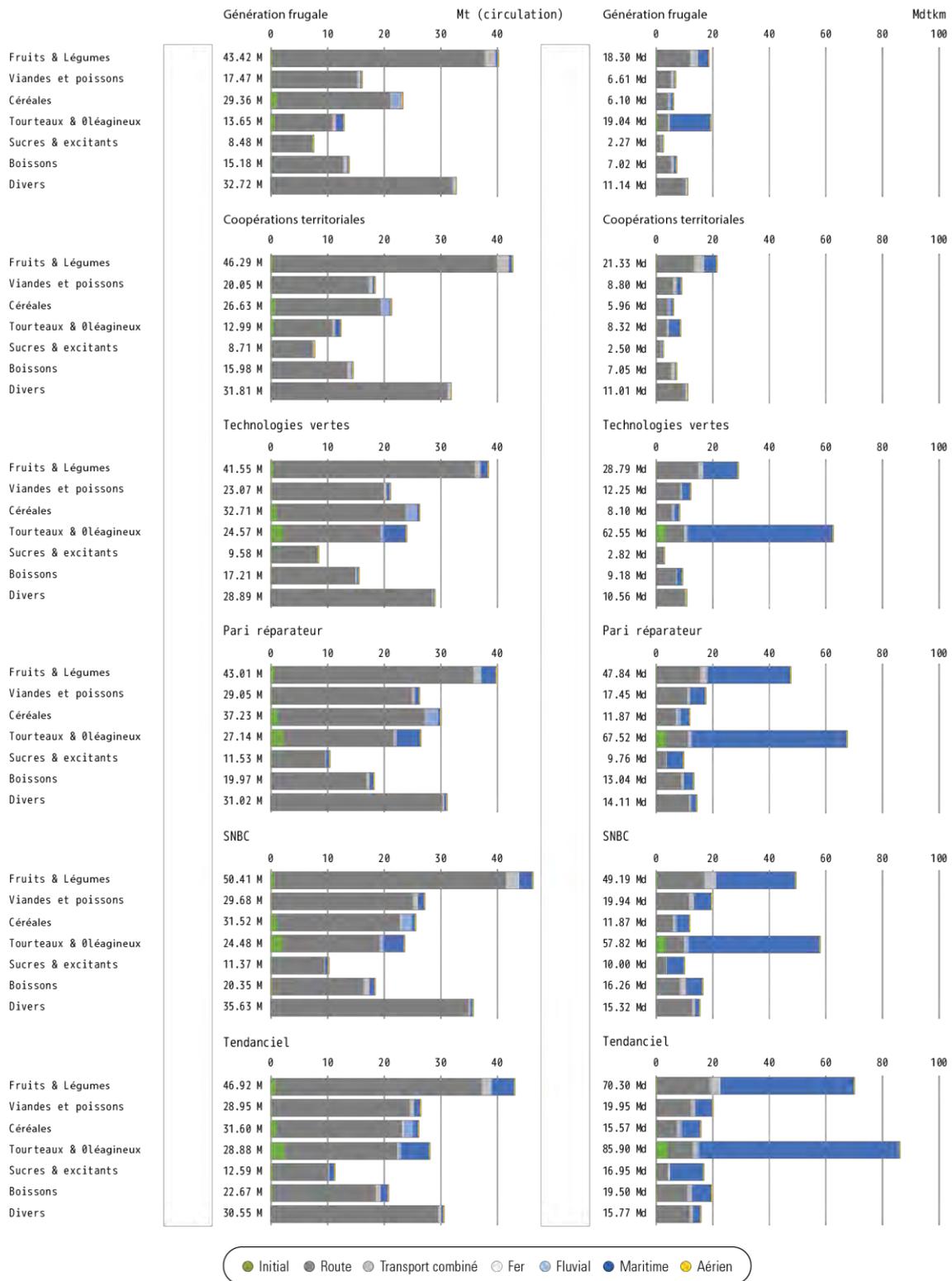


Figure 60 : Trafics par mode et par classe de produits

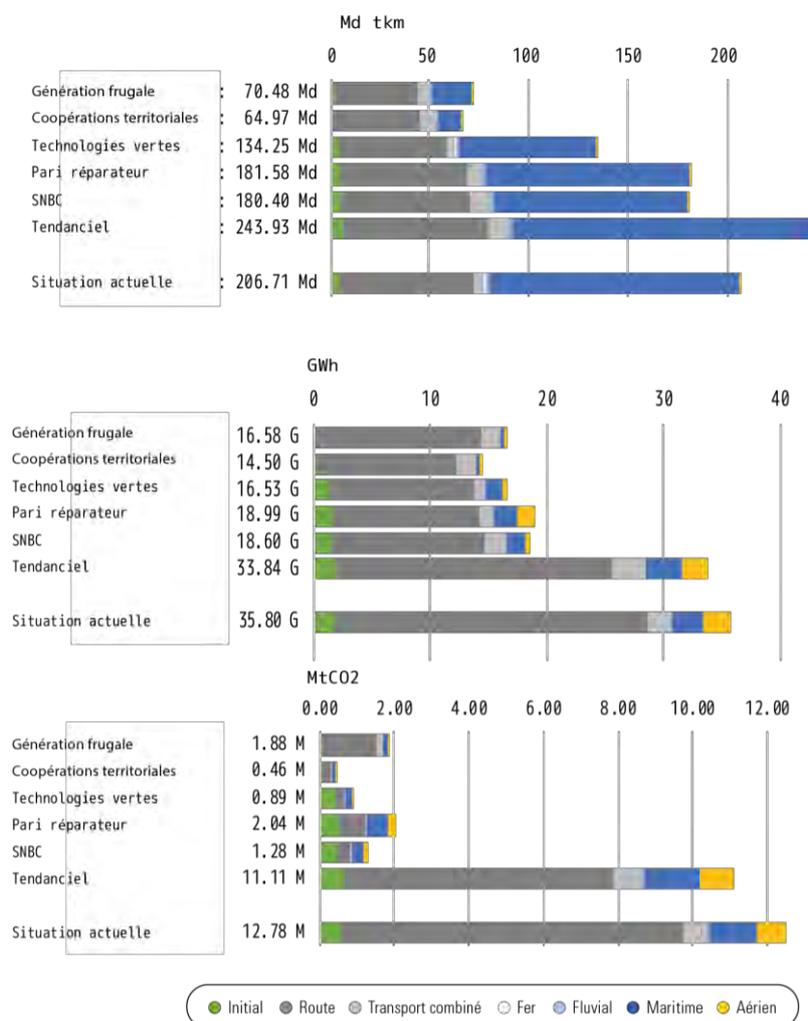
Tonnes consommées et tonnes en circulation

Afin de faire apparaître les différents modes transports utilisés lors des trajets d'ordre 1 et 2, les tonnes en circulation sont comptées une première fois à l'ordre 1 (par exemple lors d'un trajet routier interrégional) puis une seconde fois à l'ordre 2 (par exemple un trajet maritime international), voire une troisième fois en tant que "trajet initial" (par exemple un trajet routier port-zone de production à l'étranger).

Dans le graphique ci-dessus, nous avons ramené les totaux aux quantités d'ordre 1 (on ne compte donc qu'une fois les tonnes qui font un trajet en France précédé d'un trajet international).

Il ne s'agit pas pour autant de tonnes consommées, mais bien de tonnes en circulation, qui peuvent avoir subi des ruptures de charge et donc être comptabilisées plusieurs fois par ailleurs.

5.3.4.2. Les émissions de GES évitées selon les scénarios



Les différents scénarios, traduits en consommation énergétique et émissions, voient tous fondre la part du maritime et réapparaître la part du transport aérien.

À part pour le scénario *Tendanciel*, les consommations énergétiques chutent entre 47% et 59% par rapport à la situation 2013. Cette chute est encore plus marquée en termes d'émissions, où la fourchette va de -84 à -96% d'émissions.

Il est à noter qu'en comparaison, le scénario *Tendanciel* reste très proche de la situation 2013. On remarque cependant l'importante différence relative entre les scénarios S1 à S5, par rapport au scénario S4 *Pari réparateur*. En effet, dans le scénario *Génération frugale*, seulement 8% d'émissions sont évitées par rapport au scénario S4 *Pari réparateur* alors que 77% sont évitées dans le scénario *Coopérations territoriales*.

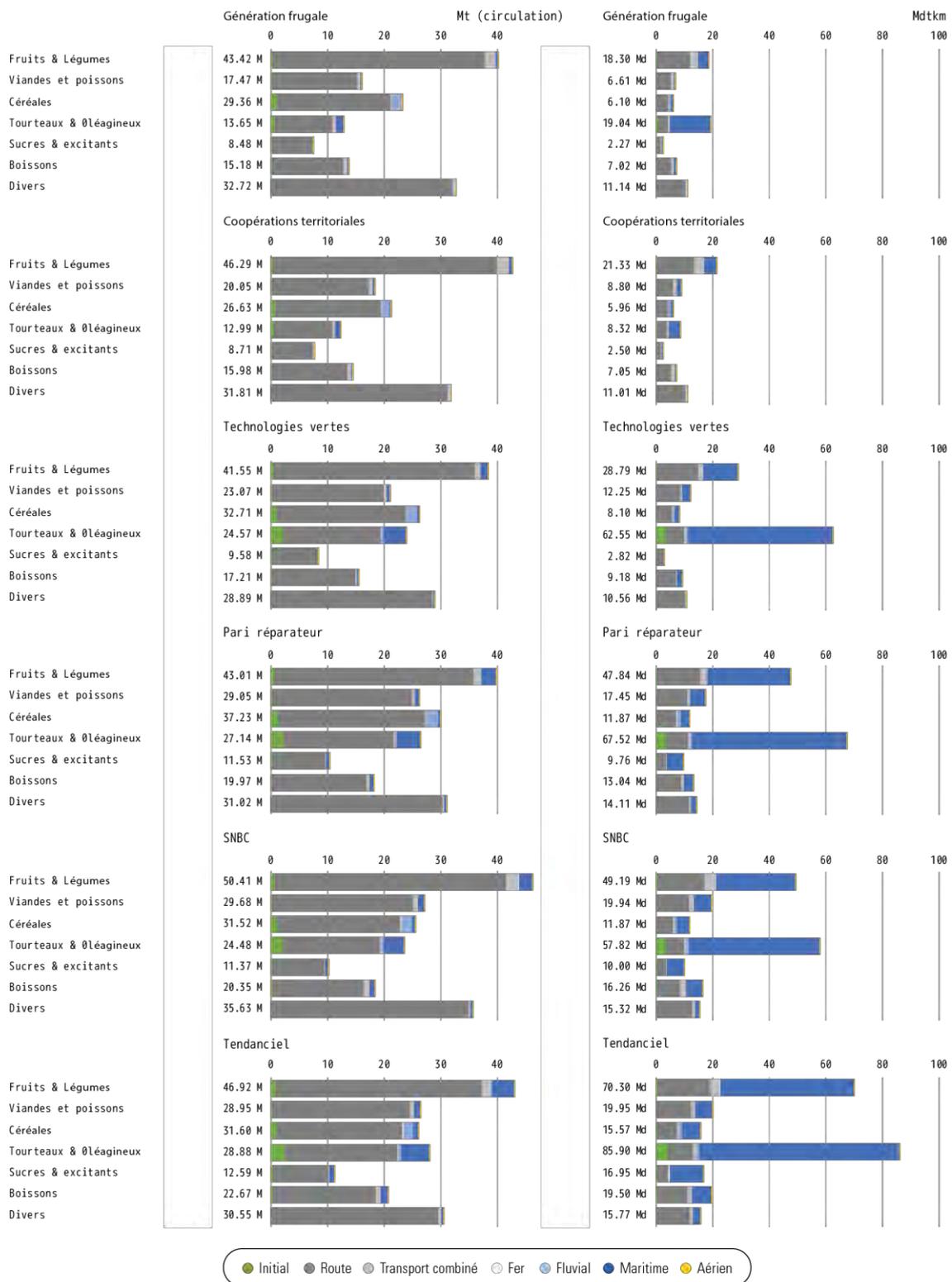


Figure 60 présente les consommations d'énergie et les émissions de GES associées. Les consommations d'énergie totales sont estimées à 71 GWh pour cette situation de référence, l'essentiel étant lié au trafic routier. Les émissions de CO₂ sont de 21,2 MtCO₂. Notons que les consommations d'énergie unitaires et les émissions de GES pour le mode maritime fournies par l'Ademe pour les années actuelles sont très inférieures aux estimations de la Base carbone utilisées pour CECAM en 2019. Les émissions de ce mode ne représentent plus que 3% des émissions totales et sont légèrement dépassées par les émissions du trafic aérien.

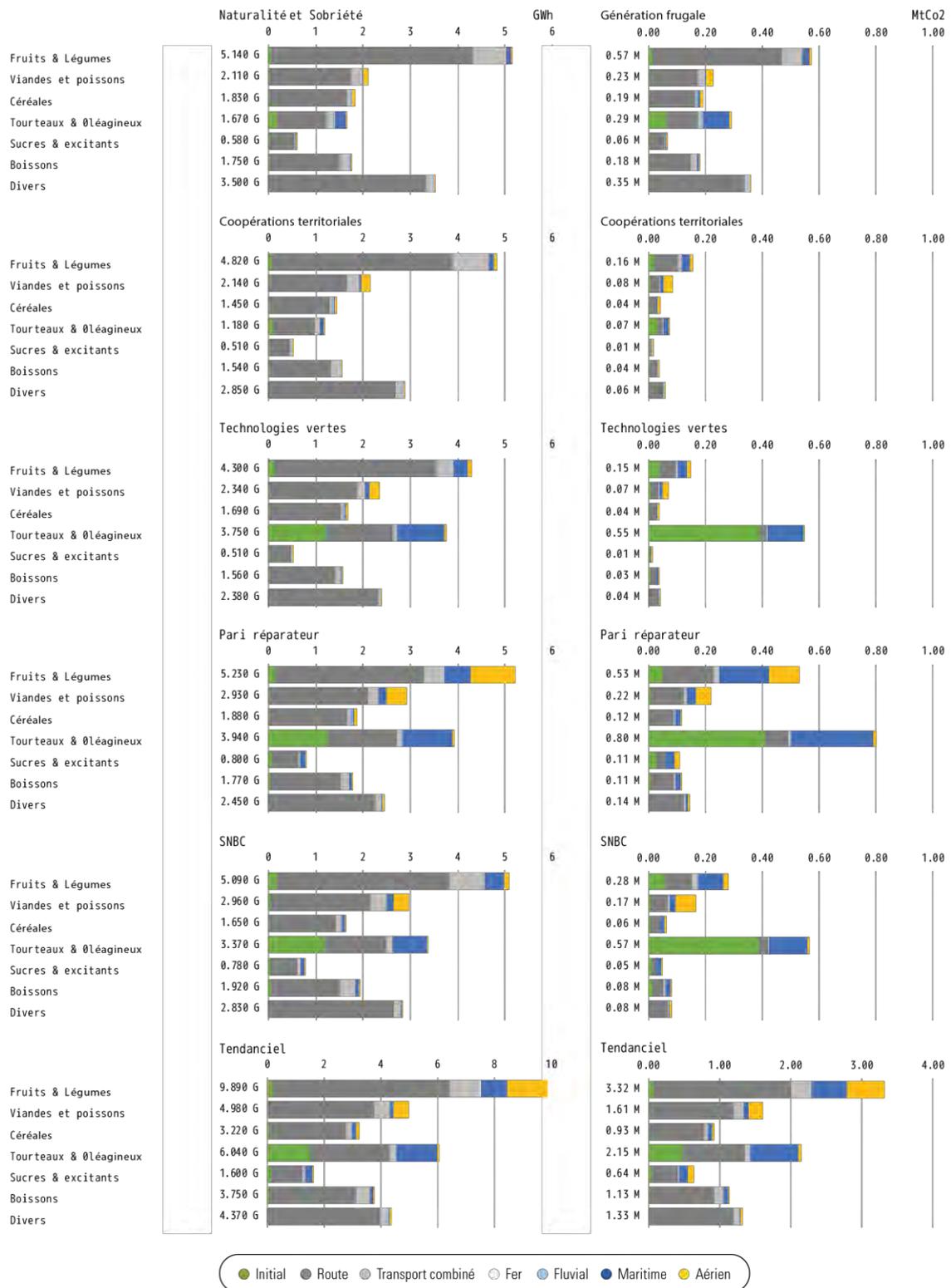


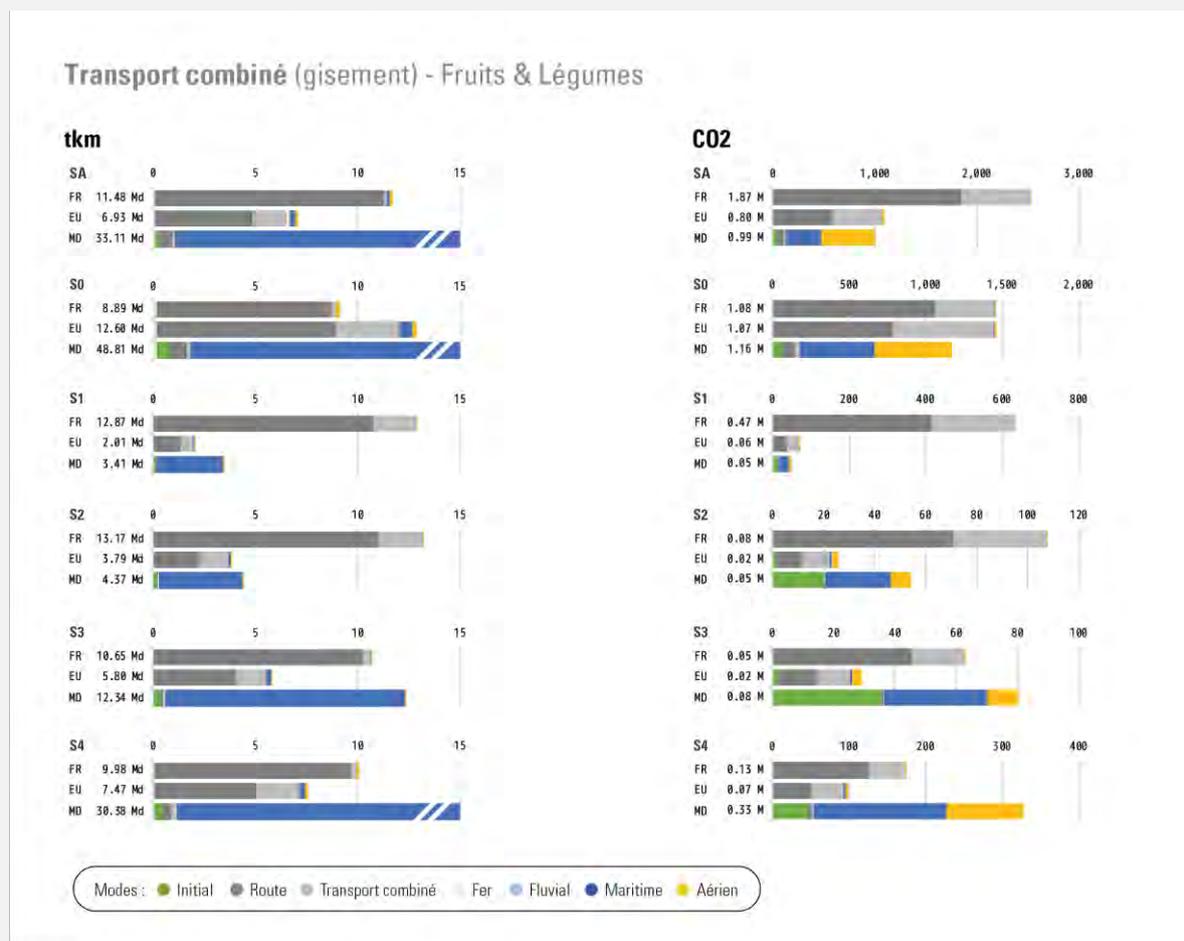
Figure 61 : Consommation d'énergie et émissions par mode et par classe de produits

On retrouve l'importance des Tourteaux et des fruits et légumes dans les émissions. Il faut toutefois noter qu'il s'agit d'émissions résiduelles très faibles en comparaison du scénario *Tendanciel*.

Encadré - Report modal rail/route (expérimental)

L'outil TKM-Carbon est basé sur un jeu de données SITRAM postérieur à 2006, date à partir de laquelle les trajets ferroviaires en France n'y sont plus recensés. Afin de simuler l'impact d'un éventuel report modal de la route vers le fer, nous avons fait apparaître les trajets routiers supérieurs à une distance "minimale" à partir de laquelle le transport combiné pourrait être envisagé. Ce seuil est variable selon les scénarios, allant de 900 km pour le scénario *Tendancier*, à 600 km pour le scénario *Coopérations territoriales* (cf. Annexe).

À ce stade, nous avons pris les mêmes facteurs d'émission de CO2 pour ces trajets que pour la route. Autrement dit, **il s'agit ici uniquement de rendre apparent des trajets qui pourraient potentiellement être effectués en train.**



On constate que pour les trajets en France et Europe, le gisement de trajets routiers susceptibles d'être reportés vers le rail (●) n'est pas négligeable. Par exemple, dans le scénario *Génération Frugale*, 18% des trajets routiers (●+●) effectués pour le transport des fruits et légumes par la route pourraient être effectués par le fer (●). Le pourcentage d'émissions qui pourraient alors être réduit monte à 35 %.

Y compris dans le scénario *Tendancier*, où nous avons pris un seuil de 900 km pour envisager un report modal, 16% des trajets routiers français et européens pourraient être effectués en train, permettant d'éviter une grande partie de 36% des émissions résiduelles de CO2 en 2050.

5.4. La relocalisation interrégionale

Un travail exploratoire a été mené sur les possibilités d'une relocalisation de la production domestique de fruits et légumes plus proche des consommateurs afin d'en évaluer l'impact sur le trafic de ces produits alimentaires. Un nouveau développement de l'outil TKM-Carbon a été réalisé dans cet objectif. Nous présentons la méthodologie adoptée et les premiers résultats.

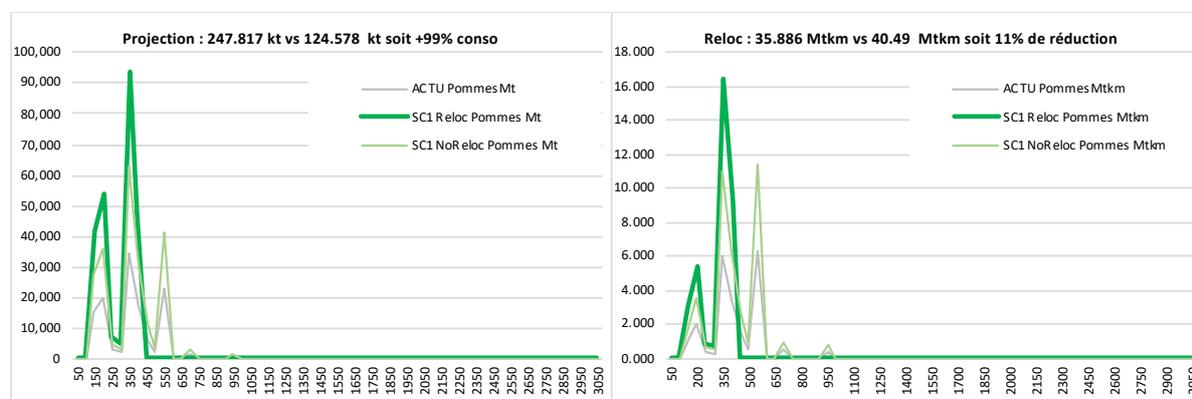
5.4.1.1. Méthode

Le principe général est que le consommateur privilégie les productions les plus proches. Lorsque la quantité consommée en 2050 est inférieure aux capacités de production, les consommateurs vont consommer d'abord les fruits et légumes produits à proximité, dans la limite de leur disponibilité, puis consommer ceux venant de plus loin. Lorsque la consommation est inférieure à la disponibilité, les produits les plus éloignés restent donc disponibles pour une consommation "plus locale" dans les autres régions. Ce potentiel de relocalisation est d'autant plus important que la capacité de production est supérieure à la consommation.

La base TKM-Carbon permet d'obtenir la distribution des trajets par classe de distance depuis un point de consommation considéré. On relocalise alors la consommation en saturant les points d'approvisionnement les plus proches jusqu'à épuisement de la demande. Le détail de ces calculs est présenté en annexe.

Exemple pour les pommes en Occitanie :

- Distribution actuelle des trajets
- Distribution des trajets pour la quantité consommée en 2050 **sans** relocalisation
- Distribution des trajets pour la quantité consommée en 2050 **avec** relocalisation



Sans relocalisation (●→●)

La consommation de pomme double en 2050 par rapport à la situation actuelle (SA) dans le scénario 1, passant de 124 à 247 kt (+99%). Sans relocalisation, la distribution des trajets en 2050 (●) est identique à celle de 2013 (●). Les points d'approvisionnement situés à 200 km, comme ceux situés à 550 km sont "saturés". Cependant, le volume augmentant, la courbe 2050 (●) se situe au-dessus de la courbe 2013 (●).

Avec relocalisation (●→●)

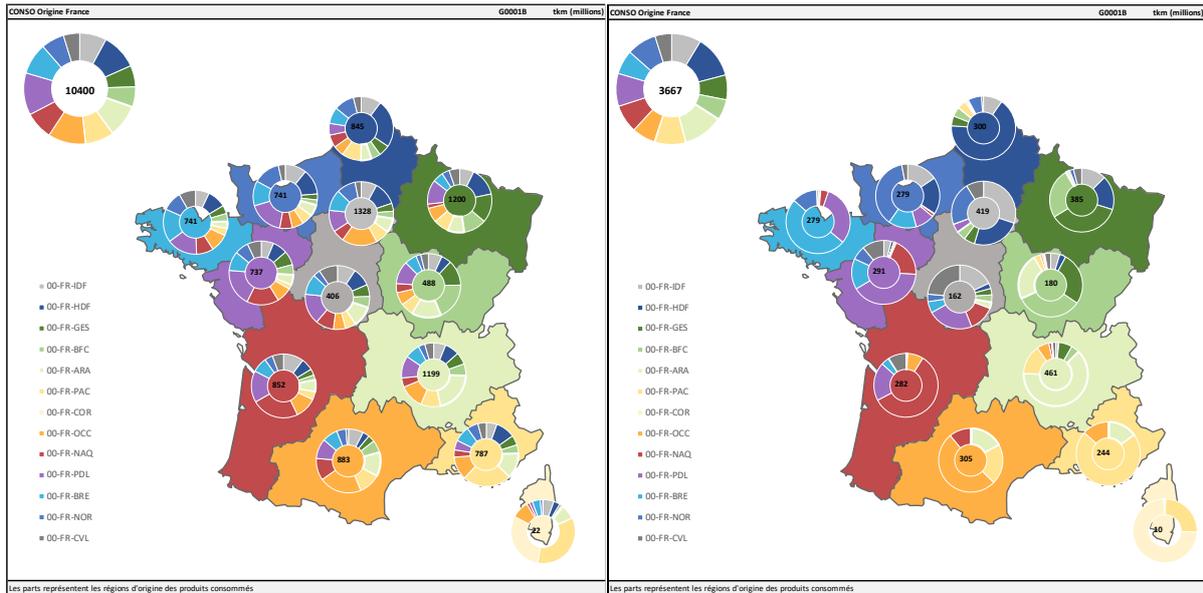
Avec une consommation en 2050 doublée par rapport à la situation actuelle et une hypothèse de capacité d'approvisionnement en pommes en 2050 plafonnée à 200% de la demande, le consommateur va d'abord consommer les pommes produites localement (dans la limite de 200% des quantités disponibles aux points d'approvements les plus proches) puis se fournir de plus en plus loin jusqu'à ce que soit complètement satisfaite la demande. Dans le cas des pommes, la demande double en 2050 par rapport à 2013, cela correspond à une capacité d'approvisionnement quadruplée par rapport à la situation 2013.

Les points d'approvisionnement situés dans les classes de distances < à 450 km sont sollicités au maximum et les points situés au-delà ne sont pas sollicités. Les tonne-kilomètres des classes de distance supérieures à 450 km ont été évitées.

5.4.2. Résultats

Scenario S0 (Tendanciel) – Fruits&Légumes

-23% tonnes en circulation en 2050 par rapport à 2013 | -65% tkm | -49% kWh | -51% CO2



Part intra-régionale (Sc actuel sans reloc)

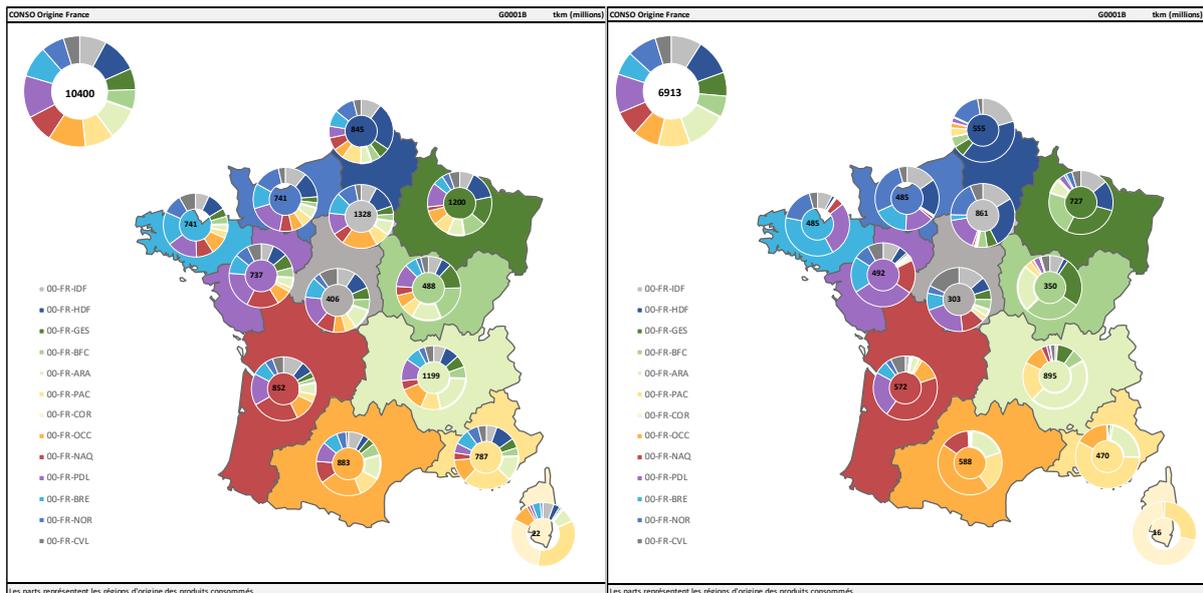
tonnes	34%
tkm	18%
kWh	24%
CO2	23%

Part intra-régionale (Sc tendanciel avec reloc)

tonnes	55%
tkm	48%
kWh	48%
CO2	48%

Relocalisation selon S1 (Génération frugale) – Fruits&Légumes

+10% tonnes en circulation en 2050 par rapport à 2013 | -34% tkm | -13% kWh | -15% CO2



Part intra-régional (SA sans reloc)

tonnes	34%
tkm	18%
kWh	24%
CO2	23%

Part intra-régional (S1 avec reloc)

tonnes	45%
tkm	35%
kWh	39%
CO2	38%

Note : les cartes de gauche représentent la situation en 2013.

6. Emissions de GES, consommations d'énergie et surfaces associées aux produits importés

6.1. Méthodologie d'évaluation des émissions de GES, consommations d'énergie et surfaces associées

La méthodologie d'évaluation des émissions de GES, des consommations d'énergie et des surfaces associées est identique à celle utilisée dans le rapport *Empreintes des importations agricoles et alimentaires françaises*⁷. Elle est ici mobilisée afin d'évaluer en prospective l'impact des importations destinées à l'alimentation de la population métropolitaine, selon les volumes importés par produit et la distribution de leur pays de production présentée dans la partie précédente sur les transports longue distance. Pour obtenir les coefficients d'émissions pour chaque produit importé, il faut pouvoir projeter toutes les hypothèses nécessaires, en particulier les rendements, les efficacités animales et de l'utilisation de l'azote, les émissions directes liées à la production ou encore la structure du commerce pour les imports nécessaires à la production dans les pays exportateurs partenaires de la France. Certaines options de changement de pratiques ou d'utilisation d'intrants ciblant directement la réduction des émissions de gaz à effet de serre sont également à prendre en compte en fonction du scénario.

Les scénarios de l'ADEME sont supposés prendre leur contexte mondial des scénarios du rapport 1.5 degrés du GIEC, en étant une déclinaison particulière à l'échelle de la France de ce cadre de scénarisation. Les narratifs de ces scénarios ont donc été pris en compte dans le choix des hypothèses de projection, cependant des hypothèses mondiales spécifiques cohérentes avec les scénarios sur la France ont été privilégiées. Ceci a impliqué des choix pouvant s'écarter de ce qui est obtenu par les modèles intégrés dont les résultats sont présentés dans les rapports du GIEC qui sont construits sur des logiques assez différentes, en général de minimisation des coûts. Il est aussi à noter qu'il n'y a pas besoin de scénarios mondiaux complets, mais uniquement de l'évolution des paramètres qui impactent les émissions de GES, les surfaces, et la consommation d'énergie pour la production des biens produits par les pays exportant en France.

Nous présentons tout d'abord les hypothèses propres à l'exercice de prospective, hypothèses communes ou spécifiques à chaque scénario, puis les résultats par classe de produit et région de production pour chacun des indicateurs considérés.

6.1.1. Référence et hypothèses communes aux scénarios

Les scénarios d'évolution de l'agriculture sont construits en utilisant comme référence le scénario de la FAO⁸. Pour l'élevage, qui est peu décrit dans le scénario de la FAO, la modélisation de l'évolution de l'efficacité et des rendements de l'herbe issue du rapport World Resources Report du WRI⁹ est utilisée. Cette modélisation se fonde sur un objectif d'évolution mondiale des efficacités animales, obtenu en prolongeant les tendances passées, qui se décompose en une évolution générale de l'efficacité et une substitution entre systèmes permettant de combler de façon proportionnelle l'écart d'efficacité relatif par rapport à la région la plus efficace aujourd'hui. Cette modélisation donne des résultats plutôt optimistes.

La modélisation utilisée pour la référence est reprise dans les différents scénarios, avec des hypothèses modifiées pour obtenir des réductions d'émissions de gaz à effet de serre qui proviennent essentiellement des options d'atténuation pour l'agriculture du rapport World Resources Report du WRI, complétées et modifiées pour correspondre aux scénarios de l'étude. Les hypothèses ne sont pas très détaillées ici, le rapport du WRI peut être consulté pour des informations plus détaillées sur les options, et l'explication des choix sur les amplitudes des effets. De façon générale, pour ce qui concerne les options technologiques, le Scénario Technologies vertes correspond au scénario « Highly Ambitious » et le Scénario Pari réparateur correspond au scénario « Breakthrough Technologies ».

⁷ Barbier et al., *Empreintes Sol, Energie et carbone de l'alimentation, Empreintes des importations agricoles et alimentaires françaises*, Ademe, 2020.

⁸ Alexandratos et al. (2012)

⁹ Searchinger T., Waite R., Hanson C., Ranganathan J., Dumas P. (2019), *Creating a Sustainable Food Future, A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050*, World Resources Institute, p. 556. <https://www.wri.org/publication/creating-sustainable-food-future-final-report>

Il a été considéré de façon générale que la biomasse de 2nde génération n'était pas un levier important, tout d'abord pour être en cohérence avec les scénarios pour la France, mais également parce que sur les horizons temporels que l'on considère, l'afforestation est une option plus intéressante, et enfin parce que cette hypothèse n'a de toute façon pas d'effet sur les coefficients des imports de la France. La production de biocarburants de première génération du scénario de la FAO est suivie dans tous les scénarios pour les besoins de carburants résiduels, pour l'agriculture entre autres, cette hypothèse n'ayant pas non plus d'impact sur les coefficients des imports.

Pour les 5 scénarios, on suppose une même décarbonation des usages directs d'énergie, électricité et combustibles fossiles, avec 50% de réduction des émissions directes en plus de la tendance, en lien avec des réductions d'émissions totales égales entre scénarios.

Les mêmes hypothèses ont été choisies pour Génération frugale, Coopérations territoriales et Croissance Verte pour l'évolution de l'efficacité d'utilisation de l'azote, mais pour des raisons différentes. Pour Croissance Verte c'est une hypothèse d'augmentation d'efficacité liées à la percée de technologies type agriculture de précision. Pour Génération frugale et Coopérations territoriales, c'est lié à la contrainte de l'agriculture biologique de diminuer l'utilisation d'azote synthétique avec des technologies également d'agriculture de précision, mais plutôt de moins haute technologie, et avec plus de cultures intercalaires et mélangées.

Les changements de pratique pour la culture du riz sont les mêmes dans les scénarios présentant ces changements, c'est à dire les scénarios autres que Génération frugale. Il s'agit d'une augmentation des fréquences de drainage de l'eau, et une gestion modifiée des résidus.

Les changements des systèmes de gestion des excréments sont des changements relativement simples et peu coûteux, passage à des systèmes secs, épandage plus fréquent, acidification, croûtes favorisées, systèmes plus efficaces de stockage. La méthanisation, qui est nettement plus coûteuse peut aussi être utilisée. Les réductions d'émissions de N2O liées aux excréments sur les pâtures non arides proviennent de l'utilisation d'inhibiteurs de dénitrification, plutôt en semant des plantes qui les synthétisent. Enfin des additifs alimentaires pour les animaux, NOP ou bromoforme, sont la source des réductions de fermentation entérique.

6.1.2. Hypothèses spécifiques à chaque scénario

Les hypothèses sur les changements de demandes correspondent grossièrement aux hypothèses pour la France, avec un remplacement de la viande par des légumineuses pour Génération frugale et pour Coopérations territoriales, avec une moindre amplitude pour Coopérations territoriales. Pour Technologies Vertes, c'est un remplacement partiel par un scénario végétarien qui est utilisé. Les autres hypothèses sur la demande sont également montrées dans le tableau ci-dessous. A noter que les hypothèses sur la demande ont aucun ou peu d'effet sur les coefficients des importations. Elles sont décrites ici pour montrer la cohérence d'ensemble des scénarios à l'international.

Demande	Génération frugale	Coopérations territoriales	Technologies Vertes	Pari réparateur
Régimes alimentaires	50% de la viande remplacée par des légumineuses ¹⁰	30% de la viande remplacée par des légumineuses	20% de la viande remplacée par un régime végétarien de pays développé	
Pertes et gaspillages	-50 %	-50 %	-25 %	-25 %
Démographie	Baisse importante de la natalité en Afrique	Baisse de la natalité en Afrique		

Tableau 16 : Hypothèses d'évolution de la demande alimentaire au niveau international

10 Les scénarios de demande, du type "50% de la consommation mondiale de viande remplacée par des légumineuses" se font en partant des pays qui ont le plus de consommation par tête et en égalisant la consommation par tête dans les pays concernés par le changement, autrement dit on met un plafond à la consommation par tête, ajusté pour obtenir au total la fraction de remplacement souhaité.

Les rendements et efficacités, à l'exception de l'efficacité de l'azote comme cela a déjà été mentionné, correspondent à une moindre augmentation que la référence pour Génération frugale, et dans une moindre mesure, Coopérations territoriales, ce qui correspond à une diffusion plus importante que dans la référence de l'agriculture biologique. Le scénario de Technologies Vertes correspond à une légère augmentation de l'efficacité par rapport à la référence, augmentation qui est encore un peu plus marquée pour le scénario de Pari réparateur. Les valeurs sont montrées dans le tableau suivant.

Rendements et efficacités	Génération frugale	Coopérations territoriales	Technologies Vertes	Pari réparateur
Différence d'évolution du rendement par rapport à la référence	-20 %	-14 %	0	+20 %
Augmentation de l'intensité culturale			+5 %	+5 %
Différence d'évolution de l'efficacité des ruminants	-10 %	0	+10 %	+20 %
Comblement de l'écart à une cible d'efficacité azote ambitieuse	50 %	50 %	50 %	75 %
Aquaculture			intensification	intensification
Augmentation supplémentaire du rendement du riz				+20 %

Tableau 17 : Hypothèses d'évolution des rendements et efficacités au niveau international

Il n'y a pas d'options technologiques sur les émissions directes mobilisées pour Génération frugale, et uniquement des réductions d'émissions liés à la gestion des excréments pour Coopérations territoriales. Technologies Vertes et Pari réparateur utilisent tous les leviers technologiques avec une amplitude plus forte pour Pari réparateur. Le tableau suivant montre les valeurs prises par les paramètres des hypothèses sur les émissions directes.

Options sur les émissions directes	Coopérations territoriales	Technologies Vertes	Pari réparateur
Méthane émis par la gestion des excréments, systèmes humides	-40 %	-60 %	-80 %
N2O émis par la gestion des excréments des porcs, systèmes secs	-20 %	-35 %	-40 %
N2O émis par la gestion des excréments des bovins, systèmes secs	-10 %	-20 %	-30 %
Emissions entériques bovins viande		-7.5 %	-15 %
Emissions entériques systèmes laitiers		-15 %	-30 %
Emissions entériques ovins et caprins viande			-5 %
N2O émis en lien avec l'excrétion sur les pâtures non arides		-20 %	-40 %

Tableau 18 : Options retenues sur les émissions directes

Par défaut, les hypothèses du scénario SNBC sont similaires au Scénario Technologies vertes. Les coefficients d'émissions à la production, au changement d'usage des sols, de consommation d'énergie et de surface sont

donc identique au Scénario Technologies vertes. Les résultats diffèrent du fait du régime moyen, des volumes et types de produits importés.

6.2. Les impacts des importations par région

Le Tableau 20 fournit les résultats globaux par scénario et par indicateur. Comme nous l'avons vu dans les parties précédentes, les volumes importés sont très différents selon les scénarios du fait des hypothèses faites sur le niveau des échanges commerciaux. Le « panier » de produits importés joue par ailleurs sur les résultats globaux, lié notamment aux évolutions des régimes alimentaires moyens de chaque scénario.

En ce qui concerne les coefficients unitaires par unité de tonne importée, deux effets jouent, d'une part l'évolution des pratiques agricoles, et d'autre part la part des importations d'origine européenne, région où les rendements et efficacités sont souvent plus élevés que dans le reste du monde (

	Consommation d'énergie à la production MWh/tonne	Emissions à la production tCO ₂ eq/tonne	Emissions liées à l'usage des sols tCO ₂ eq/tonne	Surfaces ha/tonne
Tendanciel	0,235	0,603	3,574	0,381
Génération frugale	0,111	0,339	2,813	0,327
Coopérations territoriales	0,089	0,317	2,350	0,265
Technologies vertes	0,098	0,314	2,382	0,267
Pari réparateur	0,101	0,334	2,518	0,280
SNBC	0,124	0,519	3,789	0,414

Tableau 19). Les coefficients unitaires varient ainsi différemment en fonction des indicateurs.

	Consommation d'énergie à la production MWh/tonne	Emissions à la production tCO ₂ eq/tonne	Emissions liées à l'usage des sols tCO ₂ eq/tonne	Surfaces ha/tonne
Tendanciel	0,235	0,603	3,574	0,381
Génération frugale	0,111	0,339	2,813	0,327
Coopérations territoriales	0,089	0,317	2,350	0,265
Technologies vertes	0,098	0,314	2,382	0,267
Pari réparateur	0,101	0,334	2,518	0,280
SNBC	0,124	0,519	3,789	0,414

Tableau 19 : Coefficients unitaires moyens par unité de tonne importée

Pour l'utilisation d'énergie, les scénarios sont très proches, ce sont les changements dans les pays d'origine qui jouent le plus. Pour les autres indicateurs, émissions et usage des sols, les scénarios sont plus différents, et on retrouve sur les coefficients unitaires l'effet des hypothèses sur les efficacités et les réductions d'émissions, avec des coefficients plus élevés pour la référence, suivi par Génération frugale, Coopérations territoriales, Technologies Vertes et enfin Pari réparateur. Suivant les indicateurs, le scénario de Pari réparateur a des coefficients unitaires réduits de 12 % (consommation d'énergie) à 21 % (usage des sols) par rapport à Génération frugale. Etant donné que les différences de quantités importées sont nettement plus importantes, ce sont les changements de quantités importées qui expliquent la plus grande part des évolutions.

Les surfaces agricoles mobilisées s'échelonnent de 3,6 Mha dans le scénario Génération frugale à 20,6 Mha dans le scénario tendanciel, soit un niveau qui s'approche de la surface agricole utile française. Une présentation détaillée des surfaces mobilisées par classe de produits et régions d'origine est faite en partie 6.4.

	Volumes importés Mt	Consommation d'énergie TWh	Emissions de GES de la production MtCO2eq	Emissions de GES lié à l'usage des sols MtCO2eq	Surfaces agricoles Mha
Tendanciel	54,0	12,7	32,6	193,1	20,6
Génération frugale	11,0	1,2	3,7	30,8	3,6
Coopérations territoriales	13,8	1,2	4,4	32,5	3,7
Technologies vertes	25,3	2,5	7,9	60,2	6,8
Pari réparateur	34,6	3,5	11,6	87,2	9,7
SNBC	37,2	4,6	19,3	141,1	15,4

Tableau 20 : Consommation d'énergie, émissions et surfaces relatives à la production agricole des produits importés
Les

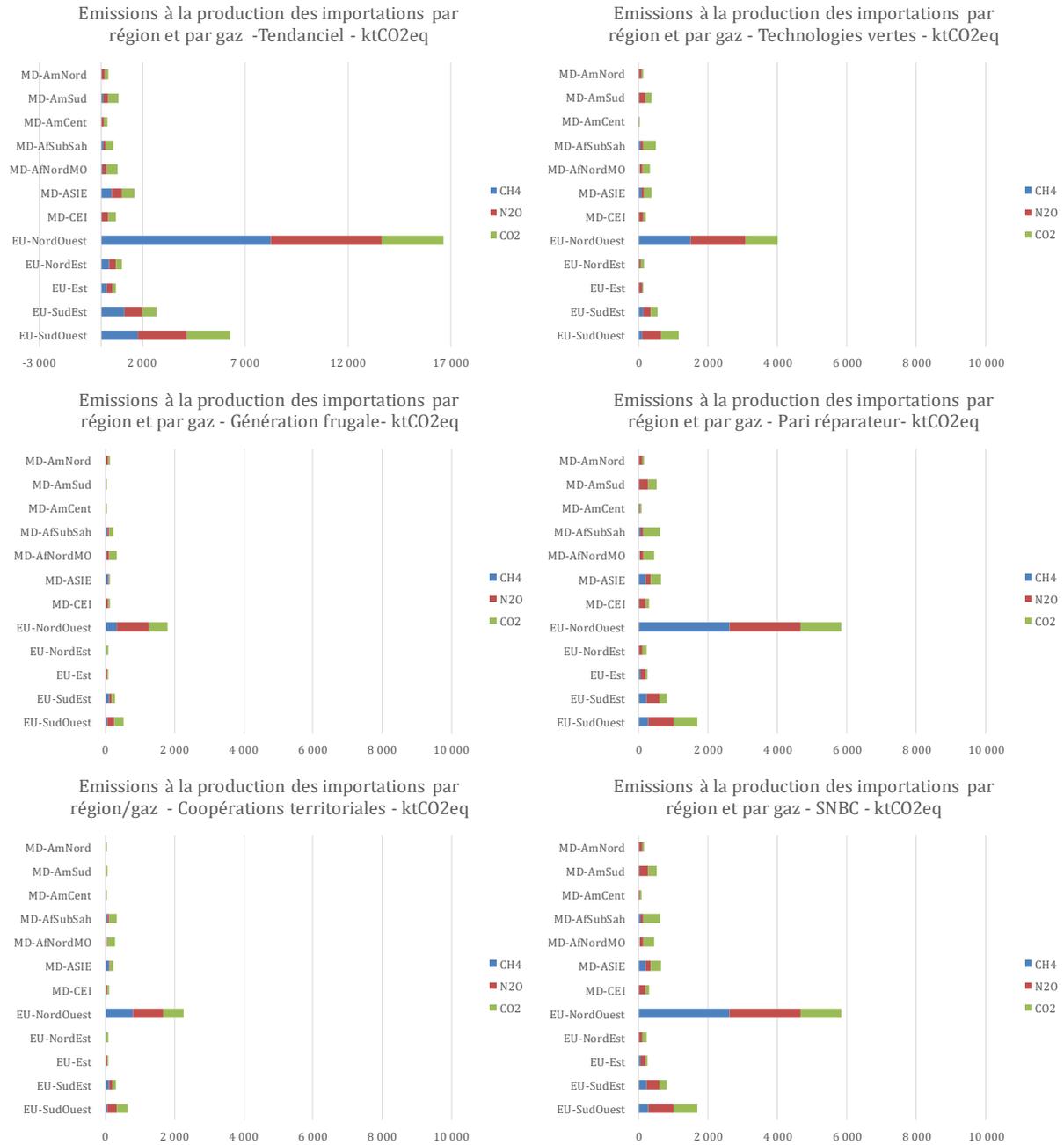
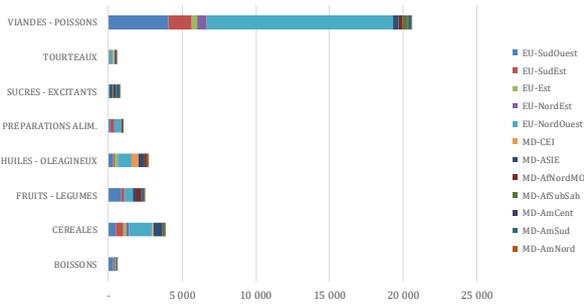
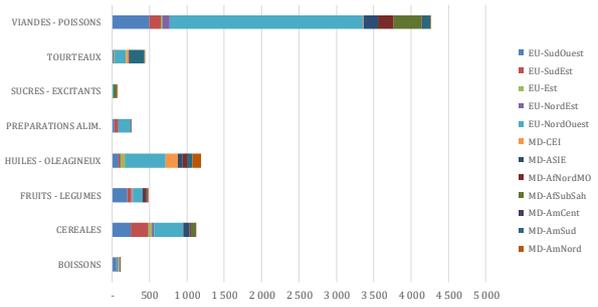


Figure 63 montrent la distribution des émissions par classe de produits et par région d'origine. Il faut prêter attention au fait que l'échelle est très différente entre les scénarios. Les émissions des produits animaux du scénario tendanciel sont ainsi quinze fois supérieures aux émissions de cette même classe dans le scénario Génération frugale.

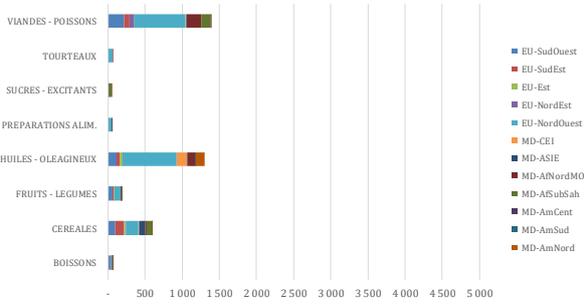
Emissions à la production des produits importés - Tendanciel
ktCO2eq



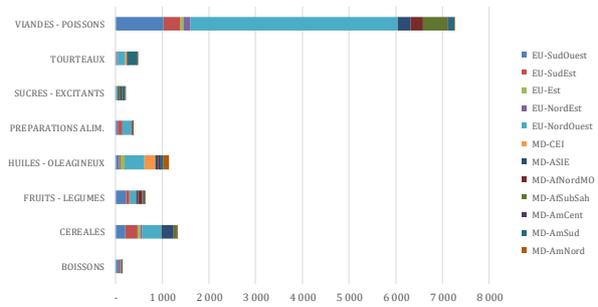
Emissions à la production des produits importés - Technologies vertes
ktCO2eq



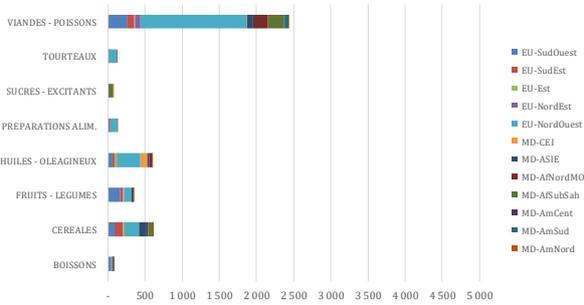
Emissions à la production des produits importés - Génération frugale
ktCO2eq



Emissions à la production des produits importés - Pari réparateur
ktCO2eq



Emissions à la production des produits importés
Coopérations territoriales - ktCO2eq



Emissions à la production des produits importés - SNBC
ktCO2eq

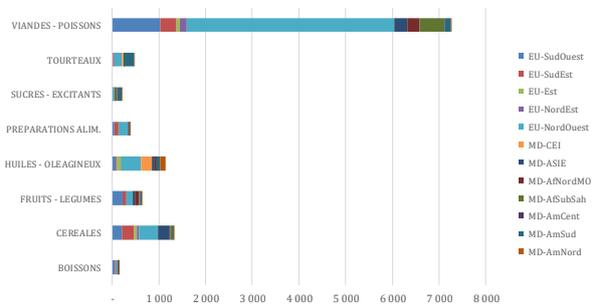


Figure 62 : Emissions de la production agricole par classe de produits et par région

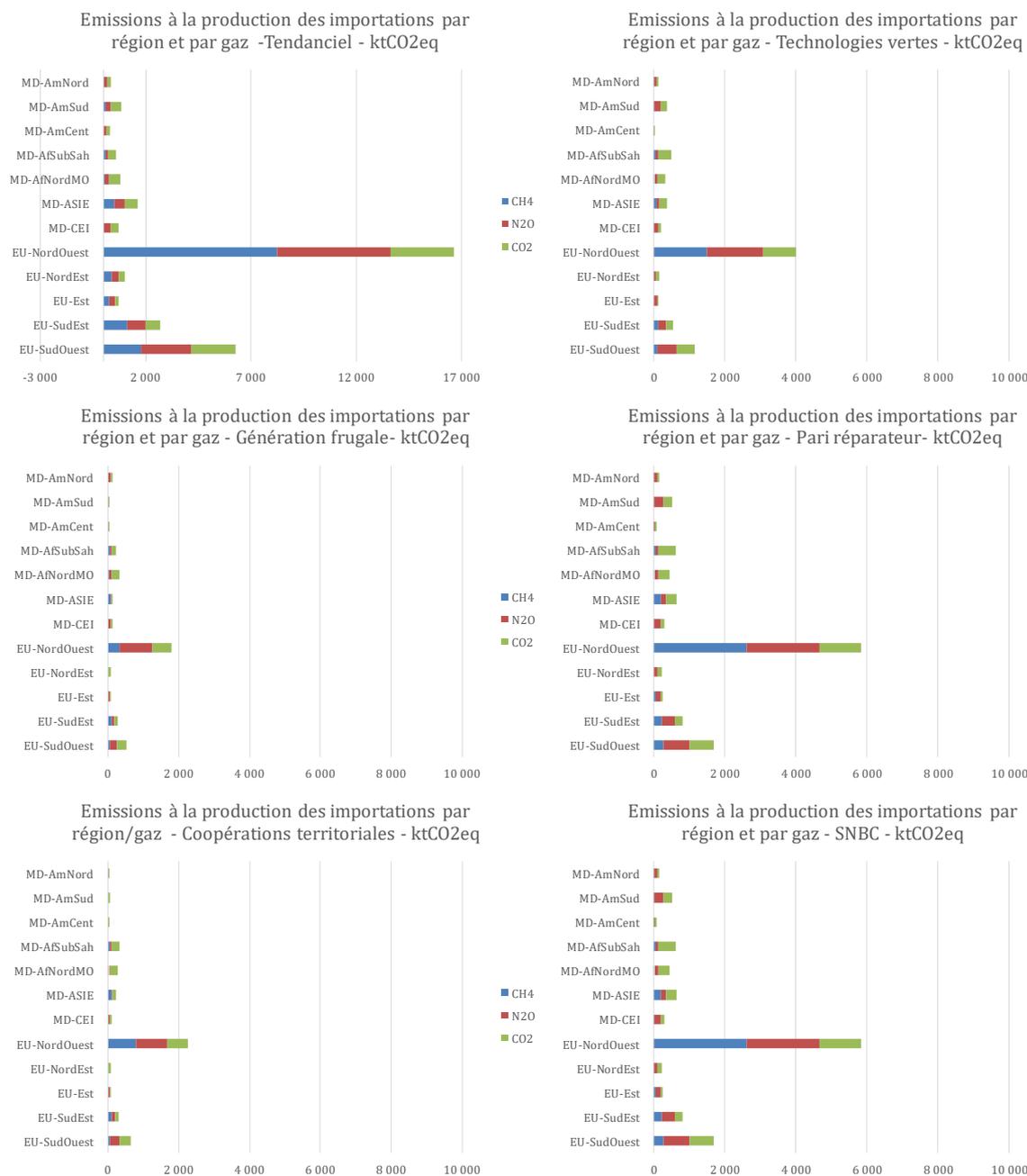


Figure 63 : Emissions à la production des importations par région et par gaz

6.3. L’empreinte énergétique et carbone de la production agricole à destination de la consommation en France métropolitaine

Stade agricole	Le				Consommation d’énergie - TWh			
	Imports	Prod. dom.	Exports	Empreinte	Imports	Prod. dom.	Exports	Empreinte
Actuel	31,0	95,9	28,4	98,5	14,9	97,7	28,9	83,6
Tendanciel	45,4	63,7	27,3	81,9	17,1	43,8	18,7	42,1
Génération frugale	5,3	40,2	8,7	36,8	1,5	28,8	6,3	24,0
Coopérations territoriales	6,7	44,3	9,4	41,6	1,6	31,4	6,7	26,4
Technologies vertes	13,0	59,8	15,9	56,9	3,6	36,6	9,7	30,5
Pari réparateur	17,2	66,0	18,4	64,8	4,9	44,4	12,4	36,9
SNBC	24,0	63,2	14,6	72,6	5,8	42,8	9,9	38,7

Tableau 21 montre la distribution de les empreintes carbone et énergétiques des produits agricoles et agroalimentaires produits en France, et celles des importations et des exportations. Les émissions et consommations d’énergie des exportations sont estimées à partir d’empreintes carbone par produit et des coefficients énergétiques de la production française, issus du modèle CLIMAGRI et appliqués aux exportations.

L’empreinte carbone des produits importés est nettement supérieure à celle des exportations pour le scénario Tendanciel, elle l’est également dans une moindre mesure pour le Scénario Pari réparateur. Pour ces deux scénarios, l’empreinte carbone est supérieure aux émissions territoriales. Par contre pour les trois autres scénarios (Génération frugale, Coopérations territoriales et Technologies Vertes), l’empreinte carbone de la production agricole destinée à l’alimentation de la population française est inférieure aux émissions territoriales.

Stade agricole	Total GES - MtCO2e				Consommation d'énergie - TWh			
	Imports	Prod. dom.	Exports	Empreinte	Imports	Prod. dom.	Exports	Empreinte
Actuel	31,0	95,9	28,4	98,5	14,9	97,7	28,9	83,6
Tendanciel	45,4	63,7	27,3	81,9	17,1	43,8	18,7	42,1
Génération frugale	5,3	40,2	8,7	36,8	1,5	28,8	6,3	24,0
Coopérations territoriales	6,7	44,3	9,4	41,6	1,6	31,4	6,7	26,4
Technologies vertes	13,0	59,8	15,9	56,9	3,6	36,6	9,7	30,5
Pari réparateur	17,2	66,0	18,4	64,8	4,9	44,4	12,4	36,9
SNBC	24,0	63,2	14,6	72,6	5,8	42,8	9,9	38,7

Tableau 21 : Empreintes carbone et énergétique de la production agricole en France et importée

NB : Les importations sont ici les importations totales de la France, dont une partie est réexportée.

6.4. Les surfaces mobilisées et les émissions des importations issues du changement d’usage des sols

Les surfaces mobilisées pour la production des importations se situent majoritairement en Europe, des millions d’hectares sont libérés sous l’effet des changements de régime alimentaire l’amélioration des systèmes de production, la réduction des pertes et gaspillage et la contraction du commerce international dans certains scénarios. Dans le scénario Génération frugale, 17 Mha sont libérés dont 13 Mha en Europe. Malgré des rendements et des efficacités moins élevés des systèmes agricoles, les scénarios Génération frugale et Coopérations territoriales sont ceux qui mobilisent le moins de terres à l’étranger.

	Surfaces mobilisées (kha)			Emissions liées au changement d’usage des sols (MtCO2eq)		
	Europe	Reste du monde	Total	Europe	Reste du monde	Total
Tendanciel	15 915	4 686	20 601	147	46	193
Génération frugale	2 304	1 274	3 578	19	11	31
Coopérations territoriales	2 752	917	3 669	24	9	33
Technologies vertes	4 754	2 001	6 754	41	20	60
Pari réparateur	7 099	2 615	9 714	61	26	87
SNBC	12 879	2 560	15 439	116	26	141

Figure 64 : Surfaces mobilisées et les émissions des importations issues du changement d’usage des sols

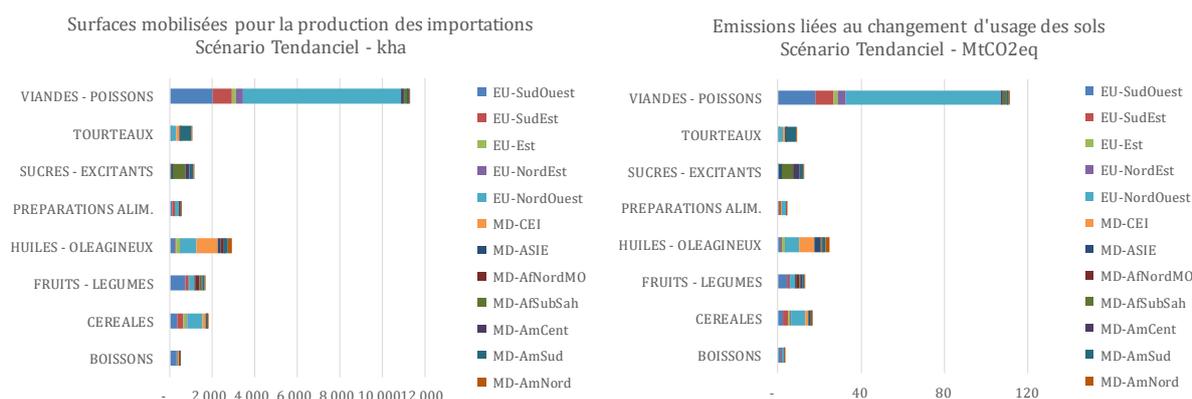
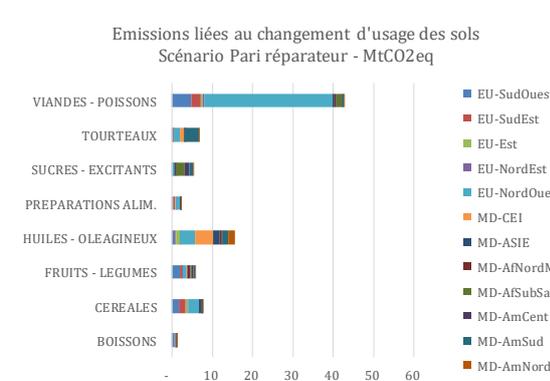
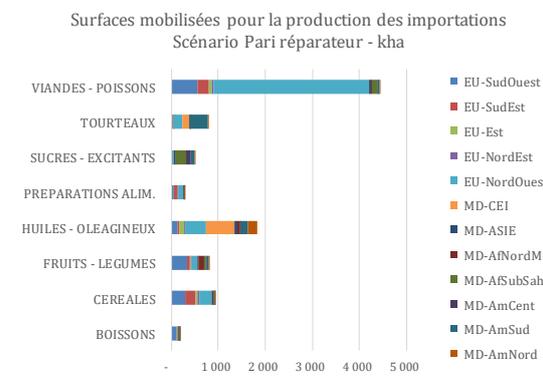
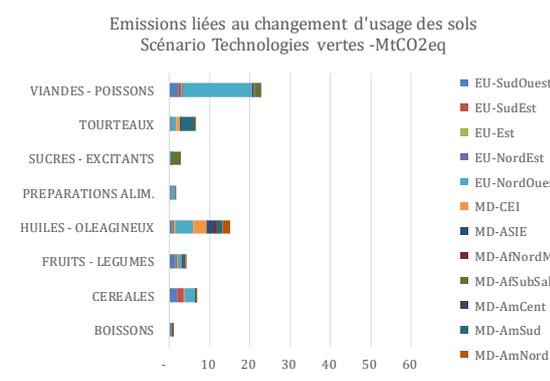
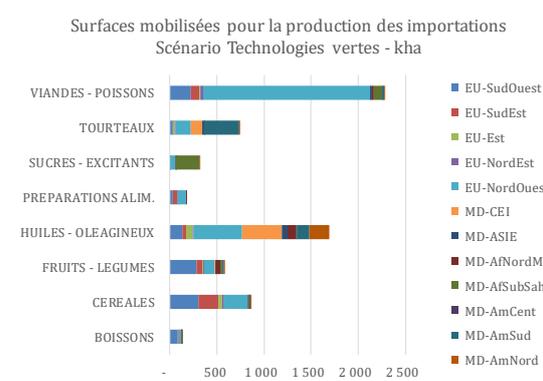
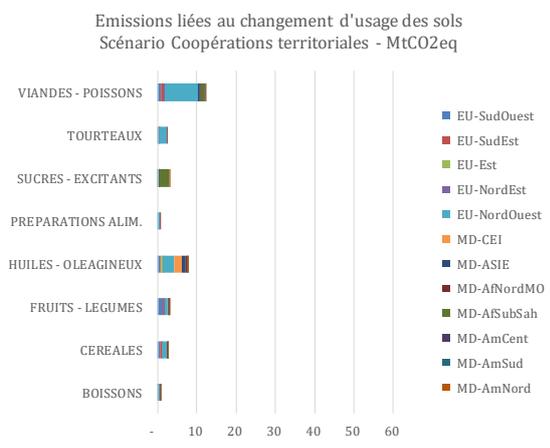
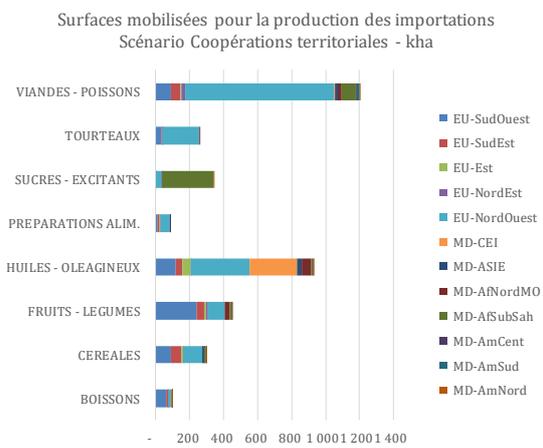
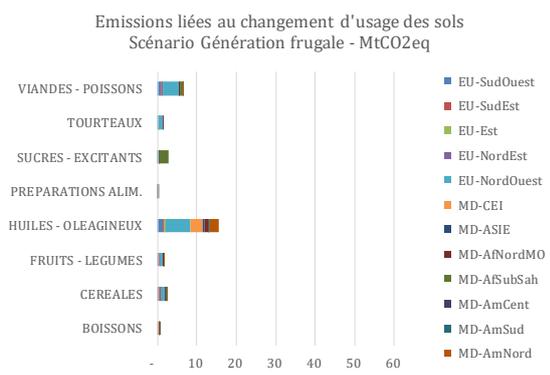
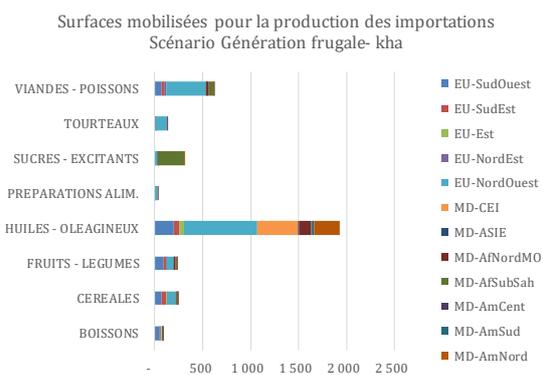


Figure 65 : Surfaces mobilisées et les émissions des importations issues du changement d’usage des sols – Scénario tendanciel



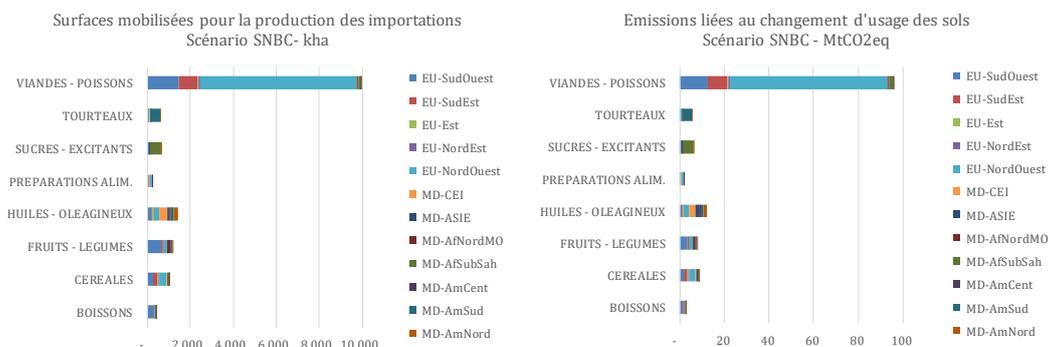


Figure 66 : Surfaces mobilisées et les émissions des importations issues du changement d'usage des sols – Autres scénarios

Comme nous l'avons vu dans l'exercice « *Empreintes Sol, Energie et carbone de l'alimentation, Empreintes des importations agricoles et alimentaires françaises* »¹¹, les émissions liées au changement d'usage des sols sont en large partie corrélées aux surfaces mobilisées. Elles représentent le carbone émis du fait de leur exploitation en référence à une situation sans exploitation, donc à un retour à un couvert naturel. Leurs niveaux à l'hectare devront être comparés aux émissions liées à l'usage des terres en France pour des productions similaires lors d'un exercice ultérieur.

Ces émissions liées au changement d'usage des sols sont sensiblement réduites pour les scénarios où la part de produits animaux est plus faible dans les régimes alimentaires. Les surfaces et les émissions associées sont ainsi relativement moins importantes pour les viandes et produits laitiers ainsi que pour l'alimentation animale importée (tourteaux et oléagineux, céréales). Ces produits restent ceux qui mobilisent les plus de surfaces agricoles quel que soit le scénario.

Dans les scénarios Technologies Vertes et Pari réparateur, les importations de tourteaux, d'huiles et oléagineux proviennent toujours majoritairement de zones hors Europe, contrairement aux autres classes de produits.

¹¹ Barbier et al., *Empreintes Sol, Energie et carbone de l'alimentation, Empreintes des importations agricoles et alimentaires françaises*, Ademe, 2020.

7. Transport de marchandises en ville

La section urbaine du transport des marchandises est communément reconnue comme étant la plus coûteuse de la chaîne totale de transport, à la fois en termes :

- Économiques, car l'importance du nombre de points à desservir, leur diversité qui nécessite des organisations très variées, les temps de trajets dans un contexte congestionné, etc. viennent limiter la massification et l'optimisation des flux et renchérissent les coûts ;
- Environnementaux, pour des raisons analogues, les moindres possibilités de massification et les difficultés de circulation favorisent l'usage de petits véhicules, avec de faibles capacités d'emport ce qui aggrave la congestion. L'importance des trajets réalisés en compte propre, par des entreprises dont le transport est très accessoire, n'est pas favorable à l'usage d'un parc vertueux sur le plan environnemental ;
- Sociaux, le caractère peu rentable de la desserte urbaine y favorise le recours à l'auto-entrepreneuriat et à la sous-traitance, précarisant les transporteurs. Les journées de travail sont difficiles en raison d'un stress important lié aux conditions de circulation et aux contraintes d'horaires. Les véhicules utilisés sont rarement équipés de moyens de manutention, ce qui aggrave la pénibilité du travail.

C'est pourquoi il est intéressant de l'isoler du reste de la chaîne de transport de manière à mettre en lumière les enjeux qui l'entourent et les leviers susceptibles d'être mobilisés pour réduire ses impacts négatifs. Dans le cadre du projet SISAE, seule la dimension environnementale sera prise en compte, et en son sein uniquement la question de l'empreinte carbone même si des éclairages sur les autres dimensions pourront ponctuellement être distillés pour souligner d'éventuels points de vigilance.

Pour simuler ces flux urbains, nous utilisons le modèle Freturb-Silogues, développé au LAET sur la base de plusieurs sources de données : les Enquêtes Transport de Marchandises en Ville (ETMV) d'une part, qui décrivent les flux de marchandises entre activités économiques (B2B), les enquêtes Achats Découplés des Ménages (ADM) d'autre part, qui s'intéressent aux livraisons à destination des particuliers (B2C) (point 1). Mais le modèle Freturb-Silogues est généraliste, il simule tous les flux, sans distinction des types de marchandises transportées. Voici pourquoi une exploitation statistique particulière a été conduite dans le cadre d'un mémoire de master portant sur les ETMV et sur les ADM afin de mettre en lumière les caractéristiques des flux de biens alimentaires pour pouvoir les isoler des flux totaux (point 2). La modélisation des scénarios retenus pour le projet SISAE suppose de constituer tout un ensemble de données qui viendront alimenter Freturb-Silogues. Ce travail implique une déclinaison fine des scénarios sur tous les points clés de la modélisation des flux de marchandises et la mise au point de nouveaux modèles pour produire ces données d'entrée (point 3). C'est seulement une fois ces tâches réalisées que les simulations des scénarios pourront être lancées et confrontées les unes aux autres pour identifier les variables discriminantes sur lesquelles l'attention devra être portée, et celles dont les impacts sont plus marginaux (point 4).

7.1. Méthodologie

7.1.1. Qu'est-ce que le transport de marchandises en ville ?

C'est l'ensemble des flux de marchandises qui circulent dans un territoire urbain délimité par les plates-formes logistiques avancées destinées à l'approvisionnement, ce qui correspond approximativement au découpage géographique en aires urbaines. Cette définition intègre :

- tous les types de véhicules utilisés pour transporter ces flux, qu'ils soient ou non motorisés,
- tous les types d'opérateurs impliqués dans le transport, qu'il s'agisse de transporteurs en compte d'autrui ou de compte propre mais aussi de particuliers à l'occasion de leurs déplacements d'achats,
- les ménages et toutes les activités économiques et ainsi tous les types de marchandises dans des volumes et des fréquences d'approvisionnement extrêmement divers,
- et par conséquent tous les types d'organisation mis en œuvre pour satisfaire aux contraintes d'approvisionnement de ces activités et de ces ménages.

L'usage de cette définition rend l'appréhension de ces flux au moyen des statistiques portant sur l'ensemble du territoire national impossible ce qui a justifié la conception au milieu des années 90s d'un nouveau dispositif d'enquête, les Enquêtes Transport de Marchandises en Ville (ETMV). En effet, les Enquêtes Véhicules Utilitaires Légers et Transport Routier de Marchandises occultent une partie des trafics puisqu'elles ne prennent en compte que les flux routiers opérés au moyen de véhicules immatriculés. Or, sous l'effet du succès des plateformes de

livraison de repas, et en raison de contraintes de circulation de plus en plus vives dans les agglomérations congestionnées, on voit se développer de plus en plus de livraisons au moyen de vélos ou triporteurs. L'usage de voitures particulières n'est pas non plus rare dans la réalisation des opérations de livraison dans les entreprises. En outre, ces enquêtes TRM et VUL sont inadaptées à rendre compte de parcours comportant une multitude d'arrêts pour livrer ou enlever de la marchandise et se focalisent sur le lieu de départ et le lieu d'arrivée du véhicule (voire pour les tournées, le lieu le plus éloigné du départ), la distance parcourue et les tonnages transportés. Dès lors, comment restituer la complexité des tournées urbaines ? L'usage d'un seuil de distance de 50 km est couramment retenu pour faire la part de l'urbain et du non-urbain, mais s'il est possible que des flux non-urbains soient réalisés sur des distances courtes, il n'est pas rare non plus d'observer en ville des trajets supérieurs à 50 km.

L'usage de sources de données différentes et non compatibles tout comme l'approximation inhérente à l'utilisation d'une distance maximale pour isoler les flux urbains au sein des enquêtes TRM et VUL conduit à rendre le découpage entre flux urbains d'une part, flux à longue distance d'autre part, non hermétique. Pour cette raison, l'analyse de l'empreinte carbone de l'alimentation et de son évolution ne se fera pas en ajoutant les différentes composantes du transport, au risque de générer des doubles-comptes, mais en observant séparément les tendances pour chaque type de transport.

7.1.2. Données et modèles mobilisés

La simulation des flux urbains sera réalisée au moyen de la plateforme Freturb-Silogues. C'est une plateforme qui englobe le modèle Freturb dans sa version actuelle (donc limité aux flux B2B), et l'enrichit de manière à intégrer les flux B2C et à produire des indicateurs environnementaux (non proposés aujourd'hui dans Freturb). C'est aussi un outil qui permet de tester des scénarios prospectifs à un horizon de moyen long-terme en constituant les fichiers de données d'entrée et en déformant les équations utilisées par Freturb de manière à traduire les changements de comportements dont on souhaite mesurer les conséquences sur les flux.

7.1.2.1. Rappels relatifs au fonctionnement du modèle Freturb

Les ETMV¹² ont montré une relation solide entre les caractéristiques des établissements d'un territoire donné (exprimées en termes d'activité exercée, de nombre d'emplois et de nature des locaux) et le nombre de livraisons et enlèvements de marchandises qui s'y réalisent. Elles ont également mis en évidence les organisations logistiques variées qui coexistent dans les espaces urbains (selon les conditionnements utilisés, qui déterminent les types de véhicules, selon les opérateurs impliqués, qui impactent les distances parcourues et le nombre de points desservis au cours d'un parcours). Elles ont enfin souligné le lien entre densité d'un espace et pratiques de stationnement, et entre la taille de la ville et les distances à parcourir.

Le modèle Freturb¹³ étant construit sur la base des observations des ETMV, ses données d'entrée sont de deux types : un fichier d'établissement exhaustif, le répertoire SIRENE élaboré par l'INSEE, et un fichier de zonage qui découpe le territoire étudié en zones pertinentes pour établir le diagnostic. Ces zones étant caractérisées par leur population, leur surface et leur éloignement au centre de l'agglomération.

Le modèle Freturb applique à ces deux fichiers d'entrée les équations établies à partir des résultats des ETMV. Il produit ainsi :

- des indicateurs de génération des livraisons et enlèvements de marchandises (par zone, par type de véhicule, d'activité, ou selon l'organisation logistique mise en oeuvre) ;
- des indicateurs d'occupation de la voirie par les véhicules à l'arrêt pour livrer ou enlever la marchandise (durée d'arrêt, mode de stationnement)
- des indicateurs d'occupation de la voirie par les véhicules en circulation (kilomètres parcourus par type de véhicule) ;
- il peut également calculer des matrices origine*destination afin d'alimenter un modèle de trafic.

¹² TOILIER, F., SEROUGE, M., PATIER, D., ROUTHIER, J.-L. (2015), [Enquête Marchandises en Ville réalisée à Bordeaux en 2012 - 2013](#). Rapport d'enquête pour la Direction de la Recherche et de l'Innovation (MEDDE), Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon, 132 p. + annexes confidentielles. et SEROUGE, M., PATIER, D., ROUTHIER, J.-L., TOILIER, F. (2014), [Enquête Marchandises en Ville réalisée en Île-de-France entre 2010 et 2013](#). Rapport final pour la Direction de la Recherche et de l'Innovation (MEDDE), Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon, 126 pages + annexes confidentielles.

¹³ TOILIER, F., GARDRAT, M., ROUTHIER, J.-L., BONNAFOUS, A. (2018), Case Studies on Transport Policy, Vol. 6, n°4, pp. 753-764. Doi <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.09.009>

7.1.2.2. La prise en compte des flux B2C dans Freturb-Silogues

L'unité d'observation de l'ETMV est l'établissement économique comme générateur de la livraison ou de l'enlèvement de la marchandise. Depuis une vingtaine d'années, l'apparition puis la croissance toujours plus rapide du e-commerce ont fait apparaître un nouveau générateur clé de flux de marchandises : le consommateur. Si les flux liés au e-commerce ne sont pas totalement absents des ETMV, parce que l'activité de livraison peut comporter à la fois des entreprises et des particuliers, ces enquêtes ne permettent pas de rendre compte de la répartition des flux sur le territoire, de leur intensité et des besoins en termes d'équipements logistiques que ces flux engendrent. Voilà pourquoi une nouvelle méthodologie d'enquête a été élaborée par le LAET, qui se veut le pendant pour les ménages de ce qu'est l'ETMV pour les activités économiques : l'enquête Achats Découplés des Ménages (ADM). Elle ne se limite pas aux achats e-commerce, mais intègre tous les achats qui donnent lieu à un service de livraison (achat en magasin livré à domicile, réservation de pizza par téléphone, opérateurs traditionnels de la vente par correspondance avec catalogue)¹⁴.

Cette enquête, menée en partenariat avec la Métropole de Lyon sur son territoire¹⁵, interroge les ménages sur la fréquence à laquelle ils réalisent des achats découplés, les types de marchandises concernées par ces achats, le mode de réception de la marchandise (domicile / hors domicile), le mode de commande de la marchandise (en magasin / à distance). Elle s'intéresse également à la mobilité des ménages pour procéder à la commande ou pour récupérer la marchandise (distances parcourues, modes de transport utilisés).

A ce jour, elle a permis de démarrer la construction d'un modèle comparable à Freturb, mais dont l'unité de base est le ménage comme générateur de flux de marchandises. Ce modèle, intégré à Silogues, permet de simuler un nombre de livraisons à destination des ménages sur la base de ses caractéristiques socio-démographiques (catégorie socio-professionnelle du chef de ménage, taille du ménage, âge du chef de ménage, informations disponibles via un fichier de recensement général de la population (RGP) répertoriant pour chaque zone du territoire d'étude, le nombre de ménages résidant dans cette zone et ayant ces caractéristiques). Ces livraisons peuvent être caractérisées selon le type de marchandise concerné.

A terme le modèle permettra de calculer les distances parcourues par les ménages pour, le cas échéant, acheter la marchandise ou la récupérer. En ce qui concerne l'impact de ces achats découplés sur les flux de marchandises assurés par les professionnels, le modèle n'est pas encore construit non plus. Pour les besoins de SISAE on pourra néanmoins les simuler en utilisant les équations de Freturb et en faisant des hypothèses sur les organisations mises en œuvre (type d'opérateur, type de véhicule) et le nombre de clients servis au cours d'une tournée en fonction du type de marchandise concerné.

7.1.2.3. Le calcul des émissions polluantes dans Freturb-Silogues

Le calcul des émissions polluantes est réalisé dans Silogues sur la base des distances parcourues par les véhicules de livraison et les vitesses moyennes estimées à partir des densités des espaces desservis par ces flux. Le parc de véhicules est simulé sur la base d'une décomposition des VUL d'une part, des poids lourds d'autre part en 29 classes de véhicules¹⁶ issues des ETMV. L'enquête est aussi utilisée pour simuler l'âge du parc, en prenant en compte la distribution des âges des véhicules selon le type de véhicule et la nature de l'opérateur qui réalise la livraison (compte propre vs compte d'autrui).

Les distances ainsi caractérisées par des véhicules et des vitesses sont ensuite converties en émissions polluantes en appliquant les facteurs d'émission de COPERT V.

7.1.2.4. La préparation des données nécessaires aux simulations de scénarios

Compte tenu de ce qui a été indiqué sur les données d'entrée nécessaires aux modèles Freturb et Silogues, l'initialisation de la simulation SISAE (calcul de la situation de référence) sera réalisée en utilisant les données SIRENE et RGP de 2017 au niveau national. On utilisera pour le fichier Zone, le zonage en aires urbaines 2010.

Pour chacun des scénarios, il sera nécessaire de fournir au modèle des fichiers simulés de type SIRENE (pour les établissements) d'une part, RGP d'autre part, ainsi qu'un fichier de zonage actualisé en ce qui concerne les

¹⁴ On appelle ces achats ADM (Achats Découplés des Ménages) car ils se caractérisent par une dissociation dans le temps ou l'espace entre l'acte d'achat et la réception de la marchandise.

¹⁵ GARDRAT, M. (2019), [Méthodologie d'enquête : le découplage de l'achat et de la récupération des marchandises par les ménages](#). Rapport de recherche, LAET (Lyon, France) ; Métropole de Lyon. 114 p.

¹⁶ Ces classes combinent le gabarit du véhicule et sa motorisation.

populations. La construction du fichier d'établissements est d'ores et déjà intégrée dans Silogues via le modèle Simétab qui génère un fichier sur la base de la situation de départ d'un territoire et de projections d'emploi¹⁷. Dans le cadre du projet SISAE, un nouveau modèle : Simpop, sera développé afin de constituer le fichier décrivant la population (nombre de ménages par zone selon la PCS de leur chef, son âge, et la taille du ménage). Les modèles Simétab et Simpop fonctionneront sur la base des hypothèses retenues pour caractériser chacun des scénarios et détaillées en 5.3.

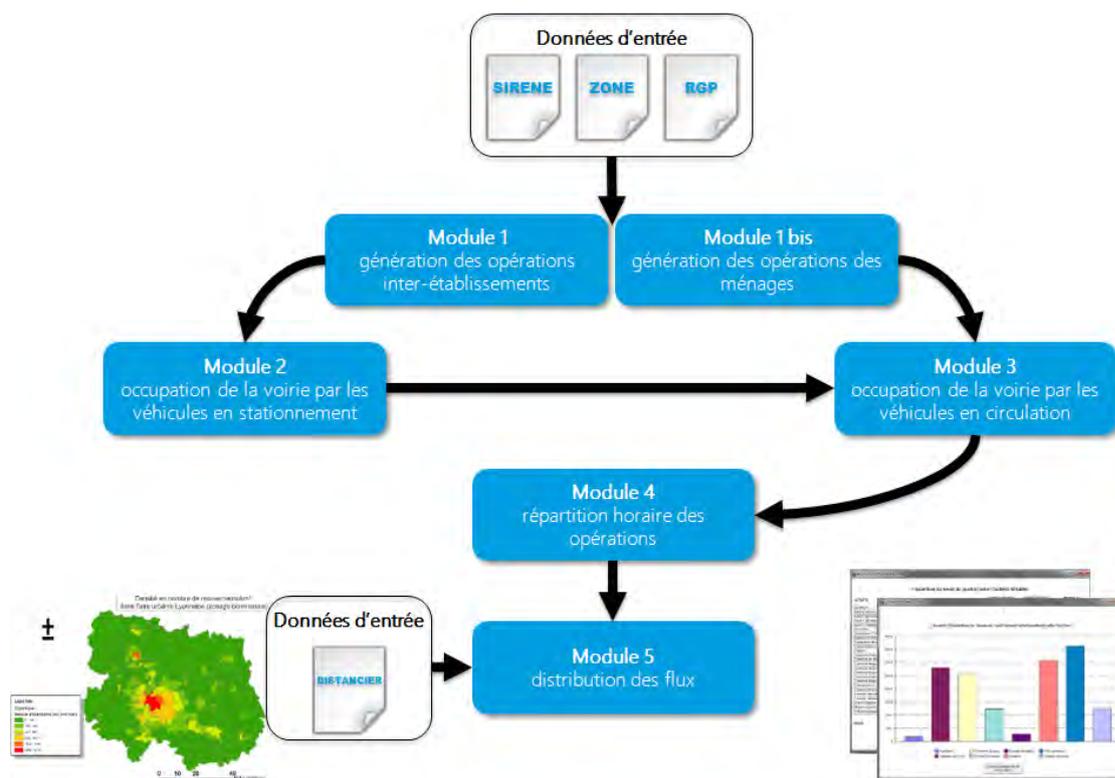


Figure 67 : Architecture de Freturb-Silogues

7.2. Les caractéristiques des flux urbains de biens alimentaires¹⁸

Les biens alimentaires sont caractérisés par leur fragilité, qui nécessite des conditions de transport adaptées, sans nécessairement impliquer le recours à des véhicules à température dirigée. En effet, si les distances sont courtes et les conditionnements adaptés, les véhicules classiques sont largement utilisés.

En revanche, cette fragilité des produits impacte fortement l'organisation logistique mise en œuvre. Avec 60% des livraisons et enlèvements, le compte propre, qu'il soit réalisé par le fournisseur ou par le client, est fortement prépondérant car c'est un moyen pour l'un comme pour l'autre de s'assurer de la qualité des conditions de transport, surtout lorsqu'il s'agit de produits frais.

Cette fragilité des biens alimentaires explique également que la fréquence d'approvisionnement soit élevée (plusieurs fois par semaine, voire tous les jours), car les produits ne peuvent être stockés sur des durées longues au risque de perdre leurs qualités. De ce fait, ces biens sont généralement transportés dans des véhicules utilitaires (54%), excepté pour les boissons qui nécessitent des véhicules lourds. Les activités qui manipulent de gros volumes de marchandises, comme les industriels, grossistes et grandes surfaces privilégient également

¹⁷ GARDRAT, M., SEROUGE, M., TOILIER, F., GONZALEZ-FELIU, J. (2014), Simulating the structure and localization of activities for decision making and freight modelling: The SIMETAB model, pp. 147-158. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 125.

¹⁸ Pour un panorama détaillé des flux de biens alimentaires, se référer au mémoire d'Anaëlle Pitoiset (2020), "L'approvisionnement alimentaire des agglomérations : organisations logistiques mises en oeuvre par les activités économiques et pratiques associées aux achats découplés des ménages", Master Transports, Réseaux, Territoire, ENTPE et Université Lyon 2, réalisé dans le cadre du projet SISAE.

l'usage de poids lourds. Pour autant, même lorsque les VUL sont utilisés, les taux de remplissage sont souvent réduits, du fait de la fréquence élevée des opérations.

Ces différents éléments expliquent que les flux de biens alimentaires représentent une part importante dans les flux de marchandises qui circulent en ville. Près d'une livraison/enlèvement sur 5 au départ ou à destination des activités économiques les concerne. Et les ménages sont de plus en plus nombreux à s'y mettre : plus d'1/4 d'entre eux ont recours à des services de livraisons pour leurs biens alimentaires (achats e-commerce, livraison en sortie de caisse), et lorsqu'ils le font, cela représente en moyenne 18 livraisons par an.

Mais ces chiffres ne doivent pas masquer la grande diversité des pratiques qui s'observent parmi les acteurs impliqués dans ces flux de livraisons : producteurs, industriels, grossistes, commerces de détail, restauration... à chaque acteur son organisation.

7.3. Hypothèses retenues pour décliner les scénarios dans Freturb-Silogues

7.3.1. Le scénario de Génération frugale

7.3.1.1. Hypothèses sur la structure économique des activités

Ce scénario vise à rapprocher les activités et les ménages pour limiter les temps de trajets et favoriser le recours aux modes actifs mais aussi pour rapprocher les lieux de production de ceux de consommation. Le tissu économique sera modifié de manière à faire croître le nombre des établissements agricoles (développement du recours aux circuits courts alimentaires), artisanaux (privilégier l'entretien/réparation au renouvellement) et industriels (de petite taille). Quant aux activités commerciales, le nombre de grandes surfaces diminue fortement au profit de petits commerces (dont la taille moyenne se développe légèrement pour proposer des services de réparation). Le secteur de l'hôtellerie-restauration est globalement stable par rapport au scénario de référence, voire en légère diminution du fait de la volonté des ménages de mieux contrôler leur alimentation et de produire leurs propres mets. Les activités de bureaux voient leur nombre et leur taille se réduire.

Les activités d'entreposage diminuent en nombre car le développement des circuits courts se traduit par un moindre besoin de stocker / grouper / dégroupier la marchandise.

7.3.1.2. Hypothèses sur la structure socio-démographique et les pratiques de consommation des ménages

Le trend sur l'évolution de la structure par âge et par taille des ménages est globalement similaire quel que soit le scénario. En particulier, la croissance du nombre de retraités est importante en lien avec le vieillissement de la population. En revanche, la distribution des professions est impactée par les évolutions relatives aux activités économiques. Ainsi, les PCS artisans commerçants, employés, ouvriers, professions intermédiaires se développent tandis que la part des cadres se réduit en lien avec la diminution de la taille des activités économiques.

Les ménages privilégient les achats en magasin et le e-commerce ne progresse pas voire diminue par rapport à la situation de référence. Lorsque les achats se font sur internet, la livraison est prioritairement réalisée sur des points relais même si des services de livraison à domicile persistent notamment pour desservir la clientèle âgée.

7.3.1.3. Hypothèses sur le développement urbain

Dans ce scénario, on diffuse la croissance démographique attendue sur les aires urbaines de plus de 15 000 habitants ainsi que sur les territoires comportant des résidences secondaires qui sont transformées en résidence principale, potentiellement à l'occasion d'un départ en retraite, ou des logements vacants. Il s'agit bien ici de limiter l'artificialisation et de réutiliser les espaces d'ores et déjà bâtis.

7.3.1.4. Hypothèses sur les organisations logistiques mises en œuvre

Compte tenu des hypothèses relatives à la localisation des activités et des ménages, l'usage des modes actifs se développe, et notamment des vélos cargo pour la livraison des marchandises. Les véhicules utilitaires légers demeurent également très utilisés. Le recours important aux circuits courts provoque une croissance plus intense

du compte propre (transport réalisé par le fournisseur et non par un transporteur professionnel). Des services de cotransportage peuvent être mis en place notamment pour la livraison à domicile à destination des ménages âgés.

7.3.2. Le Scénario Coopérations territoriales

Ce scénario est dans l'ensemble très proche du précédent.

7.3.2.1. Hypothèses sur la structure économique des activités

Comme dans le scénario Génération frugale, on voit se développer une agriculture en périphérie des villes. Les activités artisanales progressent elles-aussi pour favoriser le réemploi des biens plutôt que leur remplacement mais de façon un peu moins intense que dans le scénario 1. Une croissance de l'activité industrielle est inscrite dans ce scénario mais sur quelques secteurs clés (à préciser). Le bassin de vie à approvisionner étant plus large dans ce scénario que dans le scénario Génération frugale, davantage d'entrepôts sont nécessaires.

7.3.2.2. Hypothèses sur la structure socio-démographique et les pratiques de consommation des ménages

Ce scénario ne présente pas de modifications par rapport au scénario Génération frugale.

7.3.2.3. Hypothèses sur le développement urbain

Le développement urbain est plus concentré que dans le scénario Génération frugale puisque ce sont principalement les aires urbaines de plus de 50 000 habitants qui accueilleront la croissance de la population.

7.3.2.4. Hypothèses sur les organisations logistiques mises en œuvre

La taille plus grande des agglomérations concernées par le développement urbain dans ce scénario favorise des pratiques de mutualisation des trajets, qui n'étaient que peu présentes dans le scénario précédent, avec formation de groupements de producteurs pour approvisionner l'espace urbain. L'usage des modes actifs par les ménages reste important dans ce scénario, par contre pour les flux de marchandises, la part des VUL et des petits porteurs est plus forte que dans le scénario Génération frugale.

7.3.3. Le scénario de Technologies Vertes

Ce scénario est proche du scénario tendanciel. La concentration des ménages et des activités sur les métropoles demeure importante et on observe peu de changement dans la structure des activités par rapport à la situation actuelle.

7.3.3.1. Hypothèses sur la structure économique des activités

L'emploi tertiaire reste prédominant et en croissance, les activités décisionnelles se concentrant en centre-ville tandis que les services banaux s'implantent en périphérie tout comme les activités artisanales. Les restaurants standard ainsi que les fast-food se développent partout, notamment sous la forme de food trucks car la vente à emporter ou la livraison à domicile s'accroissent. Par conséquent, ces activités peuvent être accueillies dans de plus petites surfaces (moindre surface pour la salle et plus pour la cuisine).

La croissance du e-commerce dans les pratiques de consommation des ménages se fait au détriment des formes de commerce traditionnel qui perdent des emplois et au profit des activités d'entreposage et de logistique. Les commerces se transforment de plus en plus en espaces de showroom qui peuvent ne disposer que d'un nombre limité de produits, les achats se faisant ensuite sur internet. Quelques commerces utilitaires classiques demeurent néanmoins, notamment pour satisfaire une clientèle âgée.

Comme dans le scénario tendanciel, on note un regain industriel dans les périphéries.

7.3.3.2. Hypothèses sur la structure socio-démographique et les pratiques de consommation des ménages

A la différence des deux scénarios précédents, celui-ci favorise une croissance des emplois d'ouvriers et d'employés ainsi que des cadres dans les centres (stagnation des emplois de commerçant ou chef d'entreprise par réduction des activités artisanales et commerciales).

L'achat sur internet assorti d'un service de livraison, en magasin ou à domicile se diffuse fortement parmi les populations, toutes tranches d'âge confondues. Les livraisons instantanées (en moins de 2h) se multiplient, l'économie tend vers un fonctionnement 24h/24.

7.3.3.3. Hypothèses sur le développement urbain

Dans ce scénario, nous privilégions une concentration des populations et des activités dans des agglomérations de + 200 000 habitants, par densification de l'espace (les nouveaux bâtiments construits sont plus haut que ceux qu'ils remplacent, les espaces vides disparaissent). L'urbanisation le long des axes de transport est privilégiée.

7.3.3.4. Hypothèses sur les organisations logistiques mises en oeuvre

Dans les centres urbains, le recours à la livraison à domicile instantanée accentue l'usage du 2 roues, notamment électriques. Les traces directes s'accroissent fortement car la contrainte de livraison rapide pénalise les possibilités d'optimisation des parcours.

En périurbain ou dans l'espace rural, l'usage des VUL est toujours soutenu, au détriment des PL du fait de livraisons beaucoup plus fragmentées.

Des espaces logistiques urbains sont mis en place pour faciliter la récupération des colis : implantation de consignes en pied d'immeubles, de bureaux de villes (espaces multiservices permettant le retrait de colis).

Par manque de foncier, les fleuves sont investis pour stocker la marchandise et l'acheminer au cœur des villes.

7.3.4. Le scénario de Pari réparateur

Ce scénario est proche du précédent même si l'automatisation est plus intense grâce au déploiement du numérique dans toutes les activités.

7.3.4.1. Hypothèses sur la structure économique des activités

Dans ce dernier scénario, la taille moyenne des établissements économiques (exprimée en nombre d'emplois) s'accroît (les activités artisanales deviennent de petites industries, les grandes surfaces remplacent le petit commerce). Les entrepôts voient également leurs emplois augmenter pour absorber une demande toujours plus forte d'achats sur internet.

Parallèlement à la croissance de leur taille, les commerces se transforment pour devenir des espaces de showroom. Dans le secteur de la restauration par contre, le nombre d'emplois stagne car les serveurs sont remplacés par des cuisiniers qui proposent leurs plats à emporter ou à se faire livrer à domicile.

7.3.4.2. Hypothèses sur la structure socio-démographique et les pratiques de consommation des ménages

La croissance de la taille des commerces et des activités se produit dans un contexte de baisse globale de l'emploi commercial du fait du recours beaucoup plus massif à des automates pour réaliser les tâches et fonctionner 24h/24. En outre, la démocratisation de l'usage des imprimantes 3D favorise des pratiques d'autoproduction par les ménages pour les biens de consommation élémentaires.

Dès lors la ségrégation sociale s'accroît, en lien avec la réduction des catégories intermédiaires tandis que les emplois d'ouvriers et de cadres (emplois décisionnels, ingénieurs) se développent.

La facilité à se procurer ou à produire les biens dissuade les pratiques de réparation et accroît les besoins de tri et de recyclage des déchets.

7.3.4.3. Hypothèses sur le développement urbain

Idem scénario de Technologies Vertes.

7.3.4.4. Hypothèses sur les organisations logistiques mises en oeuvre

L'usage des robots de livraison, qu'ils circulent sur la route ou par les airs, se développe en complément des 2 roues pour les livraisons instantanées. Le VUL perdure dans les espaces moins denses où l'usage des robots est inadapté.

Les espaces logistiques créés dans le cadre de ce scénario sont des espaces mobiles, déposés sur l'espace public par des véhicules autonomes. Ils permettent le retrait des petits colis tandis que les encombrants demeurent livrés à domicile par des humains.

7.4. Les indicateurs de sortie

Les indicateurs produits par Freturb-Silogues peuvent être déclinés par type d'espace (urbain, périurbain, rural, et selon la taille de l'aire urbaine), par type d'activité (en 8 catégories : agriculture, artisanat et services, industrie, commerce de gros, grands magasins, petit commerce, activités de bureau, entrepôts et transport) ou type de ménage (selon sa taille ou sa PCS). Il s'agit :

- Du nombre de livraisons ou enlèvement de biens alimentaires réalisés dans les établissements économiques ou chez les ménages
- Des types de véhicules utilisés pour réaliser ces livraisons et enlèvements
- Des distances parcourues par ces véhicules
- Des émissions polluantes associées, et en particulier, du CO2.

7.5. L'évaluation des impacts du transports de marchandises en ville

L'évaluation des impacts du transport de marchandises en ville selon les scénarios n'a pu être effectuée dans le cadre de ce projet pour des raisons d'indisponibilité de l'équipe de recherche alors que le conventionnement et le calendrier global du projet avait pris du retard. Ces travaux n'avaient cependant pas fait l'objet d'un financement spécifique.

8. Transport des ménages, tertiaire, résidentiel

Dans la chaîne des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ induites pour l'alimentation de la population française qui est l'objet du travail réalisé dans le cadre du projet SISAE, le maillon étudié dans cette partie est lié à la façon de laquelle la pratique alimentaire s'effectue au dernier stade.

Pour cela, une reconstitution des consommations énergétiques liées aux pratiques d'achat et de consommation, y compris le transport entre les lieux où elles s'effectuent et le stockage au domicile, est nécessaire. C'est ce qui est développé ici en trois parties : le secteur tertiaire, le résidentiel et la mobilité des ménages pour leur alimentation.

Le passage aux émissions de CO₂ se fait en appliquant aux quantités d'énergie consommées des facteurs d'émissions, par vecteur, des scénarios ADEME encadrants.

8.1. Périmètre d'analyse

Dans cet exercice, pour les secteurs concernés dans cette partie, le point le plus délicat, au-delà du choix et de la modélisation de leur évolution, réside, dans la définition du périmètre d'analyse pertinent.

La question qui se pose pour ces secteurs qui ne sont pas dédiés uniquement à l'alimentation est de savoir où mettre la limite entre ce doit être alloué à la fonction et le reste.

La difficulté vient de ce qu'il n'existe pas, aujourd'hui, de règle stricte, établie et partagée, sur ce qui doit faire partie, ou pas, d'une empreinte, énergétique ou carbone, d'une fonction de consommation particulière. C'est dommageable parce que ça rend les comparaisons entre empreintes réalisées par différentes équipes difficiles à interpréter, si ce n'est hasardeuses, mais pas uniquement.

En effet, la définition de ce périmètre ne peut pas être arbitraire et doit respecter certaines règles. Il s'agit de s'assurer, autant que possible, que ce qui est pris en compte dans le calcul de l'empreinte particulière informe sur ce qui dépend de l'activité concernée et comment la faire évoluer pour modifier, réduire, l'empreinte.

Au-delà de l'exigence de comparabilité, cette attention facilite aussi le respect d'un critère d'additivité entre empreintes "spécifiques" et évite des doubles comptages pour que, par exemple, ce qui est compté dans l'empreinte "alimentation" ne se trouve pas aussi dans l'empreinte "logement/bâtiment" ou mobilité.

Dans l'état actuel des définitions, il n'y donc pas de garantie de pouvoir être comparable rigoureusement à tout autre exercice d'empreinte, la seule exigence qu'on se donnera dans ce projet, sera d'être transparent sur les choix de périmètres et de méthode de reconstruction faits ainsi que les raisons qui nous y ont conduit.

Ainsi nous avons considéré, par exemple, que la prise en compte du confort thermique, dans les secteurs résidentiels et tertiaire méritait une attention particulière, d'autant que c'est un poste aujourd'hui particulièrement émetteur de CO₂ en France et dont la prise en compte, ou pas, peut créer des différences importantes entre maillons de la chaîne alimentaire. On peut aussi se demander si une préconisation sur l'amélioration de l'isolation des bâtiments ou la décarbonation des systèmes de chauffage a sa place dans un rapport sur l'alimentation, d'autant que, selon les résultats, les préconisations alimentaires pourraient apparaître moins efficaces que des actions sur le confort thermique, qui seraient elles déjà préconisées dans un travail sur les bâtiments.

Par ailleurs, autant la prise en compte de ce qui permet le confort thermique peut sembler évidente lorsqu'on évalue la contribution à l'empreinte alimentaire d'un restaurant, autant lorsqu'on traite la restauration en entreprise ou le domicile ça ne semble pas aussi légitime. Mais alors l'empreinte alimentaire du restaurant risque d'être surdimensionnée par rapport aux deux autres.

Enfin, si l'on choisit quand même de prendre en compte le confort thermique dans l'élaboration de l'empreinte alimentaire, le choix du critère d'allocation de la part "alimentaire" de ce qui contribue au confort thermique doit être fait arbitrairement. Pour évaluer cette part, faut-il prendre en compte, selon les informations disponibles, la part du chiffre d'affaire, ou de la valeur ajoutée, du secteur attribuable à l'alimentation, le nombre de personnes alimentées, la surface dédiée à l'alimentation, le temps consacré (préparation et consommation), ... ?

La très grande hétérogénéité des pratiques, et donc des consommations induites selon les individus, rend très fragile l'exercice et risque de créer autour du signal recherché un bruit de fond trompeur. La question qui se pose

est de savoir si pour faciliter l'analyse il vaut mieux réduire l'alimentation à la fonction nutritive, qu'il ne faudrait pas limiter à la seule valeur calorique des aliments, et faire abstraction de sa dimension commensale ou au contraire reconnaître toute la valeur sociale de la restauration ? Nous n'avons pas l'ambition de trancher dans cet exercice, tant par ce n'était pas l'objet du projet que parce que le sujet est loin d'être clos.

Nous avons donc choisi de différencier dans l'élaboration dans bilans deux types de consommations : celles strictement alimentaires (processus de préparation, chauffe, achat d'aliments, conservation, entretien, etc.) et celles d'ambiance (confort thermique, visuel et ludique pendant les préparations, alimentation et entretien).

L'objectif du travail fait dans cette partie sera de reconnaître que l'alimentation ne se limite pas à la seule nutrition et de réfléchir à la meilleure façon de tenir compte de sa valeur sociale (dimension commensale). Quelques ordres de grandeur et sensibilités seront donné(e)s dans ce rapport pour fixer les idées et éventuellement alimenter un débat bien plus large, qui reste à faire, sur le choix des périmètres d'analyse pertinents pour ces exercices de calcul d'empreinte qui devraient se généraliser.

8.2. Considérations préalables générales et avertissements

Le calcul d'empreinte étant une pratique naissante, c'est un exercice qui pêche surtout du côté de l'accessibilité aux données ad hoc, ce qui amène toujours à certaines simplifications qu'il est toujours utile de préciser pour éviter des mauvaises ou surinterprétations des résultats présentés.

8.2.1. Démographie

Au premier ordre, les pratiques d'alimentation dépendent des évolutions démographiques.

Pour le dimensionnement des calculs, nous avons repris les hypothèses des scénarios encadrants de l'ADEME soit pour 2050 en France métropolitaine 69 676 507 habitants dont 67 613 079 en "ménages ordinaires" dont 67 247 837 en résidence principales.

Plus finement, il aurait pu être envisagé de prendre en compte, entre aujourd'hui et 2050, l'impact du vieillissement, voire les tailles de ménages, sur le contenu des assiettes ainsi que les modes de préparation choisis. Mais, les écarts de taille de ménages finalement retenus entre scénarios ainsi que le peu de données statistiques consolidées permettant de différencier clairement les écarts de consommations induits par le vieillissement nous ont conduit à ne pas en tenir compte.

8.2.2. Préparation et contenu de l'assiette

Selon les scénarios, au-delà du contenu des assiettes, les types d'alimentation ainsi que les modes de préparation choisis d'alimentation diffèrent. En conséquence, dans l'élaboration des scénarios les temps d'utilisation des équipements au domicile, les taux de préparation à l'extérieur et de surgelés, etc. ont été pris en compte pour l'évaluation des hypothèses.

8.2.3. Cohérence sectorielle

Au-delà de la déclinaison en valeur des histoires, la question des cohérences entre secteurs est aussi un point délicat dont nous avons tenu compte dans le choix de nos hypothèses sans avoir vraiment de quantifications explicites précises. En effet, il ne nous a pas semblé possible de généraliser à l'échelle de toute la consommation d'un pays les résultats d'ACV ou études particulières, aussi instructives soient-elles prises individuellement, d'autant que leurs enseignements peuvent être très hétérogènes pour de très légères variations (deux marques différentes) de produits. C'est une question qui mériterait sans doute une étude en soi. Voici quelques exemples des questions que nous nous sommes posées qui gagneront à être approfondies dans des travaux ultérieurs :

- Selon le % de repas pris au domicile les consommations d'énergie liées se ventilent différemment entre le résidentiel et le tertiaire au sein duquel elles se répartissent encore selon les récits entre les bureaux, commerces, artisanats de bouche ou établissements de restaurations.
- Le % de plats préparés en amont du domicile se traduit par des variations couplées de consommations d'énergie dans les secteurs résidentiel, tertiaire et industrie, très délicates à évaluer de façon systémique à l'échelle d'un pays tant les variations possibles sont nombreuses.

- Le taux d'emballage utilisés à tous les maillons de la chaîne, y compris déchets, se traduisent par des besoins variables à tous les niveaux difficiles à quantifier précisément avec nos outils de modélisation et données disponibles.

Pour pouvoir faire une telle mise en cohérence, il faudrait, par exemple, commencer par ramener l'ensemble de l'alimentation à des "équivalents repas" : 3 équivalent-repas pour toute la population ou une plus fine discrétisation entre petit-déjeuner, en-cas, "4h", apéritifs, grignotage, etc. par exemple). Puis, les différencier selon qu'ils sont constitués de plats +/- préparés, et consommés +/- au domicile ou hors-domicile ; le hors-domicile à encore répartir, +/- à l'extérieur (plein-air ou tiers-lieux dont bureaux) ou lieux de restauration (restaurants d'entreprise et les autres) dont les compositions ne sont pas forcément homogènes.

Un tel bilan, supposerait, ensuite, de pouvoir additionner les repas pris en résidentiels (chez soi ou des amis) ou en restauration extérieures (collective, loisir) ; la part en tertiaire étant particulièrement difficile à mesurer car, au-delà des repas complets "officiels" (en restaurant sans qu'il soit possible de connaître le taux de préparation "fait-maison" vs industrielle) évaluer précisément tous les "assemblages" restant (vente à emporter, "pique-nique", grignotage, ...) n'est pas possible. L'alimentation plein-air se retrouvera allouée au tertiaire ou au domicile selon le lieu de préparation/fourniture du repas. D'un autre côté toutes ces subtilités prises seules sont souvent trop petites pour être exploitables statistiquement dans des bilans globaux mais elles sont si nombreuses que de les négliger toutes peut fausser les analyses.

Un premier travail serait nécessaire pour synthétiser les tendances actuelles, hors pandémie. Ainsi, par exemple, la restauration méridienne hors-domicile est à la hausse alors que la fréquentation des restaurants d'entreprise apparaît en baisse car "l'alimentation au bureau" avec des produits préparés au domicile et la restauration rapide est en hausse avec une offre de la "vente à emporter" (boulangerie, traiteurs et "industrielle") qui monte en gamme et diversité.

Et pour finir il aurait fallu avoir des tables bilans énergie et CO2 par usage à un degré de finesse suffisant pour séparer les différentes situations évoquées plus haut ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.

En l'absence de telles bases de données, nous raisonnerons de façon +/- agrégée au niveau de chaque secteur en nous appuyant sur notre connaissance sectorielle des usages pour interpréter au mieux les récits des scénarios.

8.2.4. Scénarios élaborés

Nous avons choisi de ne travailler que sur les scénarios ADEME : Tendancier (S0), Génération frugale (S1), Coopérations territoriales (S2), Technologies Vertes (S3) et Pari réparateur (S4).

La principale motivation de ce choix était de garantir ainsi au mieux la cohérence des hypothèses utilisées pour la reconstruction des consommations alimentaires avec celles de l'exercice encadrant "Prospective Energie Ressources" de l'ADEME, particulièrement en ce qui concernait les consommations alimentaires d'ambiance.

Nous nous sommes limités à ces 5 scénarios car l'éventail des panoramas balayés par les scénarios ADEME, nous a semblé suffisamment large pour que l'élaboration d'un scénario SNBC supplémentaire n'apporte pas de plus-value informative sur les consommations tertiaire, résidentielle et mobilité des ménages traitées dans cette partie.

Pour rappel voici brièvement le contexte des scénarios de l'exercice ADEME encadrant.

Tendancier (S0) : Poursuite des tendances actuelles, les choix climatiques et environnementaux politiques restent contraints par les exigences économique-financières. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont à un niveau compatible avec la RCP 8,5 des scénarios GIEC et conduisent à une augmentation, en 2100, de +5,4 °C par rapport aux niveaux préindustriels pour le monde, qui se traduit à du +3,9°C en 2100 pour la France.

La société reste très divisée, les contestations sont nombreuses et la vie devient de plus en plus difficile mais "les gens font avec", ils composent comme ils peuvent et utilisent toutes les facilités offertes, mais c'est plus du système "D", qui permet à ceux "qui savent" ou "ont les moyens" de "s'en tirer" mais les inégalités dans la société continuent de s'accroître. Les solutions "techniques" restent centrales dans les politiques.

Génération frugale (S1) : c'est un scénario de gestion de l'urgence dans lequel des décisions fortes, et contraignantes, d'application immédiates sont prises dès 2025. Le levier principal, pour aller vite est la baisse de la demande en faisant évoluer les usages. Les émissions, nettes, de GES dans ce scénario et les 3 suivants sont contenues au niveau mondial à un niveau compatible avec une augmentation de 3,2°C en 2100 par rapport aux

niveaux préindustriels pour le monde, qui se traduit à du +2,1°C en 2100 pour la France (RCP 4,5 du rapport N°5 du GIEC, scénario Météo France DRIAS 2021).

Ce qui structure l'ensemble des choix et actions politiques est la résilience nécessaire au niveau de chaque territoire ; le PIB n'est plus l'objectif principal de pilotage des politiques mais juste un indicateur parmi d'autres. Cette évolution sous contrainte est rendue acceptable par le déploiement de dispositifs de concertation à tous les niveaux, du local au national, et avec tous les acteurs concernés pour partager l'information sur les conséquences des changements qui arrivent et s'entendre sur les façons d'y répondre ensemble. Les contraintes globales sont ainsi déclinées localement selon la capacité de chaque territoire à les accepter.

Le pays est organisé en un ensemble de "territoires" au sein desquels les activités et productions sont mises au service des besoins essentiels en priorité. Un financement de base national est alloué à chaque territoire en fonction de ses caractéristiques (démographiques, sociales, climatiques, environnementales, ...) que chaque communauté alloue à sa guise, même s'il se maintient un canevas de niveau minimum nationalement décidé qui doit être respecté. Globalement l'organisation des territoires est plus décentralisée que dans S2 qui est plus dans une logique de planification.

Ces restrictions, sur le plan matériel, des consommations restent acceptables car résultant d'un choix collectif pour garantir les niveaux sociaux et environnementaux. Le choc de la crise écologique subie a fait émerger une aspiration nouvelle à être plus responsable de l'impact global de ses choix et actes qui rend supportable, voire désirable pour certains, les conséquences de la réduction de la dépendance aux productions extérieures. Les liens sociaux redeviennent essentiels et compensent la moindre richesse matérielle voire améliorent le sentiment de bien-être dans la population.

Coopérations territoriales (S2) : dans ce scénario, la crise écologique qui n'est pas encore aussi forte dès le début que dans le S1, laisse à la société le temps de se reconfigurer pour s'engager collectivement dans une politique nationale de préservation des équilibres environnementaux et sociaux. Les émissions, nettes, sont contenues comme dans le S1

Les mêmes démarches de concertation que dans le S1, avec un peu plus de marge de manœuvre, permettent la mise en place d'une planification écologique de l'ensemble du pays déclinée au sein des régions et départements. La sobriété choisie peut ainsi, dans ce scénario, être atteinte sans devoir accepter de restrictions matérielles aussi fortes que dans le S1.

Technologies Vertes (S3) ce scénario s'inscrit dans un contexte comparable à celui du tendanciel avec plus de progrès technique, et donc de croissance (classique) nationale ou mondiale, ce qui permet de faire moins de restrictions globalement même si les inégalités s'accroissent. Les émissions, nettes, de GES sont au même niveau que pour les S1 et S2.

Pari réparateur (S4) comme le S3 piloté par une course à la consommation toujours plus exacerbée avec encore plus de progrès technique. Les émissions, nettes, de GES identiques aux S1, S2 et S3.

La numérisation de toutes les activités, y compris les processus démocratiques, s'accélèrent et la virtualisation des vies est de plus en plus importante. Les réseaux sociaux prennent en continu la température de l'opinion publique et permet aux gouvernants de faire évoluer très rapidement, avec un minimum de temps de débat, les lois et réglementations.

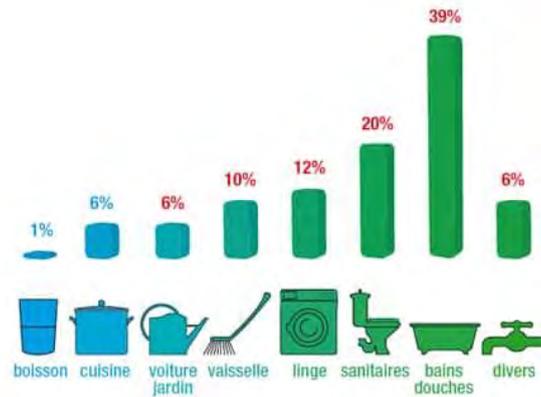
8.3. Résidentiel

8.3.1. Élaboration de la part "alimentaire" de la consommation résidentielle

En première analyse sur le périmètre limité de la fonction « Alimentation », les usages concernés 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 la vaisselle.

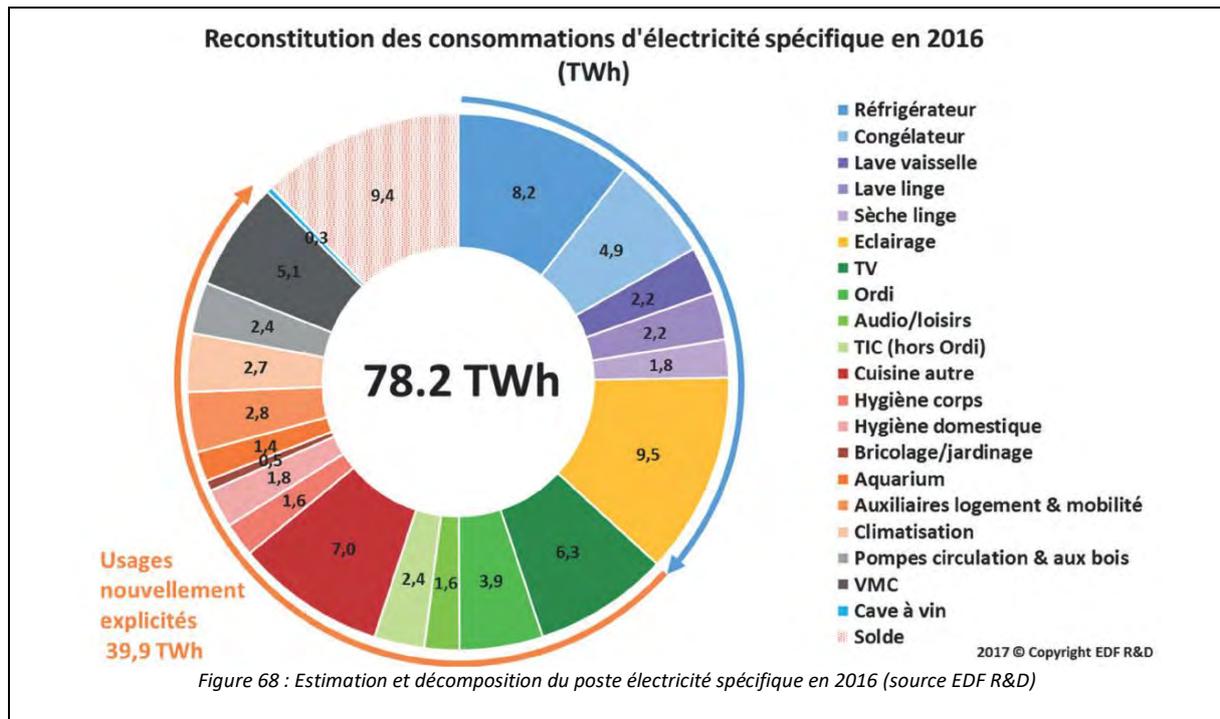
Nous nous sommes posés la question d'intégrer l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) et avons choisi de ne pas le faire car aujourd'hui en France l'eau est chauffée dans les machines à laver et pour le reste de l'ECS on peut supposer que l'usage majoritaire est pour l'hygiène et le loisir.

Pour illustration, en nous appuyant sur un document d'information du [centre d'information de l'eau](#) qui dit qu'en moyenne dans les foyers 16% de la consommation d'eau est consacré à la vaisselle (10%) et la cuisine (6%), nous avons calculé que l'impact de l'allocation de **10% de l'ECS à l'alimentation faisait passer le total "vaisselle" de 3,0 TWh à 7,4 TWh !!**.



Pour la modélisation, les consommations d'énergie par vecteur énergétique et par usage consommateur sont établies sur la base des données CEREN pour le chauffage, l'ECS. Les énergies concernées sont le gaz, le fioul et le GPL, l'électricité, la biomasse et le chauffage urbain. Pour les usages dits de l'électricité spécifique (cf. Figure 68 ci-dessous), froid, lavage, éclairage, petit électroménager et climatisation), l'expertise interne d'EDF est mise à contribution pour évaluer leurs puissances unitaires et durées d'usage moyens afin de déterminer leurs consommations dédiées.

Les taux d'équipements sont établis à partir d'enquêtes externes comme l'enquête Budget des Familles [2011 de l'INSEE] recalées à l'aide d'enquêtes internes ad hoc.



Ainsi pour ce qui est de la partie strictement alimentaire, les valeurs retenues sont celles reconstruites par la R&D d'EDF car les consommations des grill, micro-ondes et autres petits appareils ménagers (bouilloires, grille-pain, cafetières ou robots ménagers¹⁹), nécessaires pour notre étude, ne sont pas incluses dans le segment de

¹⁹ Dans cet exercice sur 2018 nous avons rajouté 10% du solde de consommation résidentielle non identifiée au total alloué aux appareils culinaires

consommation "cuisson" du CEREN on obtient un total annuel pour les ménages français de 58 TWh (en 2018 à température normale).

Dans un second temps, pour essayer d'être homogène avec d'autres secteurs du tertiaire, il est possible de prendre en compte les consommations d'énergie dites "d'ambiance" liées au confort thermique (sans l'eau chaude sanitaire) ou à l'éclairage, comme si ces consommations n'auraient pas eu lieu si l'alimentation se faisait hors domicile. L'hypothèse est certes discutable, mais permet de faire un exercice de sensibilité pour juger de la pertinence à en faire un traitement différencié, ou pas. On peut alors choisir la part attribuable à l'alimentation soit en l'allouant au prorata de la part de surface cuisine et salle à manger évaluée à 15%, soit en évaluant un temps consacré à l'alimentation (préparation, nettoyage et rangement inclus) de 5/4/3h réparties entre toutes les personnes (sur la base d'interprétations rapides d'analyses de l'INSEE sur l'enquête emploi du temps²⁰ croisées avec la connaissance des tailles des ménages et des taux de repas pris au domicile d'après l'étude INCA3²¹) auxquelles on rajoute de l'éclairage pour 2/3 du temps. Ces choix permettent de réaliser un premier calcul et donne une idée de l'impact.

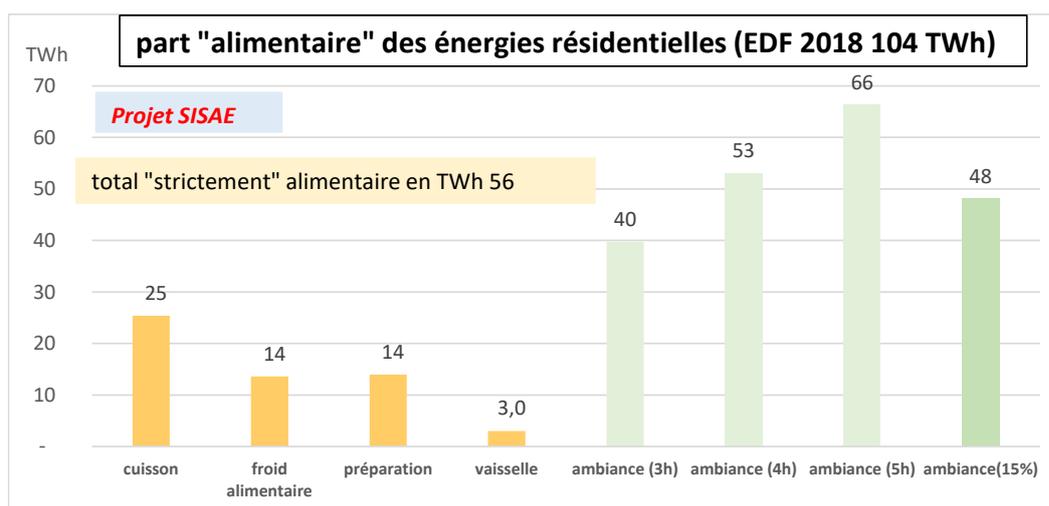


Figure 69 : Energie consommée en résidentiel pour l'alimentation (EDF 2018)

La Figure 69 montre qu'intégrer 4h de consommation "d'ambiance" à l'empreinte "cuisson-préparation-vaisselle-froid" revient à doubler sa taille. Dans cette représentation, réduire de 2h du temps consacré à l'alimentation permettrait de réduire plus la consommation d'énergie que de ne plus cuire ses aliments ou d'une heure compenserait toute la consommation liée au froid alimentaire avec, dans les deux cas, un impact sanitaire à évaluer non pris en compte dans cette étude.

Bien sûr, lorsque c'est possible, manger au chaud chez soi est préférable à devoir le faire sur un quai de gare venté, mais dans la pratique, les ménages en précarité énergétique ne vont pas manger plus souvent au restaurant parce que c'est mieux chauffé et nous n'avons pas trouvé d'études permettant d'établir un lien précis entre les pratiques alimentaires en résidentiel et la consommation résidentielle non alimentaire.

Si on intègre les consommations d'ambiance, il est assez clair que le principal levier de réduction de l'empreinte devient la réduction de celle du confort thermique du logement.

Au total en 2018 avec les données EDF, la part "strictement alimentaire" représente 54 % du total (Figure 69) si on retient le critère de 15% des surfaces du logement consacrés à l'alimentation pour évaluer les consommations d'énergie d'ambiance (soit 15 % des consommations d'énergie liées confort thermique), et 46 % des émissions de CO2.

²⁰ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1281016> tt Le temps de l'alimentation en France (insee 2012) et de La vie quotidienne en France depuis 1974. Les enseignements de l'enquête Emploi du temps, par Cécile Brousse (ÉCONOMIE ET STATISTIQUE N° 478-479-480, 2015)

²¹ <https://www.anses.fr/fr/content/etude-inca-3-pr%C3%A9sentation> Étude INCA 3 : présentation

Hors ambiance, l'usage cuisson (four+plaques) représente 45% des consommations d'énergie résidentielles pour l'alimentation mais 71% des émissions de CO₂, en raison du recours plus important à des énergies fossiles pour cet usage.

Le volume global de consommation d'énergie strictement dédiée à l'alimentation dans le résidentiel est évaluée à 56 TWh dont près de 77 % d'électricité tandis que les émissions de CO₂ représentent un volume de 5.1 MtCO₂ ; si on ajoute les consommations d'énergie d'ambiance, on passe à 104 TWh pour 11,2 MtCO₂ avec l'option "15%".

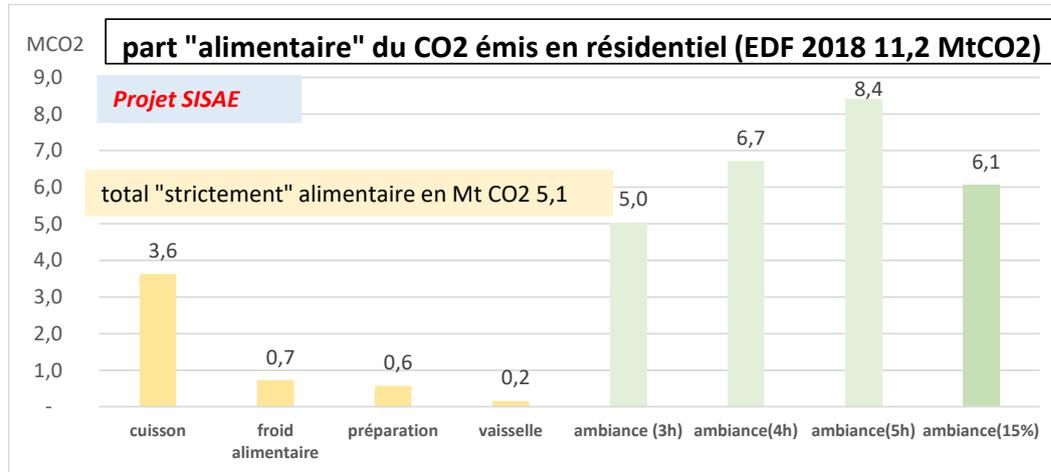


Figure 70 : Emissions de CO₂ liées à l'alimentation en résidentiel (EDF 2018)

Pour les projections, au-delà des évolutions naturelles liées à la démographie, les consommations varient selon les scénarios en fonction de l'évolution des taux d'équipement ainsi que des pratiques qui modifieront en conséquence les intensités d'usages. Pour les consommations "d'ambiance", les hypothèses faites sur l'amélioration de l'isolation et des systèmes de chauffage sont bien entendu prises en compte.

Pour faciliter l'interprétation des écarts entre scénarios, pour la suite, les comparaisons seront faites à partir de la situation de départ retenu par l'ADEME pour l'année 2015.

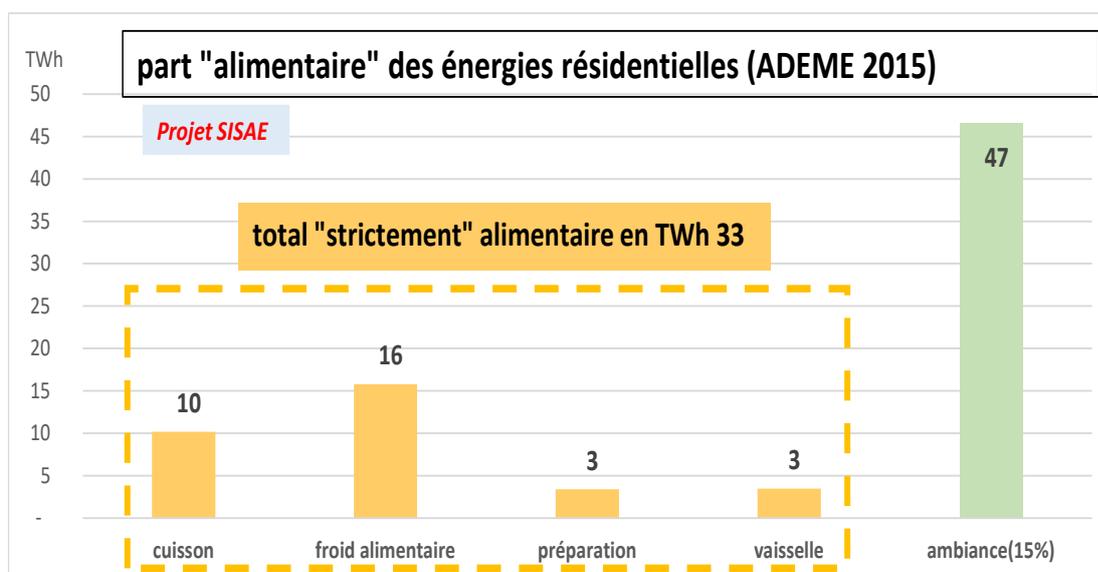


Figure 71 : Energie consommée en résidentiel pour l'alimentation (ADEME 2015)

Les ordres de grandeurs se retrouvent bien.

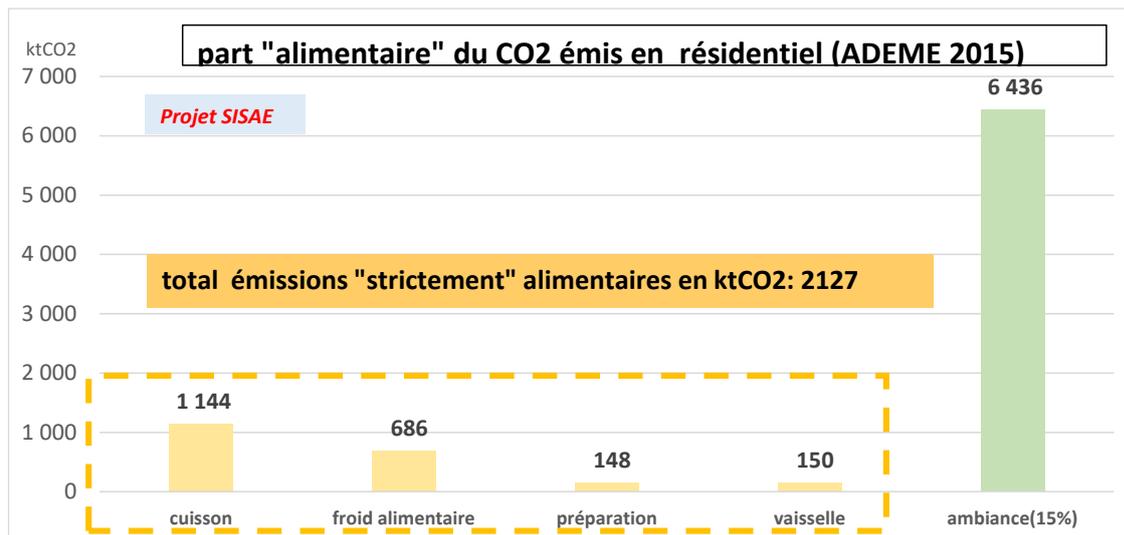


Figure 72 : Emissions de CO2 liées à l'alimentation en résidentiel (ADEME 2015)

8.3.2. Évolutions prises en compte pour les consommations alimentaires dans les scénarios

Comme signalé en préalable, les scénarios étudiés sont ceux de l'exercice encadrant "Prospective Energie Ressources" de l'ADEME à savoir : Tendancier (S0), Génération frugale (S1), Coopérations territoriales (S2), Technologies Vertes (S3) et Pari réparateur (S4).

Nous décrivons ici uniquement les différences liées à la fonction alimentaire car pour ce qui est des consommations d'ambiance elles évoluent comme l'ensemble des autres usages résidentiels, indépendamment des choix alimentaires faits.

Nous avons retenu, pour ces consommations d'ambiance, l'option "15%" (équivalent surface induit par l'usage alimentaire en résidentiel). Ce choix est fait plutôt que celui d'un temps dédié qui est à la fois encore plus difficile à évaluer compte-tenu de l'hétérogénéité des pratiques et de la difficulté à traduire ce temps en consommation car il faudrait supposer par exemple que le chauffage passe à zéro dès qu'on arrête de manger. Nous n'avons pas de meilleur choix pour prendre en compte la part ambiance pour le résidentiel.

Nous nous sommes posé la question de la légitimité à faire varier cet équivalent surface selon les scénarios sans pouvoir trancher. En effet, même si des scénarios 1 à 4 l'importance sociale du repas semblerait décroître ce qui laisserait supposer que la taille relative de l'équivalent cuisine suivrait le mouvement, dans la mesure où les niveaux de vie eux augmenteraient, il n'est pas évident que les consommations d'ambiance de l'alimentation évoluent plus dans un sens ou dans l'autre. Nous n'avons donc pas joué sur ce paramètre.

Du point de vue strictement alimentaire, nous avons plus interprété, en étroite liaison avec les équipes de l'ADEME les narratifs.

8.3.3. Scénario S0 Tendancier

Dans ce scénario, il y a une tendance qui pousse les ménages à manger plus souvent à la maison (télétravail, vieillissement) mais à partir d'aliments plus transformés ou préparés, entièrement ou en partie, à l'extérieur qui réduit les temps de préparation. Néanmoins, l'aspiration parallèle naissante du "fait à la maison", entraîne la multiplication de petits équipements de cuisson spécialisés (robots...) connectés, pilotables à distance qui, même si l'efficacité énergétique des appareils s'améliore, conduit à une augmentation des puissances et consos cumulées liées à la fonction alimentaire. L'électrification de la cuisson se poursuit et atteint 100% en 2050.

La tendance à l'augmentation de la restauration hors-domicile et de la livraison de repas préparés à l'extérieur au domicile se poursuit vient, en partie seulement, contrebalancer cette évolution qui se traduit par une augmentation dans le tertiaire.

La tendance au vieillissement, conduit aussi les personnes à être plus souvent chez elle, y compris pour manger, mais sans que l'activité de préparation n'augmente (voire diminue) car les repas sont de plus en plus préparés hors domicile.

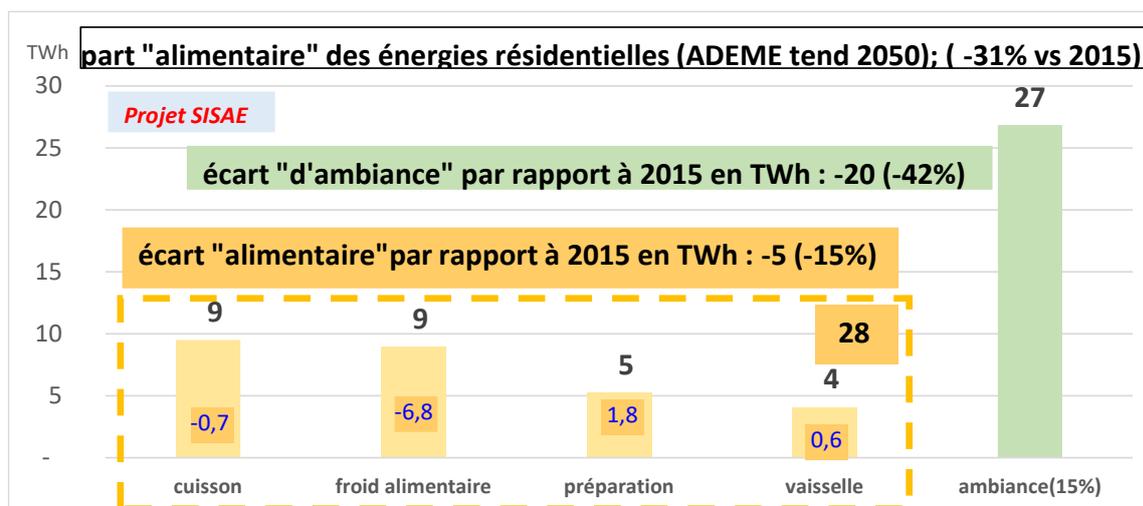


Figure 73 : Part alimentaire des consommations d'énergie en résidentiel dans le scénario tendanciel

Concrètement, sur le tendanciel pour la cuisson et le froid alimentaire c'est l'effet d'amélioration de l'efficacité énergétique qui est dominant, incluant l'électrification totale de la cuisson. Pour la vaisselle, cette amélioration est effacée par un taux d'équipement qui passe de 60% à quasiment 100%. Par ailleurs, la multiplication des équipements spécialisés entraîne du côté "préparation" une augmentation de la consommation.

Globalement par rapport à 2015, la consommation strictement alimentaire se réduit de 15% (- 5 TWh) ; si l'on intègre les consommations d'ambiance aux calculs, avec l'option "20%" qui baissent de 43% (-27TWh), on obtient une réduction plus forte d'un tiers (-32 TWh).

Du point de vue des émissions sur ce scénario l'électrification des usages alimentaires mixtes (feux et cuisinières) est le levier de décarbonation le plus marquant d'autant que le contenu carbone du gaz de réseau reste important (166,4 gCO₂e/kWh) ; la part des équipements gaz passent de 46% à 20%. En conséquence, ce sont les émissions strictement alimentaires qui baissent le plus.

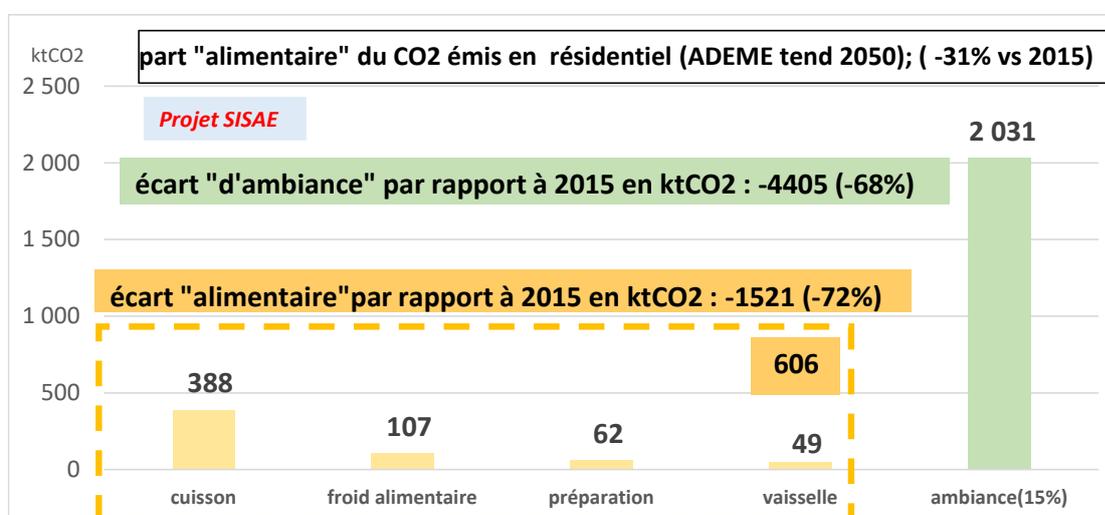


Figure 74 : Part alimentaire du CO₂ émis en résidentiel dans le scénario tendanciel

8.3.3.1. Scénario Génération frugale

Dans ce scénario, "manger à la maison", en famille ou avec les amis, revient en force ; manger seul devient rare. Les repas sont élaborés à partir de produits frais et simples, beaucoup moins transformés que dans le tendanciel, souvent issus de maraichage individuel ou partagé.

Cette augmentation des activités liée à l'alimentation (achats, préparation, repas, voire jardinage ☺) s'accompagne de pratiques moins énergivores mais qui prennent plus de temps. L'alimentation est plus en phase avec les saisons, les fruits et légumes sont consommés plus souvent et crus. Par rapport au tendanciel, il y a plus de repas partagés en communauté, soit dans des lieux publics, soit chez des proches (amis, famille, voisins). Il se développe diverses formes de cuisines collectives ce qui, au-delà des plaisirs de la convivialité retrouvée, permet de mutualiser, et donc un peu optimiser, les tâches ou a minima les rendre plus supportables.

Les évolutions technologiques sont moins poussées que dans le tendanciel, avec une efficacité qui progresse moins vite que dans le tendanciel mais le multi-équipement en petits appareils de cuisson spécialisés (glacières, robots...) disparaît et la mutualisation (appareils à raclette...) se développe. Des modes de préparation moins exigeant en chaleur (cuisson lente, basse température, produits crus ou cuits dans des marinades, etc.) se diffusent ; les réglages favorables aux économies d'énergie (mode « éco » par défaut, veille profonde, utilisation des couvercles, ...) se systématisent. Les cuissons sont optimisées et lorsque que le four est allumé c'est pour préparer plusieurs plats. Les techniques de conservation "douces" (conserves, bocaux, aliments séchés, ...) reviennent à la mode et ralentissent le développement des réfrigérateurs et congélateurs. Du stockage communautaire et/ou au niveau des quartiers se met en place ce qui permet de réduire les coûts et l'espace nécessaire en gardant un peu de variété de produits.

Dans ce scénario il y a moins de repas en restauration commerciale ou préparés à l'extérieur pour livraison que dans le tendanciel.

L'électrification de la cuisson s'accélère pour atteindre 100% avant 2040.

Par rapport au tendanciel, la consommation strictement alimentaire se réduit de 33% (-9TWh) ; si l'on intègre les consommations d'ambiance aux calculs qui diminuent de 36% (-13 TWh), on obtient une réduction un peu plus forte de 35% (-32 TWh).

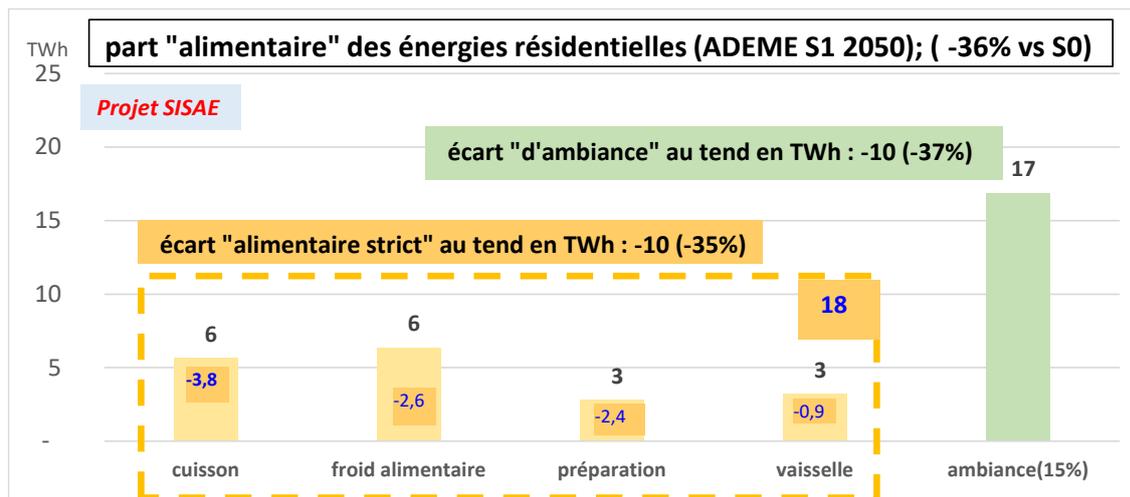


Figure 75 : Part alimentaire des consommations d'énergie en résidentiel dans le scénario Génération frugale

Pour l'ensemble des scénarios compte-tenu des hypothèses retenues, ce sont l'électrification à 100% de la cuisson et la décarbonation des vecteurs énergétiques qui ont le plus d'impact sur la baisse des émissions. Dans le cas du scénario Génération frugale, la sobriété sur les équipements joue également. La réduction des émissions est également importante sur le poste 'ambiance' du fait des efforts faits en matière de rénovation thermique dans ce scénario.

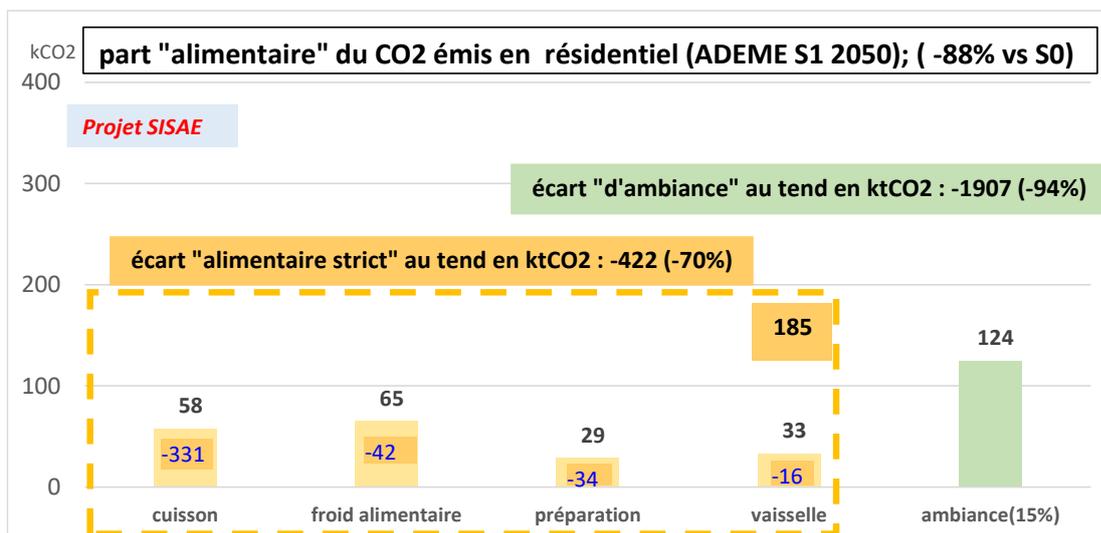


Figure 76 : Part alimentaire du CO₂ émis en résidentiel dans le scénario Génération frugale

8.3.3.2. Scénario S2 Coopérations territoriales

Ce scénario est similaire au scénario 1 avec une évolution des comportements individuels moins forte facilitée par une meilleure amélioration de l'efficacité énergétique des équipements qui permet de moins réduire ou simplifier l'alimentation ; l'électrification de la cuisson se poursuit aussi à un rythme plus élevé que dans le tendanciel.

Par rapport au tendanciel, la consommation strictement alimentaire se réduit de 24% (-7TWh) ; si l'on intègre les consommations d'ambiance aux calculs qui diminuent de 34% (-12 TWh), on obtient une réduction un peu plus forte de 29% (-22 TWh).

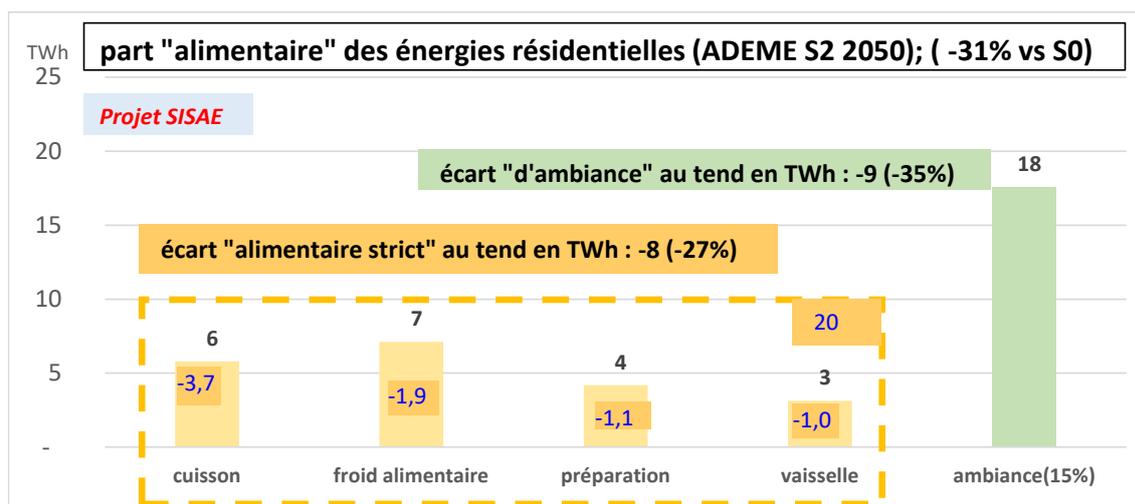


Figure 77 : Part alimentaire des consommations d'énergie en résidentiel dans le Scénario Coopérations territoriales

Dans ce scénario, on retrouve les mêmes effets que dans le précédent, tant sur les réductions de consommations d'énergie que d'émissions de CO₂, juste un peu moins forts.

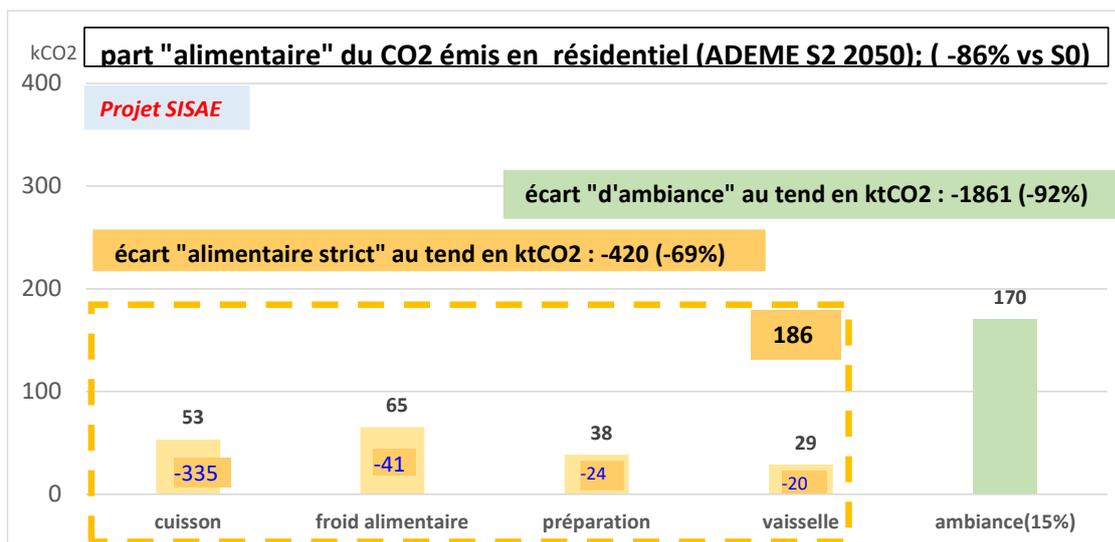


Figure 78 : Part alimentaire du CO2 émis en résidentiel dans le Scénario Coopérations territoriales

8.3.3.3. Scénario S3 Technologies Vertes

Un scénario comparable au tendanciel avec une meilleure efficacité énergétique et une croissance économique plus forte.

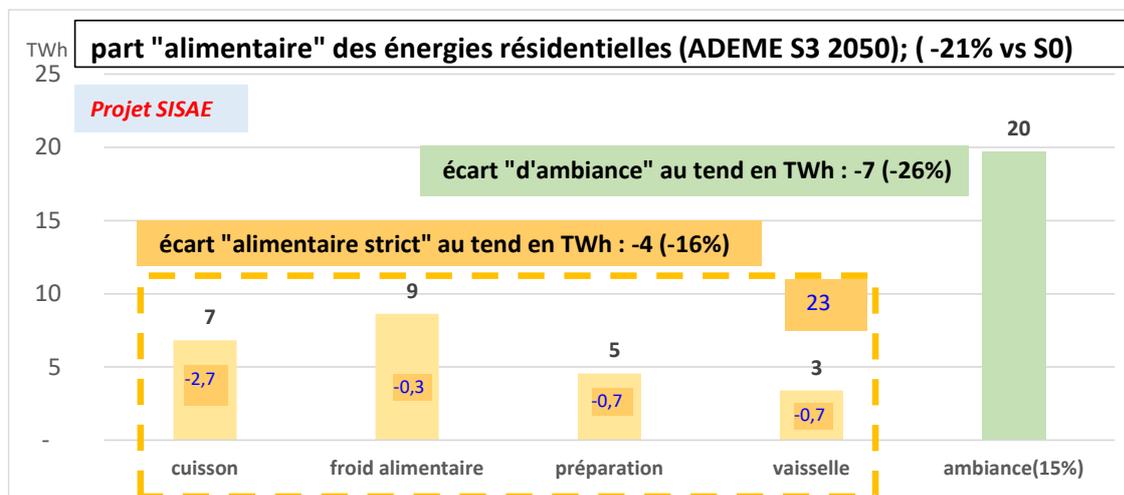


Figure 79 : Part alimentaire des consommations d'énergie en résidentiel dans le Scénario Technologies vertes

Dans ce scénario aussi, il n'y a plus de gaz dans les consommations strictement alimentaires comme dans les deux précédents, et la moindre réduction des consommations par rapport au S2 est compensée par une plus forte décarbonation des vecteurs énergétiques qui conduit à une réduction des émissions un tout petit peu plus importante.

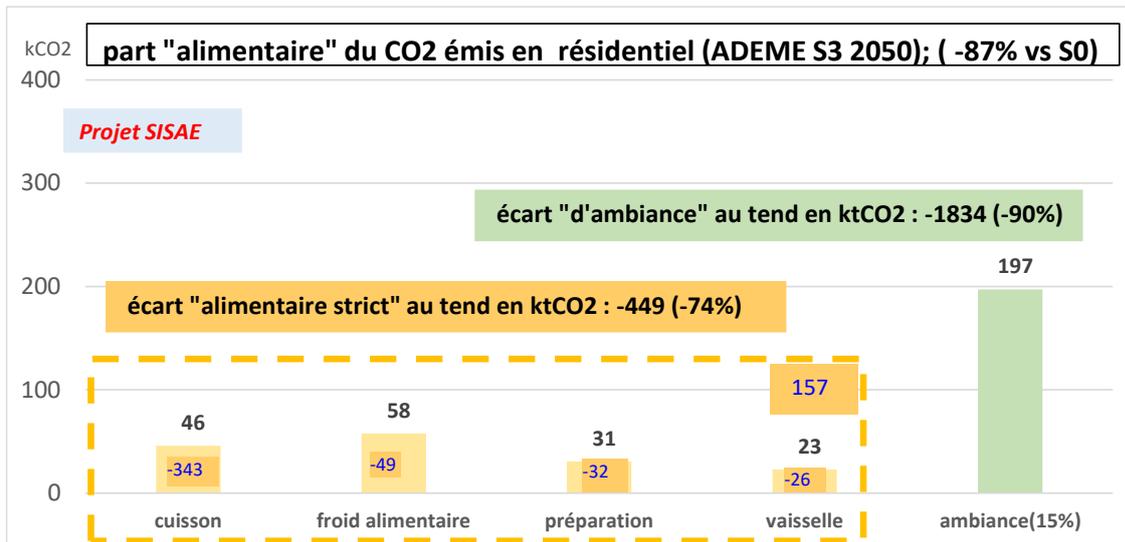


Figure 80 : Part alimentaire du CO2 émis en résidentiel dans le Scénario Technologies vertes

8.3.3.4. Scénario S4 Pari réparateur

Dans ce scénario il y a une forte croissance des plats déjà préparés (livrés ou achetés) qui ne nécessitent qu'un réchauffage. On peut même imaginer que dans certains logements l'activité "faire la cuisine" disparaît, en réponse aux attentes d'une partie de la population qui ne veut plus "mettre la main à la pâte" et sous la pression d'une offre de plats industriels ultradéveloppée ; la fonction "cuisine au domicile" se résume au réchauffage des plats "tout-faits". Il s'ensuit une baisse de l'usage des appareils de cuisson traditionnels et un usage accru de petits appareils spécialisés (micro-ondes, robots, plaques de chaud et froid intégrées dans les tables à manger, etc.). Dans le logement connecté, les équipements deviennent des aides cuisiniers : ils répondent à la commande vocale, proposent des recettes et conseils et gèrent la cuisson. Le développement des outils connectés entraîne même l'essor des repas virtuels, suite logique des apéros virtuels apparus lors de la pandémie "covid-19" de 2020. Les baisses de consommations liées à la réduction des cuissons et les progrès d'efficacité sont contrebalancés par les consommations en veille. Finalement, ces tendances parfois contradictoires conduisent à une relative stabilisation des consommations globales de la cuisine en résidentiel qui sont un peu plus faibles que dans le S3.

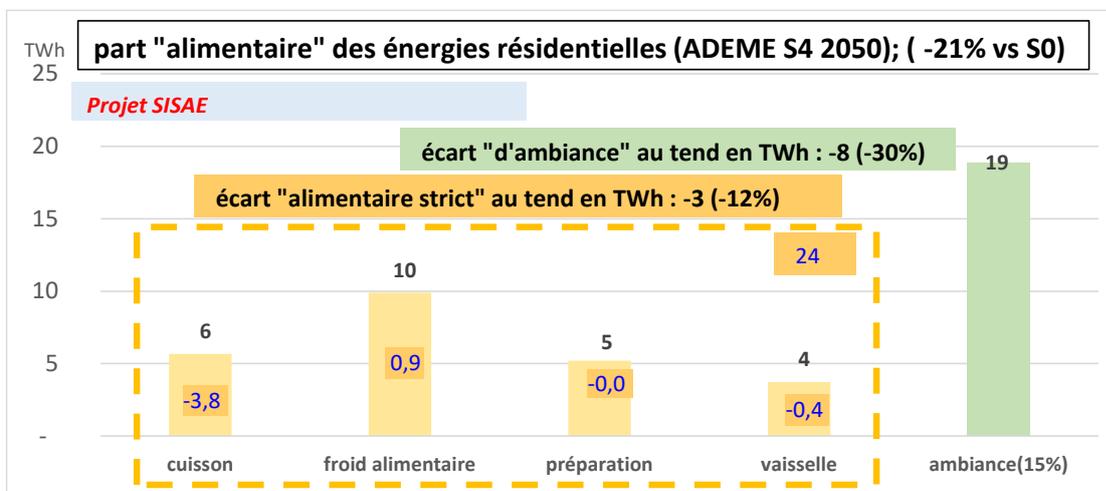


Figure 81 : Part alimentaire des consommations d'énergie en résidentiel dans le Scénario Pari réparateur

Dans ce scénario comme sur le tendanciel, la moindre décarbonation du gaz de réseau par rapport aux S1, S2 et S3 que ce soit pour (114,5 gCO₂/kWh vs 34,7, 33,6 et 28,9) et le fait qu'il reste encore presque 20% de cuisinières ou feux à gaz.

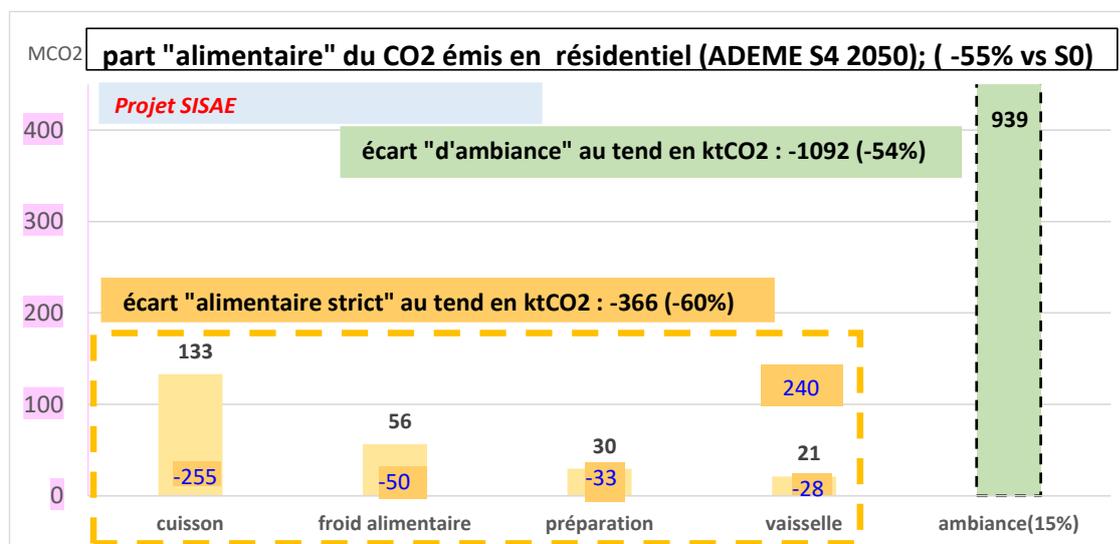


Figure 82 : Part alimentaire du CO₂ émis en résidentiel dans le Scénario Pari réparateur

8.4. Tertiaire

Dans cette partie sont traitées les consommations d'énergie pour la fonction alimentation dans les bâtiments comprenant toute la restauration hors domicile, tant sur les lieux de travail que dans les enseignes dédiées, ainsi que dans la grande distribution et les petits commerces alimentaires.

8.4.1. Élaboration de la part "alimentaire" de la consommation tertiaire

Un travail de reconstruction est nécessaire pour se limiter aux consommations énergétiques de la seule fonction alimentaire pour le tertiaire. Le point délicat de l'exercice est la très grande hétérogénéité de la répartition des consommations par type d'usage au sein de chaque sous-branche qui peut créer des écarts importants.

Les consommations énergétiques sont établies à partir des bilans fournis par le CEREN (Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie). Pour passer des bilans totaux aux quantités estimées comme induites par la fourniture de biens ou services alimentaires dans le tertiaire diverses options de reconstructions sont retenues.

D'une manière générale pour tous les établissements dont l'activité n'est pas spécifiquement tournée vers l'alimentation (fourniture de repas ou de produits alimentaires), ne sont retenues que les consommations énergétiques des usages "alimentaires", à savoir la cuisson et le froid alimentaire, qui seront appelés dans la suite les "consommations strictement alimentaires". Les consommations "d'ambiance" telles qu'envisagées dans la partie sur le résidentiel ne sont pas prises en compte.

Pour ceux dont l'activité est partiellement liée à la fourniture alimentaire, des coefficients, les plus pertinents disponibles, sont utilisés pour rajouter à l'énergie strictement alimentaire précédemment définie, une partie des consommations "d'ambiance" représentative de celle que pourrait représenter le volume induit par les fonctions à finalités alimentaires. Dans le cas du tertiaire, il s'agit des consommations d'environnement et de fonctionnement (chauffage, climatisation, ECS, électricité spécifique, ...). Le choix de ces coefficients retenu est arbitraire, comme pour le résidentiel, mais reflète la connaissance des spécificités de chaque secteur du référent technique tertiaire.

Pour ceux qui sont complètement dédiés à la production de services alimentaires, repas ou produits, nous retenons l'ensemble des consommations.

8.4.1.1. Évolutions méthodologiques par rapport à CECAM

Dans CECAM trois subtilités méthodologiques supplémentaires qui avaient été introduites n'ont pas été reconduites :

- ✓ Une première pour essayer de différencier dans chaque sous-branches les consommations alimentaires inhérentes au fonctionnement (repas des employés) de celles liées à la production de service alimentaires vendus. Le fait que cette différenciation ne servait pas pour la reconstruction des bilans par sous-branche ainsi que sa fragilité méthodologique ont conduit à y renoncer.
- ✓ Une deuxième retirait une partie des consommations censée représenter celles induites par des services exportés ; là aussi la fragilité méthodologique ainsi que la faiblesse des quantités en jeu ont incité à y renoncer.
- ✓ Et enfin, pour CECAM, avait été rajouté à la sous-branche "Bureaux privés hors assurance/banques/BE" tout un volume "industrie" qui venait d'en dehors du tertiaire et était une reconstitution des consommations supposées dans l'industrie (1,59 TWh). En soi, dans une logique "empreinte" de l'alimentation totale de la France, le principe pouvait se justifier mais, là encore, les incertitudes sur la robustesse de la méthodologie de reconstruction retenue ajoutées au risque de double comptage avec les consommations d'autres services de restauration ont conduit à ne pas la retenir dans SISAE.

Cependant, la consommation des entrepôts frigorifiques (1,5TWh) a été prise en compte pour SISAE ce qui n'avait pas été fait dans CECAM ; ont été utilisés à cet effet des bilans qui n'apparaissent pas dans les études récurrentes du CEREN de suivi du parc et des consommations.

Sur ces principes, l'ensemble des 27 secteurs tertiaire du CEREN ont été groupés en 4 sous-groupes (Tableau 22).

Nom	Description de l'activité des établissements
Bureaux	Etablissements qui n'ont pas à vocation à fournir des services alimentaires et ne reçoivent pas de publics, globalement les bureaux, pour lesquels ne sont retenues que les consommations strictement alimentaires.
Accueils	Etablissements qui n'ont pas à vocation à fournir des services alimentaires mais reçoivent du public et peuvent amenés à les nourrir, pour lesquels ne sont retenues que les consommations strictement alimentaires.
Commerces	Etablissements de commerce qui fournissent au moins en partie des produits alimentaires, pour lesquels une partie des consommations d'ambiance sont ajoutées.
Débits d'alimentation	Etablissements qui fournissent des comestibles (sur place ou à emporter, pour toutes les consommations sont prises en compte.

Tableau 22 : Description de l'activité des établissements

8.4.1.2. Révision de la base CEREN

En 2018, une révision des données CEREN a été effectuée qui a conduit à une baisse globale pour le tertiaire de -2,3 TWh qui a porté essentiellement sur des transferts entre consommations pour cuisson et usages spécifiques. Les branches liées à l'alimentation ont été particulièrement touchées avec -2 TWh pour la seule sous branche "Cafés, Cantines, Traiteurs" ou un "échange global" d'un TWh entre les "restaurants" et les "hôtels avec restaurants". Cette révision semble ainsi avoir touché principalement des branches intensives en cuisson (hôtels-restaurants notamment) et s'être traduite par une réaffectation d'une partie des usages cuisson vers une catégorie d'usages peu différenciés (usages spécifiques). Le tout conduit à une diminution des "consommations alimentaires" de l'ordre de 2 TWh par rapport à CECAM liée uniquement à la révision CEREN.

▪ Bureaux privés hors assurance/banques/BE et commerce de détail non-alimentaire

Ces sous-branches "bureaux privés hors assurance/banques/BE" et "commerce de détail non-alimentaire" dans le groupe A sont particulières car il s'y trouve, des entités comme les centrales d'achat alimentaire ou les grands magasins qui ont une activité liée à l'alimentation, pour lesquelles des consommations d'ambiance sont ajoutées. Dans CECAM la répartition avait été faite sur la base du poids relatif du Chiffre d'Affaire (CA) de ces entités par rapport à celui de l'ensemble du sous-secteur concerné (5,6% pour les centrales d'achat alimentaire et 0,3% pour les grands magasins). Pour SISAE nous avons considéré que compte-tenu des spécificités du travail dans le sous-secteur "bureaux privés hors assurance/banques/BE", utiliser les emplois, en équivalent "temps-plein (ETP)

(0.5%) était plus adapté. Cette évolution conduit à une **réévaluation, à la baisse de 1,8 TWh, de la part de consommations énergétiques attribuées à la fonction alimentaire.**

- **"Cafés, Cantines, Traiteurs"**

Pour cette seule sous branche "Cafés, Cantines, Traiteurs" la révision CEREN se traduit par une réduction de - 2 TWh avec des réductions des usages alimentaires et du chauffage et une augmentation des usages d'électricité spécifique ; comme signalé précédemment c'est une conséquence de la révision CEREN.

- **Hôtels avec restaurants**

Sur cette sous-branche "Hôtels avec restaurants", la révision CEREN se traduit par une diminution d'1 TWh essentiellement sur la cuisson. Par ailleurs, nous avons fait évoluer la méthodologie retenue d'aménagement des données statistiques issue du CEREN pour pouvoir allouer à la fonction alimentaire une partie des consommations d'environnement (chauffage, climatisation, ECS, électricité spécifique, ...). Cette fraction à ajouter, a été évaluée, à dire d'expert, à 25% en moyenne (part moyenne supposée de la surface dédiée à l'alimentation : espace de restauration, bar, cuisines, lieux de stockages, ...). Ces deux effets se compensent en grande partie.

- **Artisanat**

Sur cette branche, qui regroupe des activités aussi différentes que les blanchisseries ou les boulangeries, par rapport à CECAM une autre évolution méthodologique importante a été faite. En effet, après recoupement de 3 études CEREN, il est apparu des incohérences au niveau des consommations "Boulangerie/Boucherie/Charcuterie », qui avaient pu être isolées et être retenues dans leur intégralité, alors que seules les consommations strictement alimentaires, cuisson et froid commercial, avaient été gardées pour le reste de l'artisanat (coiffeurs, etc.). Le choix est fait pour SISAE de considérer globalement l'artisanat et d'ajouter aux consommations strictement alimentaire une part de consommation "d'ambiance" au prorata du % pourcentage d'établissement à vocation alimentaire dans l'artisanat (9%). L'évolution se traduit par une baisse d'environ 2 TWh.

- **Commerce principalement alimentaire**

Dans cette branche, la part des consommations d'environnement non attribuée à la fonction alimentation a été faite au prorata du CA non alimentaire des supermarchés et hypermarchés. Cette part a été réévaluée pour SISAE à 82% d'alimentaire sur la base d'une étude Nielsen ; pour CECAM elle avait été fixée à 68% sur la base de données de l'INSEE. Cette réévaluation du coefficient augmente d'environ 1,3 TWh le bilan "consommation alimentaire" SISAE par rapport à CECAM ; ce choix sera consolidé aussi car le secteur semble être en forte évolution avec des tendances divergentes entre hypermarchés et supermarchés ce qui complique l'analyse moyennée.

- **Commerce de gros**

Cette fois aux consommations strictement alimentaires sont ajoutées les autres au prorata du poids dans les effectifs en ETP des seules entreprises de commerce de gros de l'alimentaire (source : idem étude CECAM 2018).

- **Entrepôts frigorifiques**

L'introduction de ces entrepôts frigorifiques qui ne l'étaient pas dans CECAM rajoutent dans le bilan SISAE 1,5 TWh.

8.4.1.3. Bilan global

Pour l'exercice SISAE le total de consommations liées à la fonction alimentation est évalué pour l'année 2012 à 44,1 TWh soit 1,7 TWh de moins que ce qui avait été reconstruit pour CECAM.

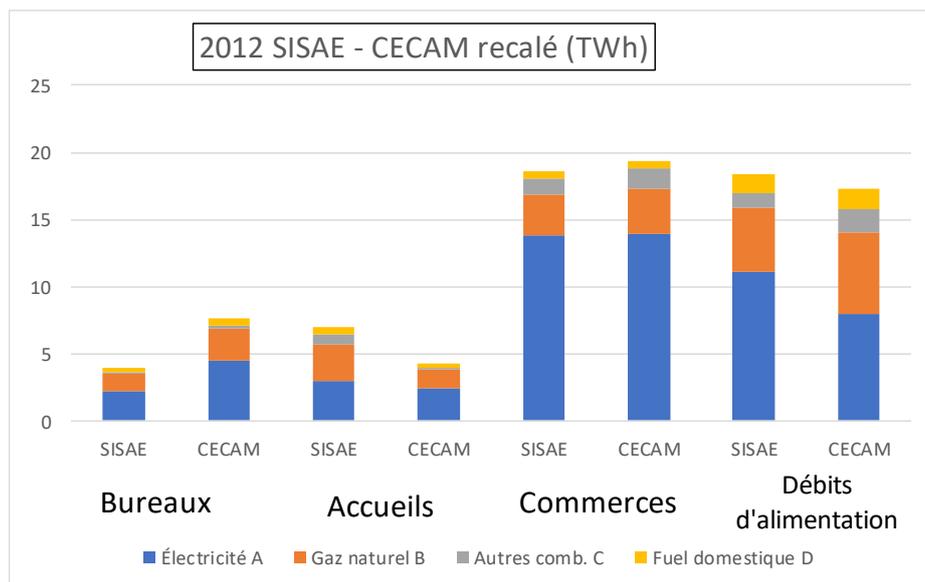


Figure 83 : Evolution des consommations dites alimentaires du secteur tertiaire entre CECAM et SISAE

Principaux postes d'écarts entre SISAE et CECAM sur les branches tertiaires	Écarts CEREN	Écarts pour l'usage alimentaire reconstruit (SISAE - CECAM)
Bureaux privés hors banque, assur, BE	-0,2 TWh	-2,1 TWh
Cafés, cantines, traiteurs	-2,0 TWh	-1,8 TWh
Hôtels avec restaurants	-1,1 TWh	0,1 TWh
Restaurants	1,3 TWh	1,3 TWh
Boulang, blanchiss, coiff, autre process	-0,0 TWh	-2,0 TWh
Commerce de gros	-0,0 TWh	-0,0 TWh
Commerce de détail non alimentaire	-0,0 TWh	0,0 TWh
Grand commerce alimentaire	-0,0 TWh	1,3 TWh
Entrepôts	-0,0 TWh	1,5 TWh
Total	-2,3 TWh	-1,7 TWh

Tableau 23 : Principaux postes d'écarts entre SISAE et CECAM sur les branches tertiaires

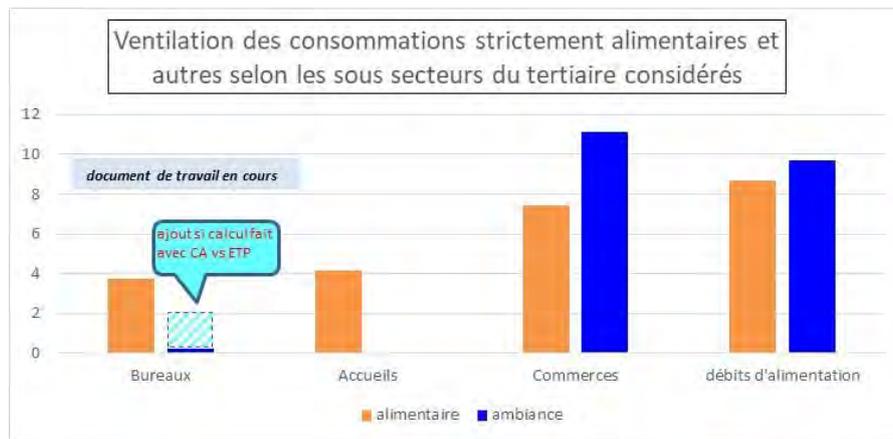


Figure 84 : Ventilation des consommations strictement alimentaires et autres selon les sous-secteurs du tertiaire considérés

Comme pour le résidentiel ce graphe illustrera les poids relatifs des consommations strictement alimentaires et celles ajoutés car liées à l'activité. Il amène à s'interroger sur la nécessité, ou pas, de tenir compte dans notre exercice de ces consommations "d'ambiance" dont une partie importante est moins liée à la nutrition proprement dite qu'à toute la dimension festive/ludique de l'alimentation. Dimension certes réelle mais donc l'identification précise et rigoureuse est pour le moins délicate. Même des choix fait pour le groupe "Bureaux" et "accueil" ont des impacts non négligeables.

Pour les lieux où s'effectuent les ventes de produits alimentaires ou de restauration, il peut sembler plus légitime d'intégrer les consommations "d'ambiance" mais la question pourrait se poser de tous les autres lieux où l'on se restaure : que serait une séance de cinéma sans pop-corn ?

Sans vouloir trancher ici de façon définitive sur cette question, il s'agit de bien montrer que pour la suite une réflexion partagée sera nécessaire pour bien s'accorder sur le périmètre d'analyse et s'y tenir.

8.1.1. Évolutions des consommations alimentaires dans les scénarios

Pour les projections aussi les modalités de calcul varient selon les sous-groupes (accueil, bureau, commerce et restauration).

Les caractéristiques potentiellement génératrices de consommations énergétiques, l'activité traduite en part du chiffre d'affaire ou de la valeur ajoutée attribuable à l'alimentation avec leur impact sur les surfaces dédiées à l'alimentation ont donc été interprétées et traduites de façon agrégée par grands sous-secteurs (CaHoRe, Bureaux, Commerces, etc.).

Pour la modélisation compte-tenu de la finesse très relative des modèles utilisés les différences d'activité des secteurs tertiaires induites par les différences de pratiques alimentaires entre scénarios ne se démarquent pas des différences globales. Les différences sur les lieux d'achats de produits alimentaires ou de restauration, voire de type d'alimentation n'induisent pas d'écarts de consommations suffisamment importants pour être visible à la maille des outils. Les évolutions observées sont pour l'essentiel en cohérence avec celles impulsées par les scénarios encadrants et l'effet dominant est celui de l'amélioration générique d'efficacité énergétique, plus marquée sur le confort thermique et de traduit par une plus forte baisse des énergies utilisées pour "l'ambiance".

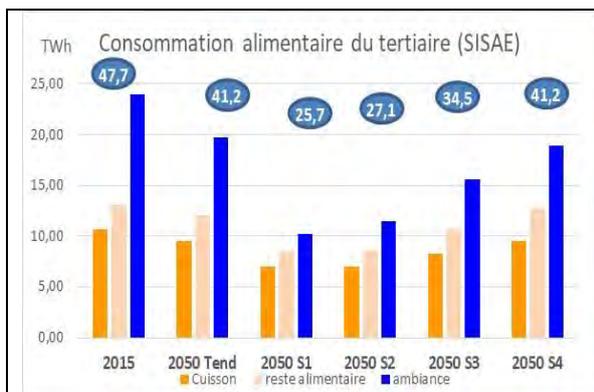


Figure 85 : Consommation d'énergie du tertiaire pour l'alimentation par usage

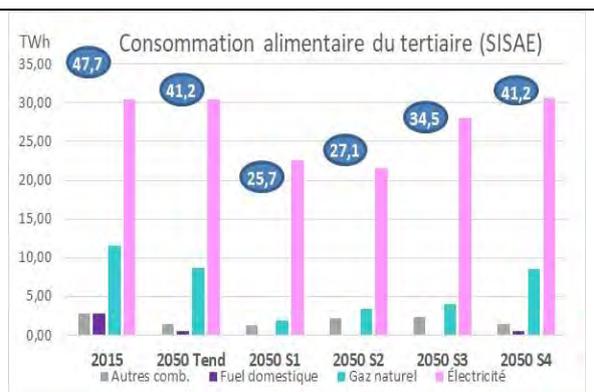


Figure 86 : Consommation d'énergie du tertiaire pour l'alimentation par énergie

8.4.1.4. Scénario Tendancier

Dans ce scénario, globalement la restauration, ou la préparation de plats, à l'extérieur augmente tant parce que la tendance actuelle se prolonge que parce la population vieillit.

Mais parallèlement, l'intensité énergétique de cette activité tertiaire diminue tant parce que l'efficacité s'améliore que parce la place de la cuisine d'assemblage et industrielle augmente ainsi que celle des produits prêt-à-consommer que ce soit en restauration commerciale ou chez les artisans de bouche qu'au niveau des achats des ménages. Les livraisons à domicile de repas augmentent aussi.

Globalement la part alimentaire de la consommation énergétique dans le tertiaire baisse de 14% par rapport à l'année de départ, 2015, mais reste quasi constante pour l'électricité.

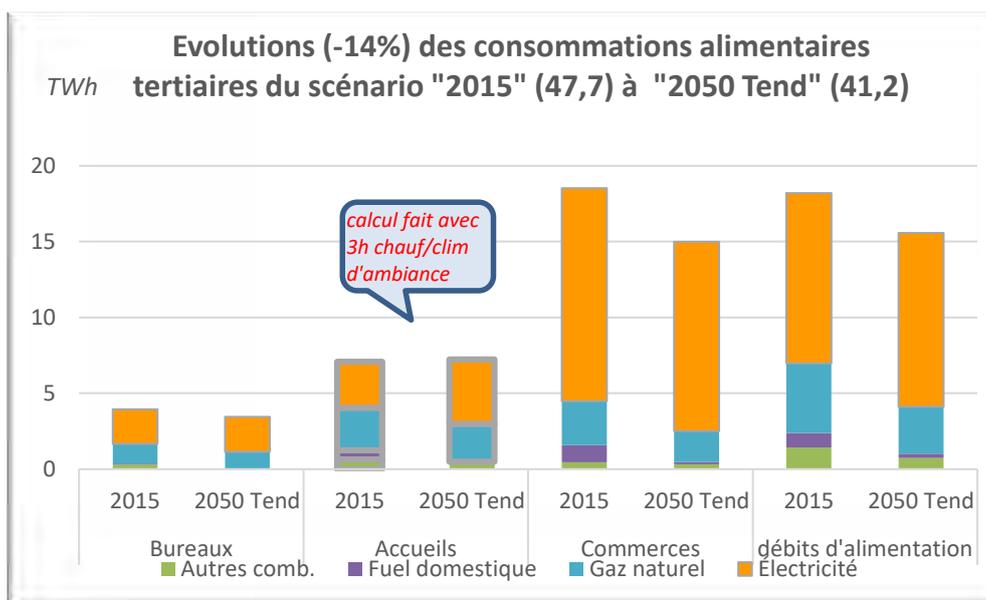


Figure 87 : Evolutions des consommations d'énergie tertiaires alimentaires de 2015 à 2050 (Scénario tendancier)

Au niveau des émissions cette réduction est accentuée par la réduction du contenu carbone des vecteurs énergétiques qui passent de 205,2 à 166,4 gCO₂/kWh pour le gaz de réseau et est presque divisé par 4 pour l'électricité (43,4 à 11,9 gCO₂/kWh).

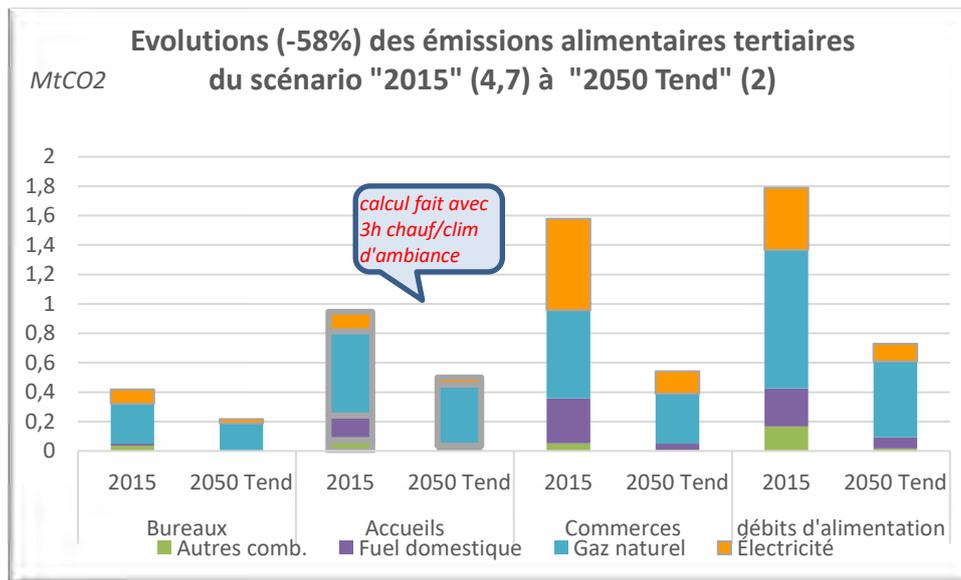


Figure 88 évolutions des émissions tertiaires alimentaires de 2015 à 2050
(scénario tendanciel)

8.4.1.5. Scénario Génération frugale

Par rapport au tendanciel, dans ce scénario les repas sont beaucoup plus souvent partagés en communauté, soit dans des lieux publics, soit chez des proches (amis, famille, voisins). La restauration commerciale est remplacée par des formules de cuisines collectives associatives ou de quartier.

Il y a beaucoup moins de repas livrés car dans ce scénario le repas est au-delà de sa fonction alimentaire un moment de partage en groupe valorisé et même pour les personnes âgées tout est fait pour leur permettre de ne pas devoir manger seules.

Les restaurants "sociaux" (cantines, collectifs ou communautaires, maisons de quartier ou voisinage), se multiplient, la restauration collective jouant un rôle de sociabilité, par exemple pour les personnes âgées seules dans la journée.

Le développement des multifonctionnalités dans le tertiaire favorise la densité d'usage par surface et permet de limiter, voire éviter, l'augmentation des surfaces dédiées. Les bâtiments collectifs (écoles, cantines, ...) sont ouverts à tous les publics et aussi les soirs ou jours non travaillés ce qui crée un réseau de restauration collective très décentralisé qui renforce les liens sociaux et de solidarité de quartier.

La fréquentation des restaurants ("service à la table") reste globalement stable car même s'il y a moins de tourisme manger à l'extérieur avec des amis reste un plaisir recherché.

Les restaurants s'engagent dans la transition écologique et étendent la palette de leur offre (bistro rural multiservices, cantines pour personnes âgées...) sur tout le territoire. En revanche, les cartes s'allègent, souvent limitée à un plat du jour, et plus majoritairement à base de produits locaux. Souvent les restaurateurs sont en partenariat avec les collectifs paysans locaux, et peuvent même parfois être, partiellement ou hors repas, des lieux de vente de produits agricoles ou d'élevage.

Même si l'aspiration forte au "fait-maison" dégrade l'efficacité énergétique fonctionnelle par rapport au tendanciel cette tendance est largement compensée par les pratiques de "cuisine douce" (cuisson lente à basse température ou dans du citron ou du sel, produits crus, etc.) ainsi que par les renoncements sur le confort thermique et la surface immobilière ; la promiscuité devient presque un atout car la convivialité fait partie du service attendu.

La restauration méridienne à l'extérieur, aujourd'hui en croissance, baisse par rapport au tendanciel, car les surfaces de bureaux baissent et que les personnes préfèrent plus souvent rentrer manger chez eux.

Au niveau du commerce, la part de cuisine industrielle et de produits transformés diminue beaucoup et les commerces de proximité regagne du terrain par rapport aux grandes surfaces éloignées. Des magasins gérés en coopératives et des plateformes de vente directe se développent. La variété d'offre diminue, mais elle est

compensée par une plus grande confiance des clients qui ont le sentiment de mieux savoir ce qu'ils mangent ; les circuits courts de proximité sont valorisés et les jardins partagés se développent.

Les métiers de bouche sont en croissance entraînés tant par le développement des métiers de proximité, qui crée de la demande, que par l'aspiration à plus de convivialité, qui favorise l'essor de l'artisanat ; ce n'est plus le service de luxe c'est en train de devenir aujourd'hui.

Pour ceux, âgés ou autre, qui ne peuvent pas facilement se déplacer ou transporter des charges lourdes ou encombrantes, des services de livraisons douces se développent.

Globalement dans ce scénario, la part alimentaire de la consommation énergétique dans le tertiaire est réduite de plus d'un tiers (38%) par rapport au tendanciel et de 55% par rapport à l'année de départ, 2015. L'essentiel de la baisse vient d'une diminution des volumes et variétés des produits alimentaires.



Figure 89 : Consommations d'énergie des secteurs tertiaires alimentaires en 2050 (Scénario Génération frugale)

Au niveau des émissions la réduction des émissions est très forte essentiellement grâce à la diminution de près de 80% du contenu carbone du gaz de réseau qui passe de 166,4 à 34,7 gCO₂/kWh.

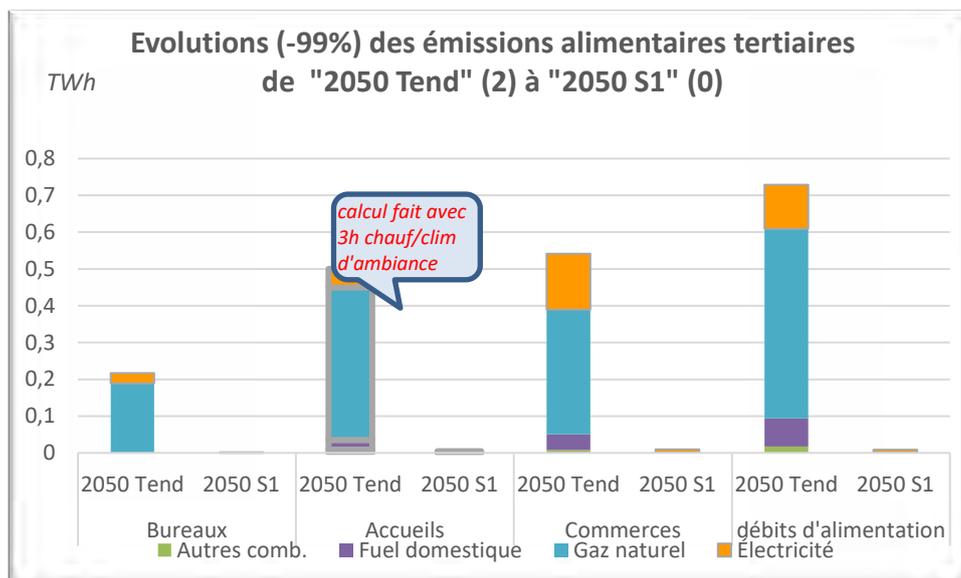


Figure 90 : Emissions des secteurs tertiaires alimentaires en 2050 (Scénario Génération frugale)

8.4.1.6. Scénario Coopérations territoriales

Le Scénario Coopérations territoriales est presque identique au scénario Génération frugale avec une meilleure amélioration de l'efficacité énergétique des équipements et moins de restrictions.

Dans ce scénario, la baisse de la part alimentaire de la consommation énergétique dans le tertiaire par rapport au tendanciel (-33%) est un peu moins forte que dans le scénario Génération frugale et reste comparable (-43 %) par rapport à l'année de départ, 2015. L'essentiel de la baisse vient d'une diminution des volumes et variétés des produits alimentaires.

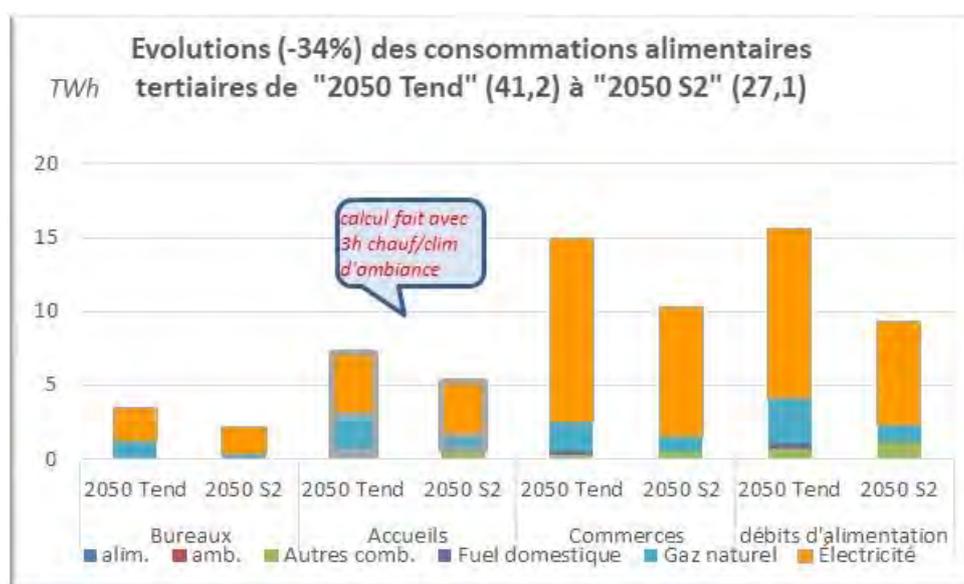


Figure 91 : Consommations d'énergie des secteurs tertiaires alimentaires en 2050 (Scénario Coopérations territoriales)

Au niveau des émissions la réduction des émissions est restée forte même si la réduction d'énergie est moins importante que sur le S1 car le contenu carbone du gaz de réseau est un peu plus bas : 33,6 au lieu des 34,7 gCo2/kWh du S1.

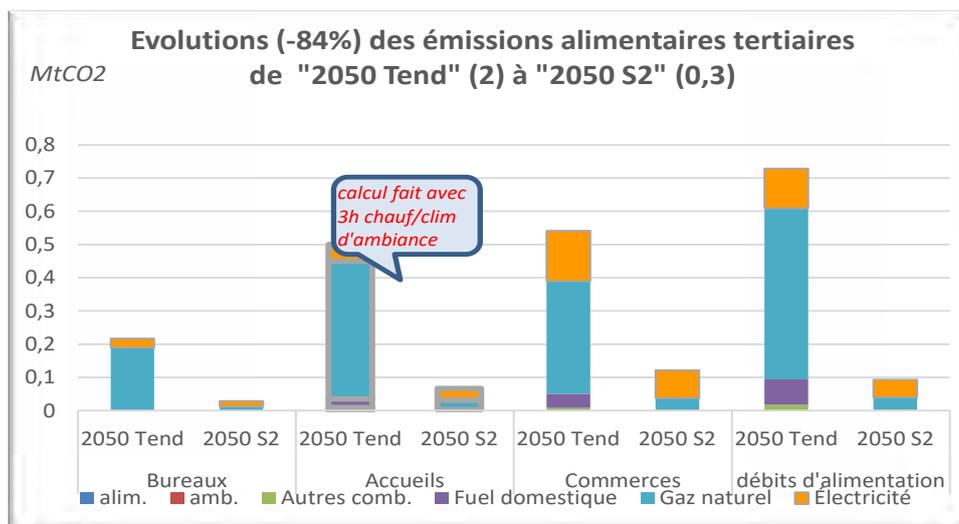


Figure 92 : Emissions des secteurs tertiaires alimentaires en 2050 (Scénario Coopérations territoriales)

8.4.1.7. Scénario Technologies vertes

Ce scénario est très proche du tendancier, mais avec une efficacité énergétique plus forte.

La restauration hors domicile, dont celle préparée à l'extérieur puis livrée, se développe plus encore que dans le tendancier et fonctionne 24h/24h. Le service de livraison à domicile devient une partie intégrée de l'offre de service des restaurants en plus du service à table. Pour certains ça devient l'activité principale, voire la seule, ce qui leur permet de réduire des coûts d'immobilier et de personnels. Se créent des cuisines partagées qui regroupent les cartes de restaurants populaires, pour démultiplier leur capacité de livraison avec une grande variété de menus permis par la "cuisine d'assemblage" : on peut commander des nems avec une pizza et du riz au lait en dessert ... si on le souhaite. Dans l'ensemble, même s'il reste des grands cuisiniers qui font des plats à emporter ou livrer, plus que le goût, c'est l'hygiène et l'aspect, des produits ainsi que la rapidité de service qui seront les atouts majeurs de cette activité dont la production est de plus en plus industrialisée et donc plus efficace par service vendu.

Se développent aussi en parallèle des restaurants de rue de type "food trucks" pour ceux qui ne veulent plus avoir à faire la cuisine chez eux ou n'en ont pas la possibilité.

Les locaux de restauration méridienne (cantines des bureaux, ...) sont souvent utilisés les soirs ou en fin de semaine à la fois parce les horaires de travail sont de plus en plus élastiques mais aussi parce qu'il y a un enjeu à utiliser ces espaces et les personnes préfèrent y venir que rester seules chez elles. L'ambiance y est alors modifiée et est plus décontractée dans l'esprit du "Friday Wear" américain.

Sur le "haut de gamme", le service "chef à domicile" apparaît en plus des restaurants de prestige dont les coûts immobiliers et d'exploitation deviennent parfois trop lourds.

Pour des produits alimentaires les enseignes de grande distribution, y compris les nouvelles plateformes comme Amazon, dominent le marché que ce soit avec des grandes surfaces, des petits magasins en proximité ou par des circuits de livraisons.

En ce qui concerne les métiers de bouche ils sont en baisse, plus que dans tendancier, car la tendance à l'industrialisation de l'alimentation qui traduit la moindre importance accordée à sa valeur (culturelle, hédonique

et sociale) s'accroît. Ce qu'il reste d'artisanat de bouche devient complètement un "produit de luxe" réservé à quelques privilégiés.

Dans ce scénario, l'écart au tendanciel se réduit encore (-16%) et la baisse par rapport à l'année de départ, 2015 et d'environ un quart (-28 %).

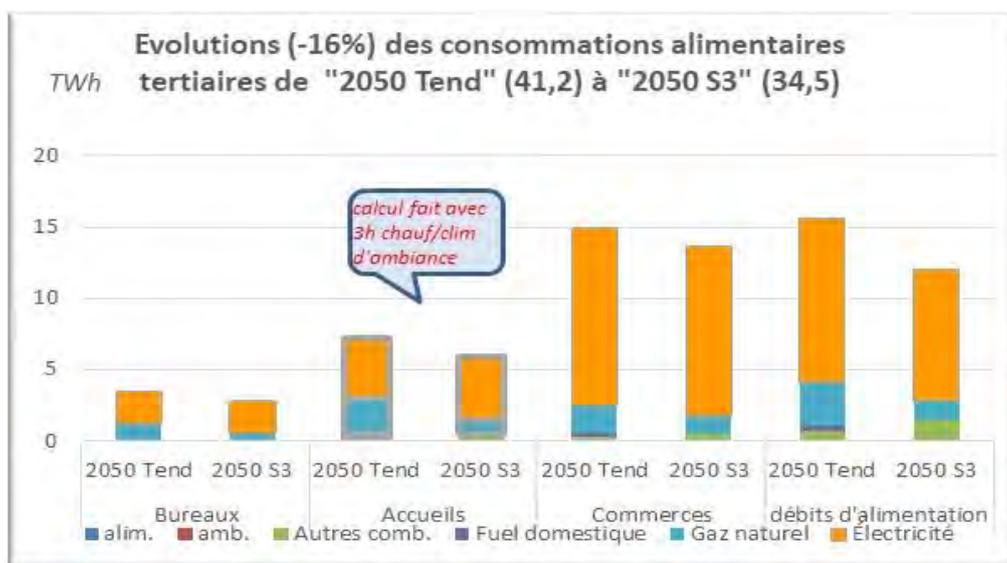


Figure 93 : Consommations d'énergie des secteurs tertiaires alimentaires en 2050 (Scénario Technologies vertes)

Sur ce scénario un peu moins sobre en énergie que le S2, la réduction au niveau des émissions est plus forte grâce à la réduction du contenu carbone des vecteurs énergétiques qui passent de 33,6 à 28,9 gCO₂/kWh pour le gaz de réseau et de 9,2 à 6,7 gCO₂/kWh pour l'électricité.

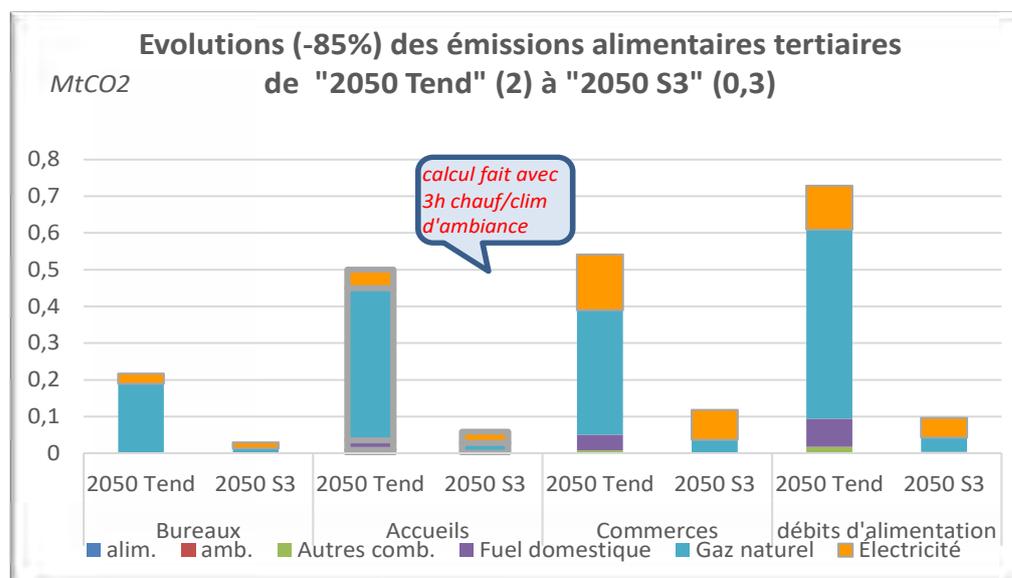


Figure 94 : Emissions des secteurs tertiaires alimentaires en 2050 (Scénario Technologies vertes)

8.4.1.8. Scénario Pari réparateur

C'est un scénario très comparable au Scénario Technologies vertes avec une aspiration à "consommer" plus forte avec plus de produits préparés industriellement hors domicile.

Cette surconsommation par rapport au tendanciel, efface tous les progrès d'efficacité énergie faits dans le Scénario Pari réparateur, puisqu'on arrive au même niveau de consommation énergétique.

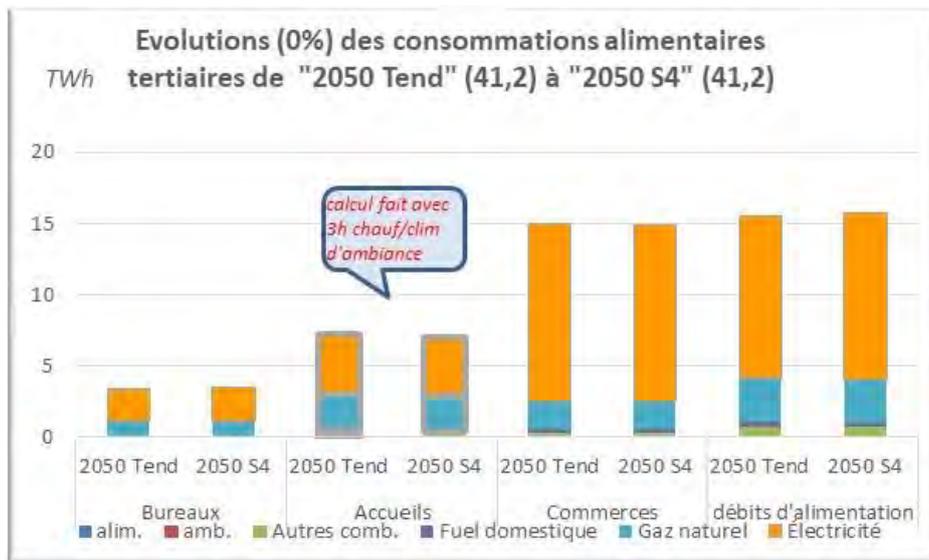


Figure 95 : Consommations d'énergie des secteurs tertiaires alimentaires 2050 (Scénario Pari réparateur)

Ce scénario S4 ne réduit les émissions dans le tertiaire liées à l'alimentation que d'1/3 par rapport au tendanciel car il garde encore une part importante de gaz de réseau qui reste moins décarboné que ceux des S1, S2 et S3 (114,5 gCO2/kWh).

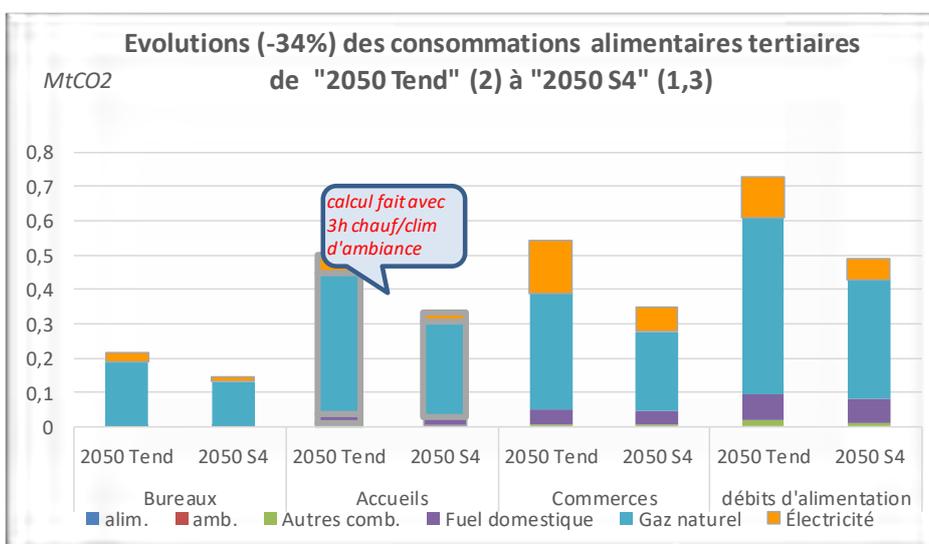


Figure 96 : Emissions des secteurs tertiaires alimentaires en 2050 (Scénario Pari réparateur)

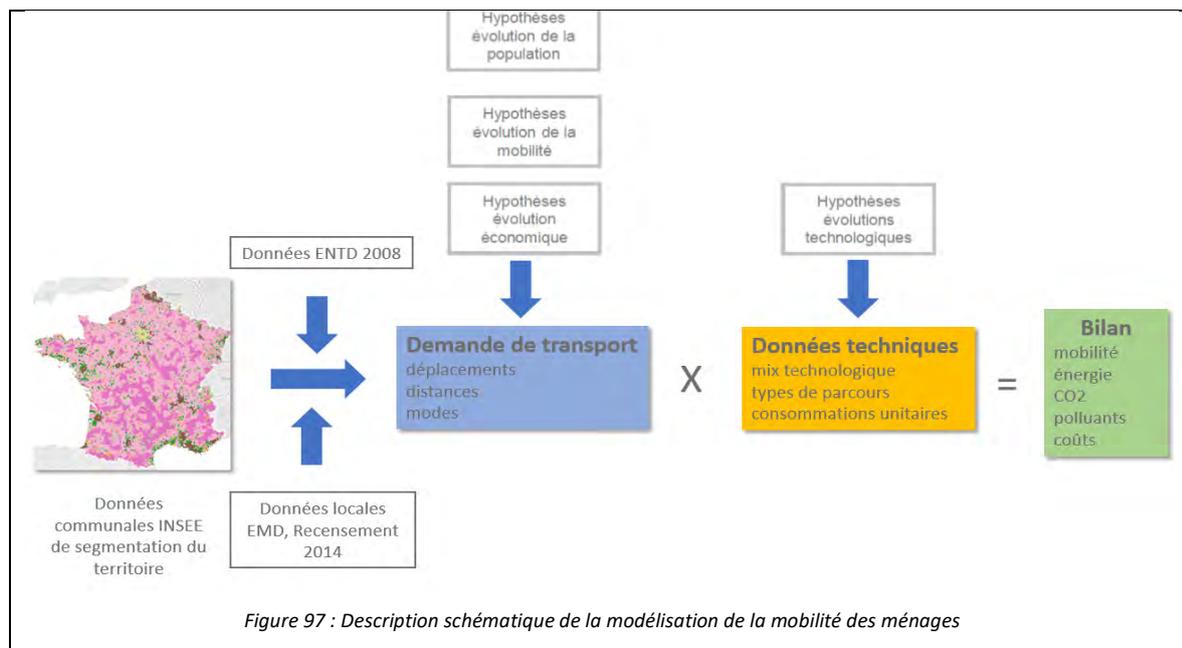
8.5. Mobilité des ménages

8.5.1. Outil de modélisation utilisé pour représenter la mobilité des ménages liée à l'alimentation

Dans cette partie nous traitons la mobilité des ménages associée à la fonction alimentation représentée par les déplacements effectués pour les motifs d'achats alimentaires ou de restauration hors domicile au café ou restaurant, voire chez des amis ou dans la famille.

Pour cela nous utilisons l'outil **PES-Mobilité**, qui croise les bases INSEE de l'Enquête nationale transports et déplacements (ENTD) 2008²² et du recensement 2014 avec leurs données communales de description du territoire. Il est aussi régulièrement mis à jour et consolidé avec des enquêtes "déplacement des ménages (EMD)" plus locales. Nous disposons ainsi d'une base de déplacement, sur la France métropolitaine, différenciée par type de véhicule ou motif et par gamme de distance, pour différentes catégories de la population française (niveau de vie, localisation, CSP, structure familiale etc.). Cet outil décrit ainsi très finement, grâce à sa richesse statistique, les différents pratiques de mobilité sur le territoire. Couplé avec l'expertise interne sur les parcs de véhicules particuliers possédés par les ménages (également différenciés selon la gamme du véhicule, la carburation et le millésime) ainsi que le type de voiries empruntées, l'outil permet de reconstituer les consommations d'énergie et émission de CO2 associées à chacun des besoins de mobilité pour décrire les évolutions possibles des mobilités des ménages en tenant compte de l'hétérogénéité de leurs pratiques.

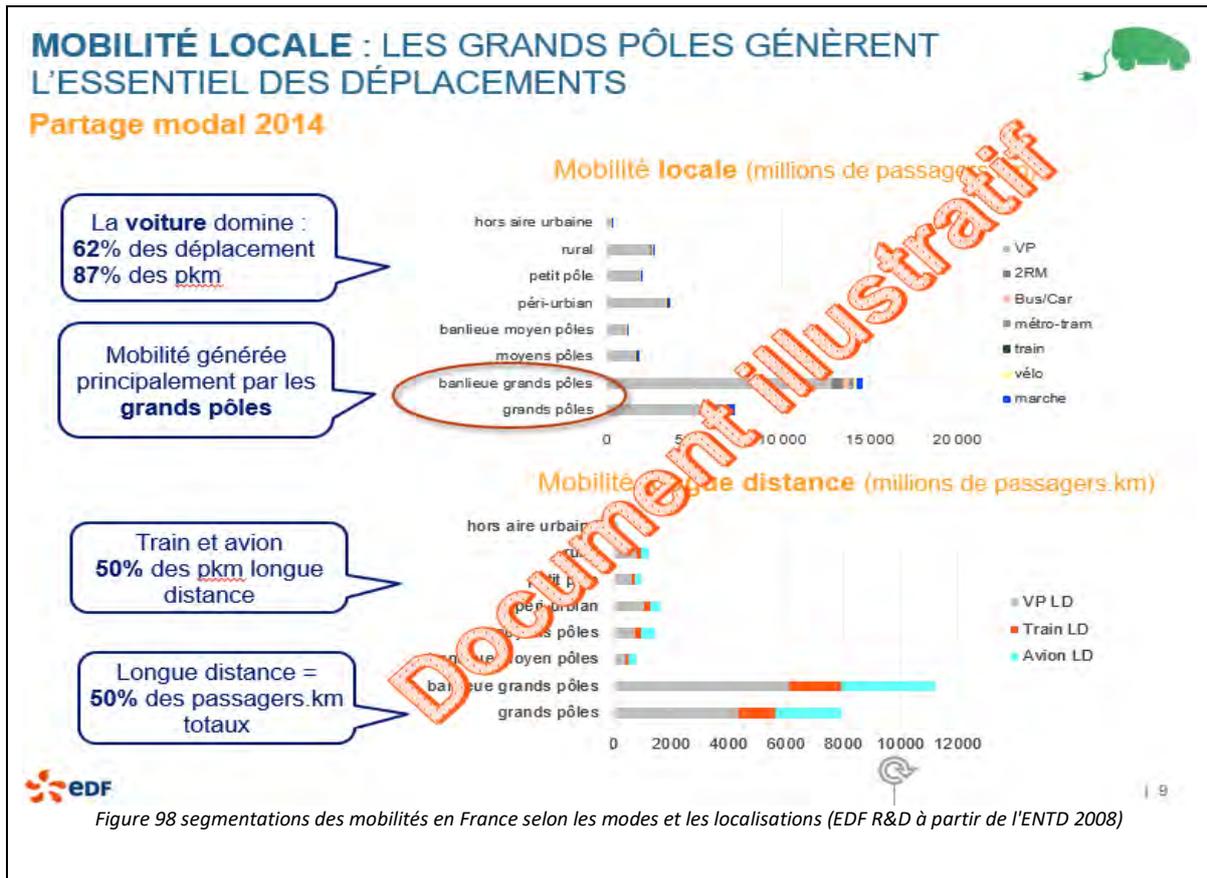
Du point de vue du type de modèle, il s'agit d'une modélisation "bottom-up" ingénieur ou modèle « comptable » dans lequel la consommation d'énergie est obtenue à partir du produit $\text{Activité} \times \text{Intensité}$: le terme activité étant lié à la demande de transport et celui d'intensité aux caractéristiques techniques des véhicules. Les hypothèses de prospective concernent à la fois les aspects liés à la demande : démographie, motifs, modes et aux aspects techniques : vecteurs énergétiques, rendements, facteurs d'émission.



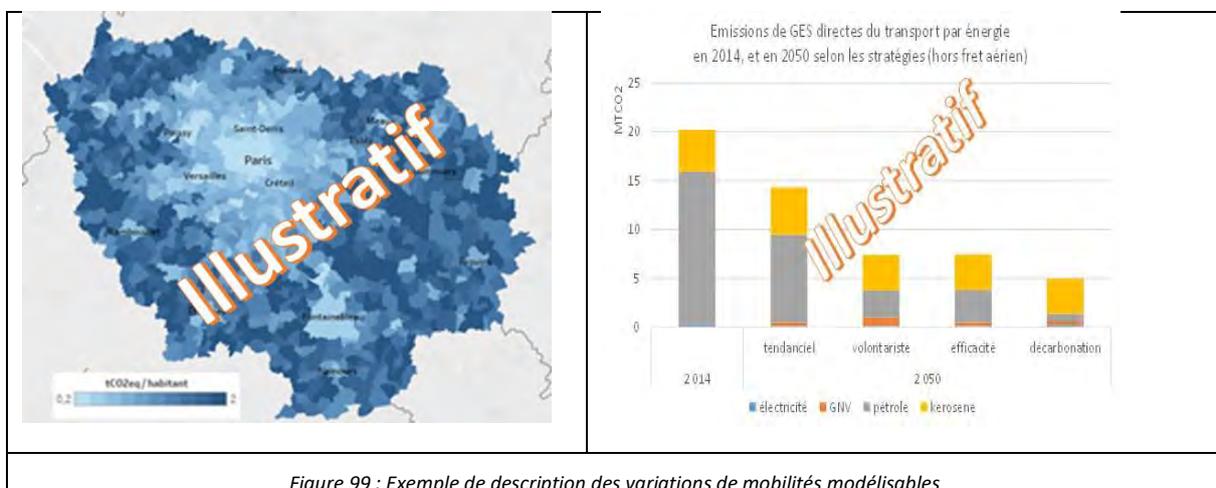
En travaillant, sur des agrégats de population suffisamment grands pour rester statistiquement pertinents, qui ont des pratiques différentes, l'outil peut être utilisé pour l'élaboration de trajectoire de mobilité de scénarios en faisant évoluer la taille et les pratiques de chaque groupe de population en fonction des hypothèses de contexte des scénarios envisagés. Ce découpage fin est très intéressant pour la modélisation car les pratiques de mobilité étant très hétérogènes selon les contextes (lieux, niveau de vie, génération, choix modal, etc.)

²² Enquête nationale transports et déplacements (ENTD) 2008. Service des données et études statistiques (SDES)

l'application d'hypothèses d'évolutions moyennes uniformément sur le territoire peut conduire à des résultats très discutables, et souvent discutés lors des mises en application.



La contrepartie de cette finesse est que la possibilité d'en bénéficier dépend de l'existence dans les narratifs des scénarios d'hypothèses de contexte suffisamment détaillées pour pouvoir renseigner l'outil.



Pour la suite, la scénarisation reposera donc beaucoup sur la capacité à différencier selon les localisations, les motifs et les populations les hypothèses de cadrages sur la mobilité, globales pour la France.

8.5.2. Scénarisation de la mobilité des ménages liée à l'alimentation pour SISAE

L'outil PES-Mobilité se base sur des enquêtes ménages-déplacements au niveau local ou national (ENTD) pour décrire les évolutions possibles des mobilités des ménages en tenant compte de l'hétérogénéité de leurs pratiques. Dans le cadre de ce projet il permet effectivement de travailler sur l'ensemble des déplacements de l'Enquête nationale transports et déplacements (ENTD) 2008²³, différenciables en fonction des variables de l'enquête. Pour l'exercice SISAE, les déplacements utilisés sont différenciés par motifs (1) distances (2), mode, type d'espace d'habitation (découpage en fonction la taille d'unité urbaine, de la place dans l'unité urbaine et de la place dans l'aire urbaine (détails en annexes) et de l'âge.

Chaque déplacement est de plus caractérisé par les motorisations et énergies utilisées ainsi que les taux de remplissage pour la voiture.

Pour l'exercice SISAE, nous avons limité le périmètre de travail à la mobilité régulière locale (déplacements de moins de 100 km) qui est la plus pertinente pour étudier les motifs liés à l'alimentation dans la mobilité quotidienne en rappelant que ces trajets, majoritairement réguliers, représentent en 2008, dans l'ENTD, 60% de l'ensemble des passager-kilomètres (p.km) sur le territoire métropolitain français, hors aviation internationale.

D'autres caractéristiques présentes dans l'enquête, comme l'emploi ou le revenu, auraient pu être utilisées dans la scénarisation mais le taux de renseignement ainsi que l'interprétation qu'il aurait été possible d'en faire pour l'exercice ne nous ont pas semblé adéquats. L'enquête utilisée date de 2008, mais c'est la dernière dont les données sont disponibles et tout ce qui a été annoncé²⁴ sur la prochaine, faite entre 2018 et 2019²⁵ dont la publication devrait être proche, nous laisse comprendre/espérer qu'il n'y a pas eu de grands bouleversements des profils de déplacement qui invalideraient son utilisation pour cet exercice.

Néanmoins par rapport à 2008, le volume total des p.km a été recalé dans l'outil sur 2014 en tenant compte de l'augmentation de la population globale en tenant compte de l'évolution de la pyramide des âges et la répartition sur les localisations par rapport à celle de 2008. En revanche nous ne changeons pas les pratiques. Par la suite la situation de départ sera appelée 2008/2014.

8.5.2.1. Choix de segmentation des déplacement et impacts sur la scénarisation

Sur le périmètre d'étude (déplacements < 100km), nous avons établi une classification des déplacements pour pouvoir les segmenter en fonction des motifs qui les suscitent ainsi que leurs lieux d'origine et départ : par exemple, domicile-travail pour les déplacements domicile-travail ou travail-domicile, travail lié pour d'autres combinaisons du motif travail qu'avec domicile, etc.

La répartition de la distance des déplacements, ainsi que les modes utilisés, selon les motifs et les lieux d'habitation nous a guidée dans les choix des déplacements à scénariser.

Les déplacements qui pourraient être concernées dans l'étude SISAE, même s'ils ne seront pas tous directement/explicitement modifiés, à savoir ceux liés à l'alimentation et au travail, sont regroupés en motifs-combinés (Figure 100 et Figure 101). L'importance du télétravail dans la mobilité locale ainsi que son impact sur les autres motifs de déplacements, nous ont conduit à l'intégrer à notre champ de travail pour préserver la cohérence d'ensemble avec les scénarios encadrants.

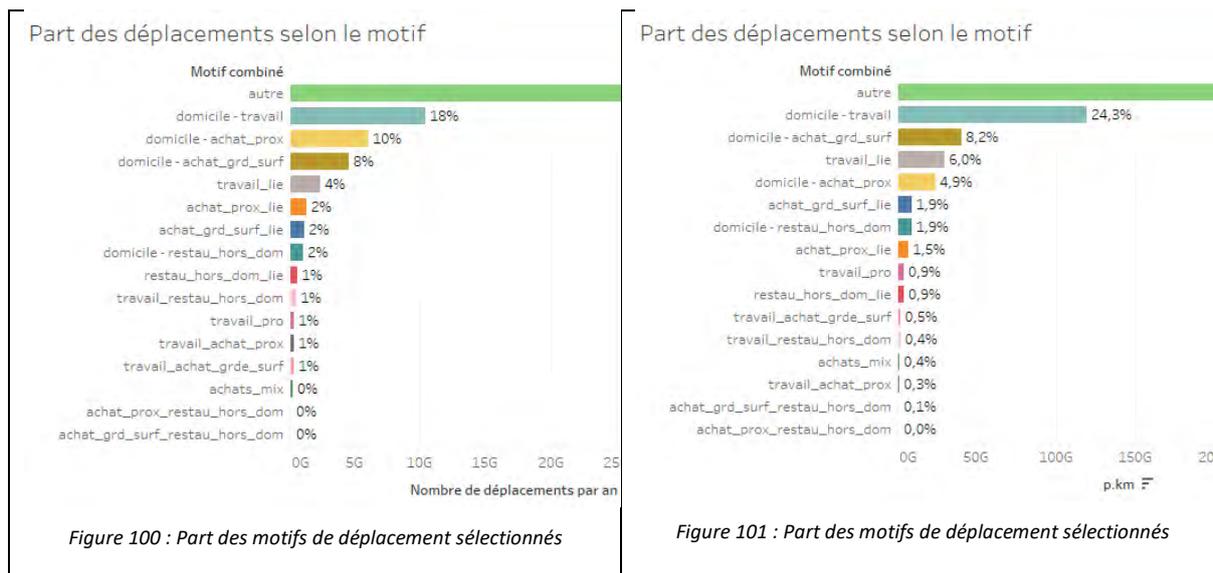
Pour ne pas perdre le lecteur dans une trop grande variété des déplacements, nous avons regroupé dans le motif-combiné "autre", qui représente 50% des déplacements, pour 48 % des p.km, en 2008/2014, les déplacements pour démarches administratives, visites amicales, soins, études, loisirs, etc.

Pour l'analyse des effets de la scénarisation, nous avons restreint encore plus le périmètre d'observation à des "motifs-SISAE" (domicile - achat_grd_surf, domicile - achat_prox, domicile - travail, travail - restau_hors_dom, domicile - restau_hors_dom) qui représentent, en 2008/2014, 38% des déplacements pour 40% des p.km, de la mobilité régulière locale (< 100km).

²³ [Enquête nationale transports et déplacements \(ENTD\) 2008](#) Service des données et études statistiques (SDES)

²⁴ [Comment les Français se déplacent-ils en 2019 ? Résultats de l'enquête mobilité des personnes Transports 2018-2019](#) Publié le 16/09/2020 Service des données et études statistiques (SDES)

²⁵ [Enquête « Mobilité des personnes » 2018-2019](#) (SDES) ou [Enquête mobilité des personnes : une enquête sur les déplacements des personnes et leurs modes de transport](#) (24/04/2018 INSEE)



▪ Impact du télétravail

Les déplacements domicile-travail concernent 15% des déplacements et recouvrent 24,3 % des distances (Figure 100 et Figure 101), ce sont donc les plus importants sur notre périmètre de travail. Ces chiffres révèlent que les déplacements pour aller travailler font partie des plus longs en mobilité locale, ce qui se confirme sur les Figure 102 et Figure 104. Ces déplacements, sur le périmètre des motifs SISAE, ont une empreinte énergétique et CO2 considérable, car ils sont faits majoritairement en voiture particulière (VP), sauf à Paris (Figure 103).

Modéliser l'impact d'évolutions différenciées de la pratique du télétravail selon les scénarios, uniquement sur les déplacements domicile travail, toutes choses égales par ailleurs, aura donc un impact notable sur les consommations d'énergie et les émissions de polluants, variable selon les localisations (Figure 102 et Figure 103). Nous n'avons pas, dans cet exercice sur l'alimentation envisagé les effets rebonds ou autres déplacements de compensation induits par une pratique importante du télétravail, mais c'est un approfondissement qui serait nécessaire, dans un exercice dédié.

Nous avons choisi d'appliquer les variations de pratiques de façon uniforme sur tous les tissus, même s'il aurait été possible de faire varier les évolutions des taux de télétravail selon les gammes de distance des longueurs de déplacement mais cela nous aurait amené à rechercher des mises en cohérence avec les narratifs de l'ADEME qui nous ont semblés déplacés pour cet exercice qui concernait surtout l'alimentation. Nous n'avons donc pas modifié du fait du télétravail non plus la répartition modale des déplacements domicile travail, même s'il y a toutes les chances qu'une pratique accrue du télétravail la modifie en fait mais un tel raffinement, légitime, est envisageable dans un travail ultérieur.

Nous n'avons pas, non plus, utilisé directement les codes "activités" ou "emploi" de l'ENTD 2008 pour différencier finement les évolutions des pratiques selon les métiers dans cet exercice mais avons donc conservé la répartition actuelle des métiers dans les évolutions proposées sans la changer ; là encore un exercice ultérieur dédié au télétravail se prêterait bien à une telle exploration.

Enfin, les déplacements pour restauration "fonctionnelle" ou "méridienne" qui sont liés au travail, et concernent 1% des déplacements pour 0,4% des distances, sont aussi impactées par les évolutions liées au télétravail. Leur nombre diminuera donc proportionnellement à celui des déplacements dom-travail, car nous faisons l'hypothèse qu'alors le repas sera pris au domicile. En revanche, nous avons laissé inchangés les autres déplacements liés en supposant que ce qui les motivait n'avait pas de raisons de varier avec le télétravail et faute d'éléments pour modéliser leur modification.

L'ensemble de ces déplacements labelisés "domicile-travail" qui seront modifiés par la prise en compte des différences de pratique du télétravail représentent ainsi 16 % de l'ensemble des déplacements et 20 % des p.km sur le périmètre d'étude.

L'idée est de représenter ainsi les effets conjugués de l'essor du télétravail avec la variation des emplois de bureau et du développement des activités de proximité ainsi que l'impact sur la restauration méridiennes.

Variations du nombre de déplacements relativement à la distribution des déplacements domicile-travail en 2014				
Tendanciel	S1	S2	S3	S4
- 10%	-20%	-15%	-15%	-20%

Tableau 24 : Variations du nombre de déplacements relativement à la distribution des déplacements domicile-travail en 2014

Ces variations sont faites par rapport au nombre de déplacement recalé en fonction de l'évolution de la population entre 2014 et 2050 et ne sont pas spécifiquement recorrigées sur ce motif pour suivre les évolutions cibles des mobilités des scénarios ADEME.

▪ **Impact de l'évolution des pratiques d'achat**

Le regroupement suivant que nous avons scénarisé concerne les déplacements d'achats, autour du domicile, qui représentent 18% des déplacements pour 13% des distances (p.km).

Nous avons choisi de faire évoluer, selon les scénarios, la répartition entre "achat de proximité" et "grande surface" (GS). En effet, ces achats recouvrent, en 2008, respectivement 10% et 8% pour les déplacements vs 5% et 8% en p.km, ce qui traduit parfaitement, en moyenne, l'éloignement des grandes surfaces comme nous le voyons très bien sur les Figure 102 et Figure 104. La Figure 103 nous permet alors de bien comprendre que faire le choix de passer de la grande surface à la proximité (y.c. superette), en plus de diminuer les distances, rend ces déplacements plus accessibles aux mobilités actives et donc moins consommatrices d'énergies ou émettrices de polluants, dont les GES, particulièrement dans les tissus démographiquement denses. Car, en effet, dans le tissu "rural-périurbain", où l'on trouve la moitié des p.km parcourus pour un tiers des déplacements (Figure 105), même les achats de proximité sont en limite d'accessibilité pour le vélo car ils font 7 km en moyenne (Figure 102) et sont, sans surprise, effectués à 74% en voiture (Figure 103).

Nous faisons l'hypothèse qu'une grande majorité des déplacements d'achats sont liés en partie au moins à un besoin alimentaire. Nous n'avons pas intégré explicitement de modifications des pratiques liées au développement des services de livraisons à domicile, mais c'est aussi un point qui mériterait d'être approfondi.

Variations du nombre de déplacements relativement à la distribution des déplacements pour achats				
Tendanciel	S1	S2	S3	S4
Idem	-50% en GS + 80% en proximité	-30% en GS + 60% en proximité	+10% en GS - 20% en proximité	+30% en GS - 60% en proximité

Tableau 25 : Variations du nombre de déplacements relativement à la distribution des déplacements pour achats en 2014

▪ **Impact de l'évolution de la restauration hors domicile**

Enfin, nous avons aussi fait varier, selon les scénarios, les déplacements pour les restaurations "de loisir" (non liées au travail), principalement autour du domicile, qui recouvrent globalement 3% des déplacements et des distances ; l'impact sera donc relativement faible mais sa prise en compte dans le cadre de ce projet était nécessaire. Le Tableau 26 représente les variations relatives de la part des déplacements vers la RHD liée au travail et ceux vers la RHD de loisir.

Variations du nombre de déplacements pour de la RHD de loisir relativement à l'ensemble des déplacements pour la restauration hors domicile				
Tendanciel	S1	S2	S3	S4
Idem	+20%	+40%	-20%	-40%

Tableau 26 : Variations du nombre de déplacements relativement à la distribution des déplacements pour restauration hors domicile en 2014

Dans le scénario Coopérations territoriales, se rendre au restaurant pour ses loisirs est plus fréquent que dans le scénario Génération frugale. La part des déplacements en RHD liée au travail est en baisse pour ces deux scénarios. A l'inverse, la baisse des déplacements pour RHD de loisir dans les scénarios Technologies vertes et Pari réparateur n'est que relative par rapport aux déplacements pour RHD liées au travail qui sont en croissance dans ces scénarios.

▪ **Traitements mis en œuvre**

Dans l'outil les traitements seront faits dans l'ordre suivant :

- Évolution de la population en volume et répartition sur le territoire
- Évolution de la pyramide des âges à comportement constant observé en 2008 ; surtout l'effet vieillissement
- Télétravail : évolution des déplacements domicile-travail et travail – restauration hors domicile (RHD) ; les déplacements liés la RHD à partir du travail ne sera pas reportée depuis le domicile, tandis que d'autres motifs liés au travail comme les achats ou accompagnement resteront réalisés depuis le domicile,
- Évolution globale des motifs hors domicile -trav et trav-rhd selon cadrage ADEME
- Évolution des motifs liés à l'alimentation (achats en grande surface vs proximité, restauration hors domicile),
- Recalage sur la quantité de déplacements (<100km) pour les autres motifs afin de retrouver les évolutions globales de l'ADEME (évolution de l'activité totale en passagers.km, p.km dans la suite)
- Évolution du report modal selon le type d'espace d'habitation (12 types) et la gamme de distance (<1km, 1-5 km, 5-15km, >=15km) en essayant de retrouver en cumulé les parts modales globale de l'ADEME.
- Évolutions des taux de remplissage voiture en appliquant celles de l'ADEME sur toutes les mailles
- Évolution des consommations unitaires en appliquant uniformément celles de l'ADEME sur toutes les mailles ; l'outil PES-Mobilité aurait permis d'en avoir des différentes selon les tissus mais pour limiter les écarts avec l'étude encadrante de l'ADEME, il a été appliqué une évolution identique à celle globale de l'ADEME pour tous dans la scénarisation.
- Évolutions des facteurs d'émissions GES en appliquant, de même, celles de l'ADEME sur toutes les mailles.

Part des distances selon motif et type d'espace

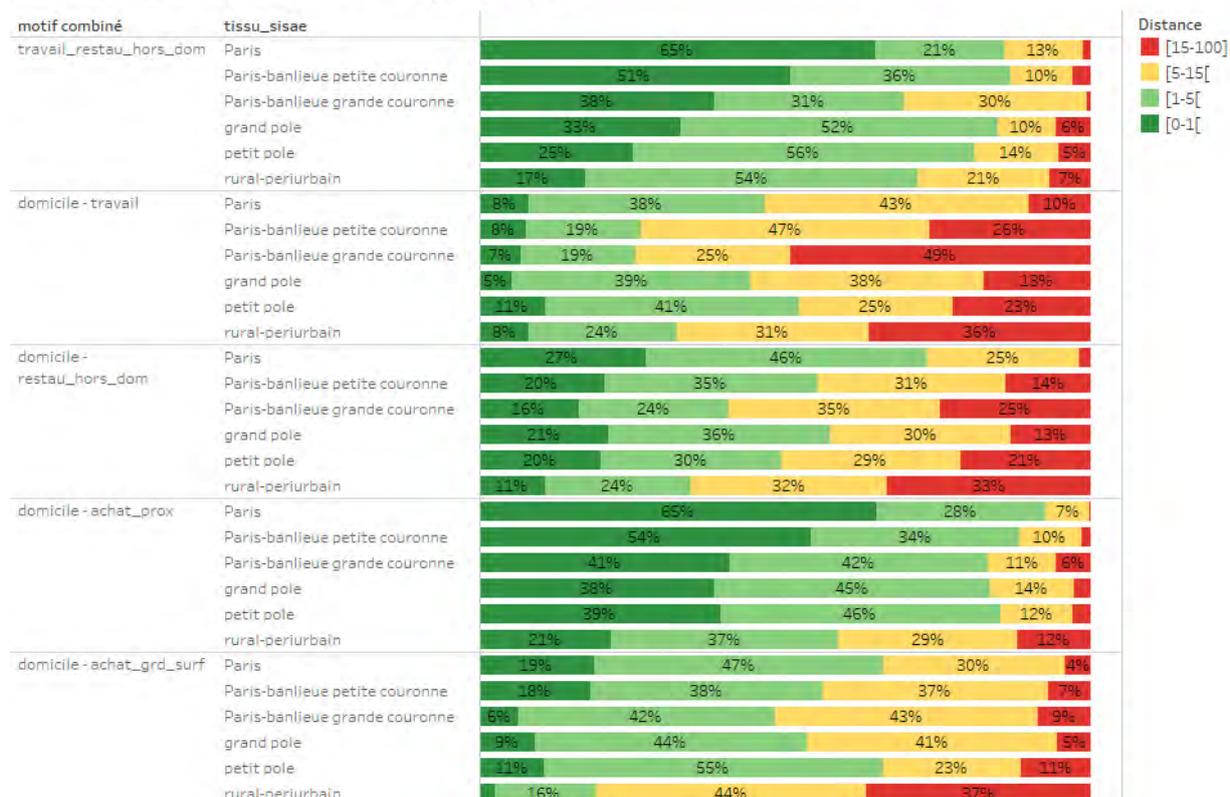


Figure 102 : Distribution des distances de déplacement selon localisation et motif

Parts modales selon le motif et le type d'espace

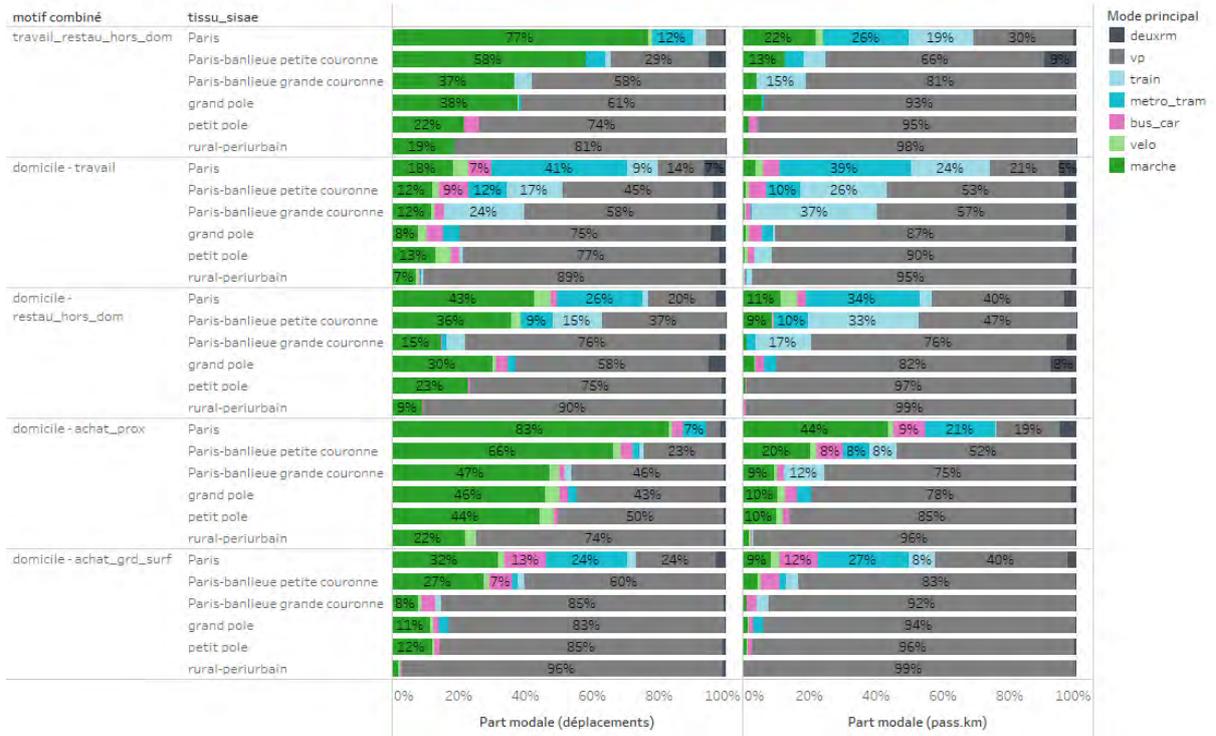


Figure 103 : Parts modale selon localisation et motif

Distances moyennes selon motif et type d'espace

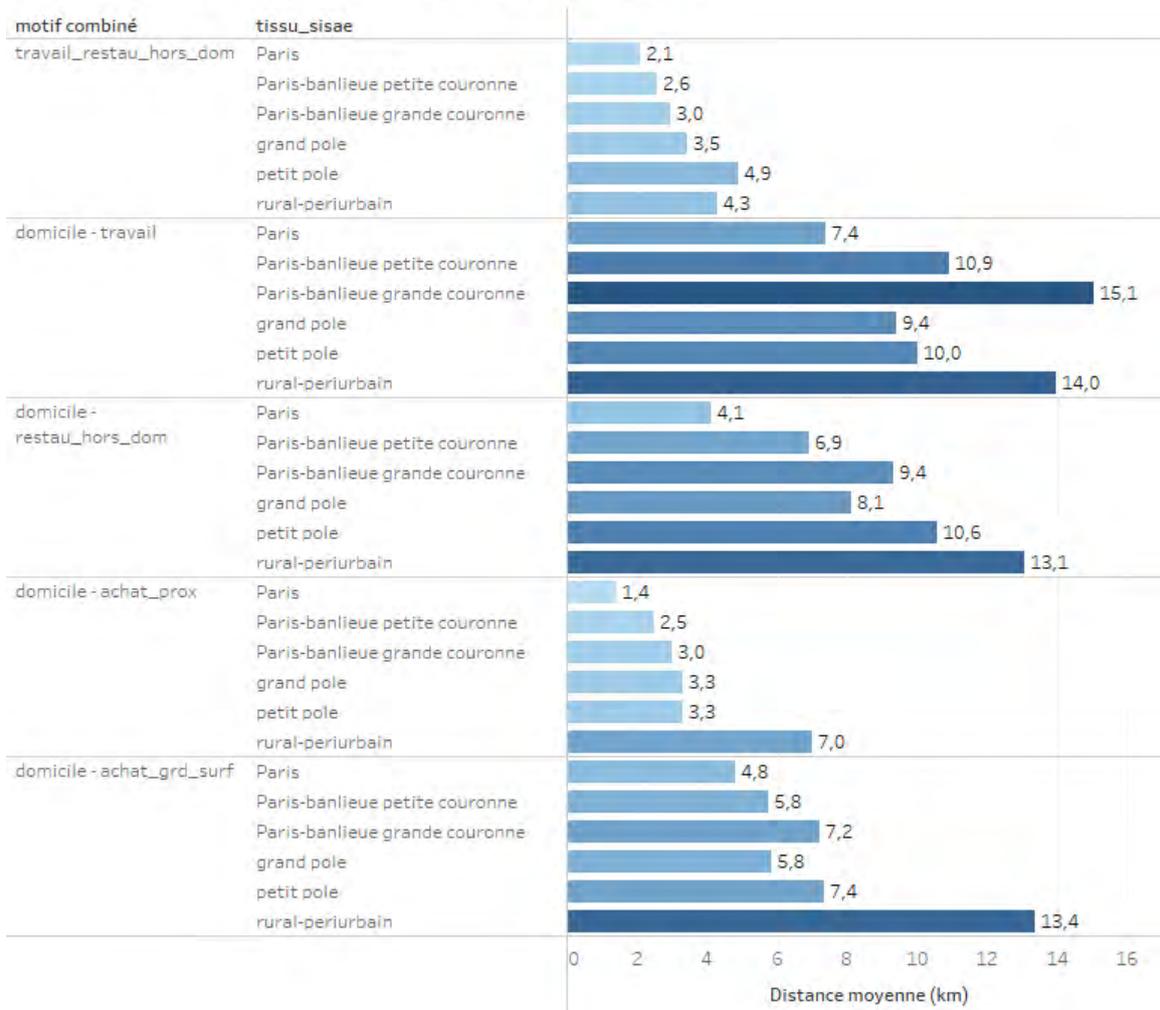


Figure 104 : Motifs SISAE

Déplacements et distances parcourues selon le type d'espace

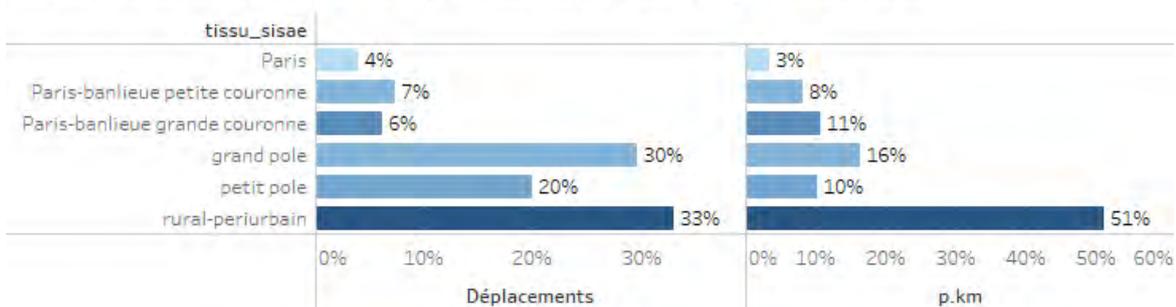


Figure 105 : Motifs SISAE

8.5.3. Scenarios

8.5.3.1. Observations globales

Pour ce qui est des évolutions de mobilités scénarisées, dans la mesure où notre situation de départ, 2014, était différentes de celles de l'ADEME, 2015, nous avons appliqué dans l'outil PES-Mobilité celles de la scénarisation de l'ADEME. Aussi, pour décliner les scénarios 5 scénarios ADEME (Tend, S1, S2, S3, S4) en scénarios de déplacements alimentaires des ménages pour SISAE, nous avons répercuté pour chaque scénario, les évolutions à l'échelle globale des déplacements en mobilité locale (activité en passagers.km par mode et parts modales en déplacements) de ceux de l'ADEME, tout en les déclinant en hypothèses plus fines selon les évolutions démographiques sur les motifs alimentaires, le télétravail et le report modal.

Pour respecter ces cibles d'évolution du flux global de passagers de l'ADEME sur ce périmètre de travail (<100km), dans notre scénarisation, la variation induite de p.km par la variation du nombre de déplacement scénarisés a été compensée, au mieux, modifiant le nombre de déplacement sur les autres types de déplacements que ceux domicile-travail.

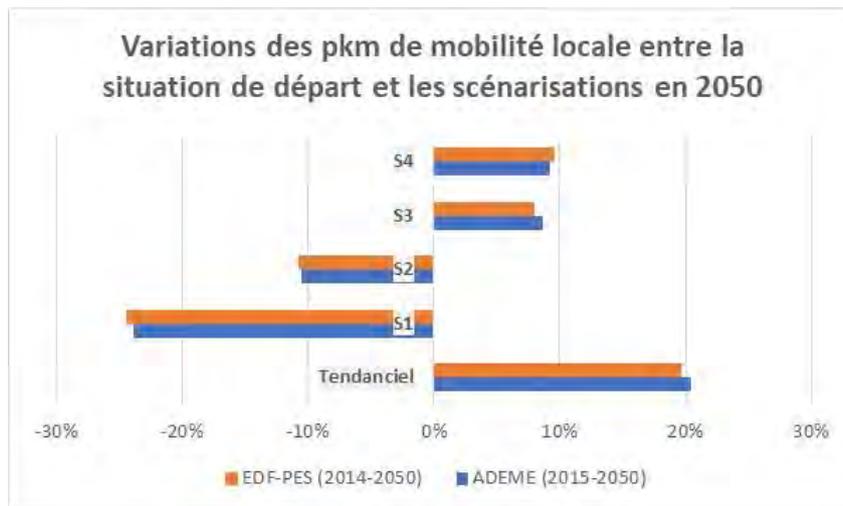


Figure 106 : Mobilité locale régulière tous motifs

Pour ce qui est des caractéristiques techniques, nous avons travaillé avec un jeu d'hypothèses sur les scénarios ADEME figé à date du 27 septembre 2021 (voir annexe 1). Comme pour les évolutions de mobilité, comme nous avons appliqué les mêmes taux de réduction d'émission mais à partir de de notre référence de départ ; les écarts au niveau des valeurs absolues sont minimes et ne changent rien aux conclusions de l'exercice sur les émissions de CO2. D'autant qu'au final, l'électrification des véhicules particuliers et la décarbonation des vecteurs énergétiques lissent toutes les différences sur les consommations d'énergie et les émissions de CO2.

Pour les carburants liquides, essence et diesel, comme nous n'avions pas d'informations sur les taux de décarbonation dépendant des taux d'incorporation de ressources renouvelables, **nous avons supposé qu'entre 2014 et 2050 les facteurs d'émissions étaient divisés par deux** pour tous les scénarios.

Les évolutions globales sur le périmètre des mobilités globales régulières restent tout à fait conformes à celles attendues, des scénarios encadrants ADEME que ce soit globalement sur le périmètre des mobilités locales régulières.

Les passagers.kilomètres qui augmenteraient de 21% dans un scénario tendanciel, diminuent d'1/10 dans le scénario S1 ou d'1/10 dans le S2, et n'augmentent "que" de 8% et 10%, dans les scénarios S3 et S4 (Figure 107).

Evolution passagers.km (2050)

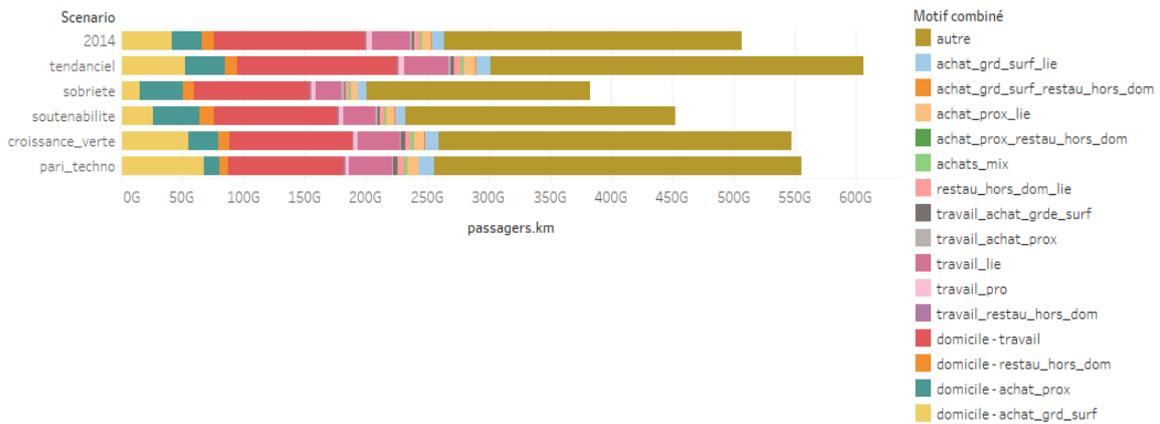


Figure 108 : Evolution des passagers.km par scénario

Sur le choix de vecteurs énergétiques par déplacement, la place des carburants liquides diminue considérablement dans tous les scénarios (Figure 109). Ainsi alors que ces carburants sont majoritaires en 2014 ils ne plus utilisés en 2050 que pour 12 % des p.km dans le S0 (Tendanciel), 6% dans le S1, 5% dans le S2, 5% dans le S3 et 8% dans le S4. De même, par rapport à 2014, l’usage du vélo sans assistance, qui baisse en tendanciel de 16% en p.km, augmente respectivement de 225%, 215% et 33% dans les scénarios S1, S2 et S3, alors qu’il diminue de 43% dans le S4 (respectivement 80%, 570%, 616%, 356 et 109% pour tous les types de vélos).

Evolution du mix énergétique par mode

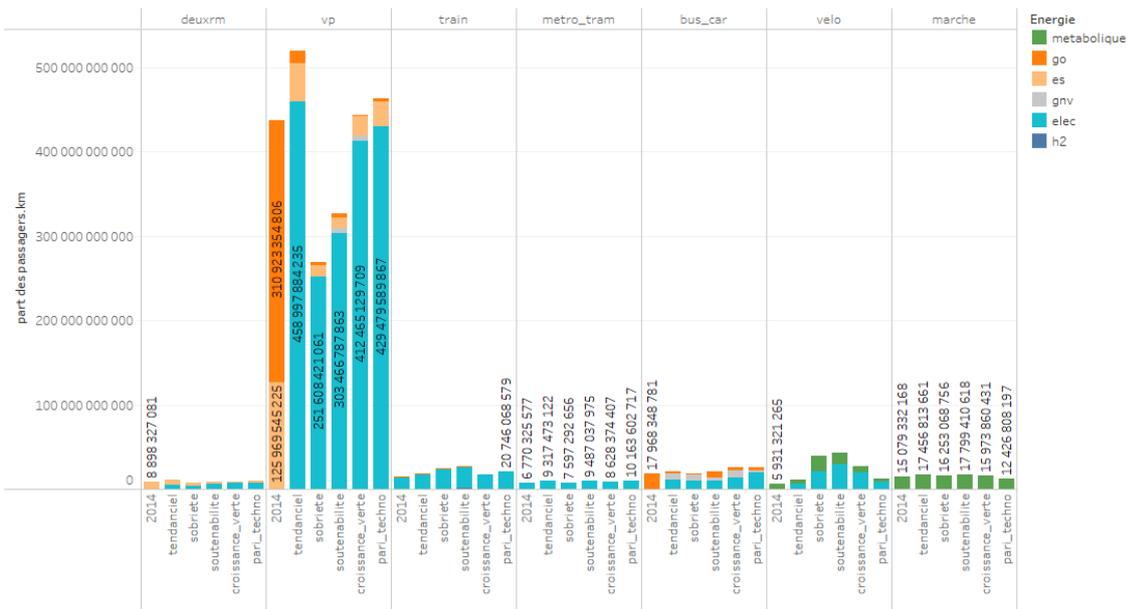


Figure 109 : Evolution du mix énergétique par mode

Plus particulièrement pour les consommations d’énergie et les émissions de CO2, on constate que l’électrifications des véhicules particuliers et de la décarbonation des vecteurs énergétiques utilisés rendent les différences entre les 4 scénarios très faibles.

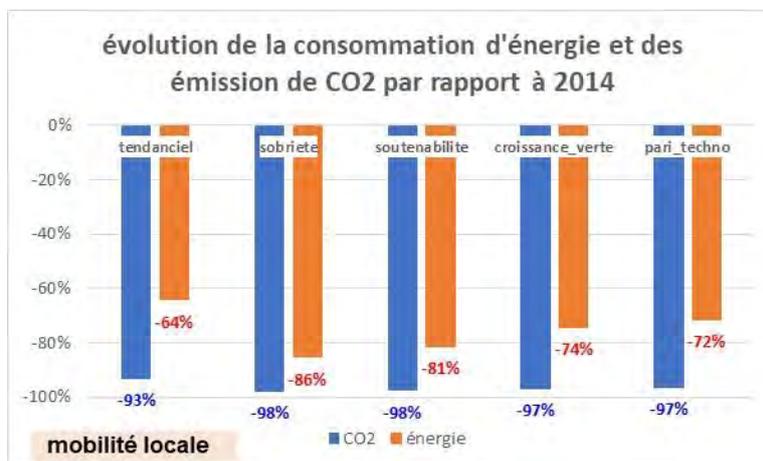


Figure 110 : Evolution de la consommation d'énergie et des émissions de CO2

L'effet est encore plus marquant lorsqu'on regarde l'amélioration de "l'efficacité moyenne agrégée" des déplacements que ce soit en énergie ou CO2.

Évolution moyenne de l'efficacité énergétique et CO2 des déplacements par rapport à 2014					
Mobilité locale	Tendanciel	Génération frugale	Coopérations territoriales	Technologies Vertes	Pari réparateur
Wh/p.km	-70%	-81%	-79%	-76%	-74%
gCo2/p.km	-94%	-97%	-97%	-97%	-97%

Tableau 27 : Évolution moyenne de l'efficacité énergétique et CO2 des déplacements par passager.km

Plus finement, au niveau de l'évolution des répartitions modales, les véhicules particuliers utilisés pour 86% des p.km ne représentent en 2050, respectivement dans les scénarios S1, S2, S3 et S4, plus que 70%, 72%, 81% et 83% des p.km (Figure 111).

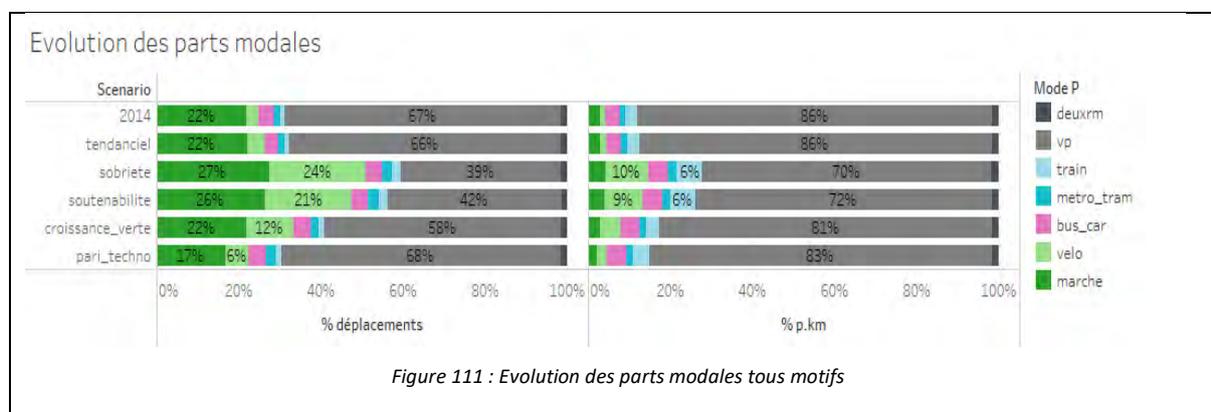


Figure 111 : Évolution des parts modales tous motifs

8.5.3.2. Mobilités scénarisées dans le cadre du projet SISAE

Si l'on resserre la focale autour des "motifs-SISAE" (domicile - achat_grd_surf, domicile - achat_prox, domicile - travail, travail - restau_hors_dom, domicile - restau_hors_dom), les effets de la scénarisation deviennent plus visibles.

Globalement, les p.km liés aux "motifs SISAE" qui augmentent de 13% dans le Tendancier, diminuent, respectivement dans les S1, S2, S3 et S4, de 23%, 11%, 5% et 9% (Figure 112).

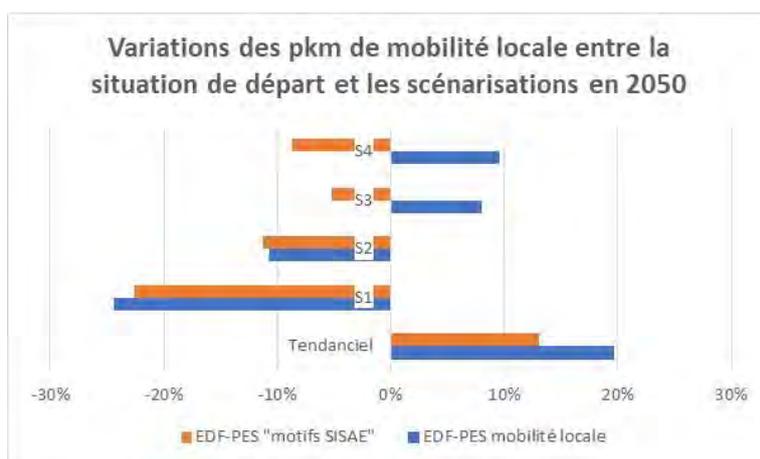


Figure 112 : Variation des pkm pour les « motifs SISAE »

Mais l'interprétation de l'effet des scénarisations sur l'ensemble des mobilités reste délicate et demande de l'attention car diverses évolutions se conjuguent et parfois se compensent.

Par exemple, sur le scénario S1, l'effet de réduction des déplacements dom-travail due au télétravail, -20% des déplacements, est compensé par celui la réduction globale de la mobilité locale de -25% qui n'est appliquée qu'aux autres motifs. Cela conduit, en relatif, à une augmentation de la part des trajets dom-travail au sein de la mobilité locale ; alors que les p.km domicile-travail diminuent autant sur le S1 que sur le S4, la part modale des déplacements domicile-travail est plus importante dans le S1 car les p.km pour achats y sont beaucoup moins réduits par que dans le S4 (Figure 113).

Evolution passagers.kilomètres zoom motifs Sisae

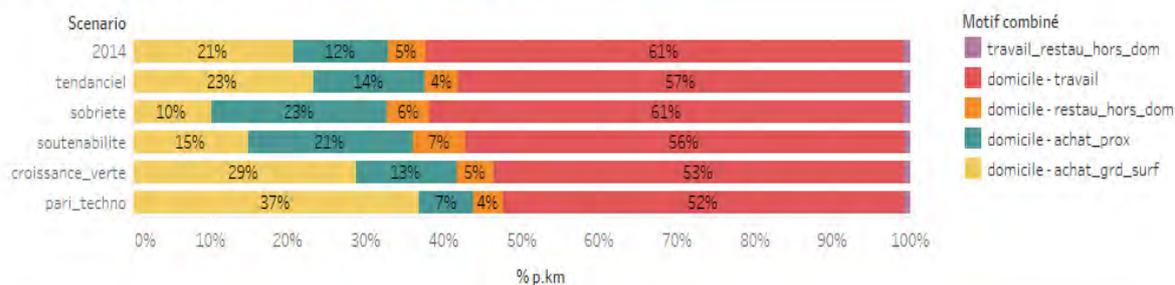


Figure 113 : Évolution des passagers.kilomètres sur les "motifs SISAE"

Évolution par rapport à 2014	Total (Gp.km)	travail_restau_hors_dom	domicile - travail	domicile - restau_hors_dom	domicile - achat_prox	domicile - achat_grd_surf	domicile - achat
		200,444	1,853	123,071	9,546	24,621	41,353
Tendancier	113%	105%	105%	102%	132%	127%	129%
Génération frugale	77%	76%	77%	89%	142%	38%	69%
Coopérations territoriales	89%	81%	81%	126%	152%	64%	84%
Technologies Vertes	95%	81%	81%	94%	100%	132%	100%
Pari techno	91%	76%	77%	73%	52%	163%	122%

Tableau 28 : Évolution des passagers.km sur les "motifs SISAE"

L'intérêt de préférer les achats de proximité pour réduire les p.km apparaît clairement sur la Figure 114.

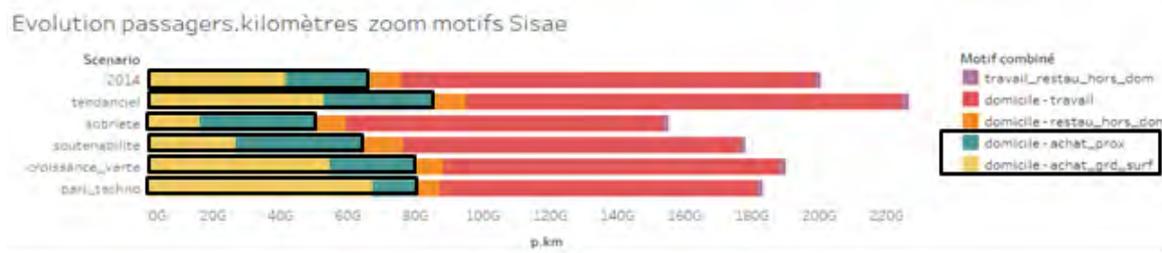


Figure 114 : Évolution des passagers.kilomètres sur les "motifs SISAE"

Avec juste les déplacements directement liés à l'alimentation (Motifs SISAE sans domicile-travail les conclusions ne changent pas.

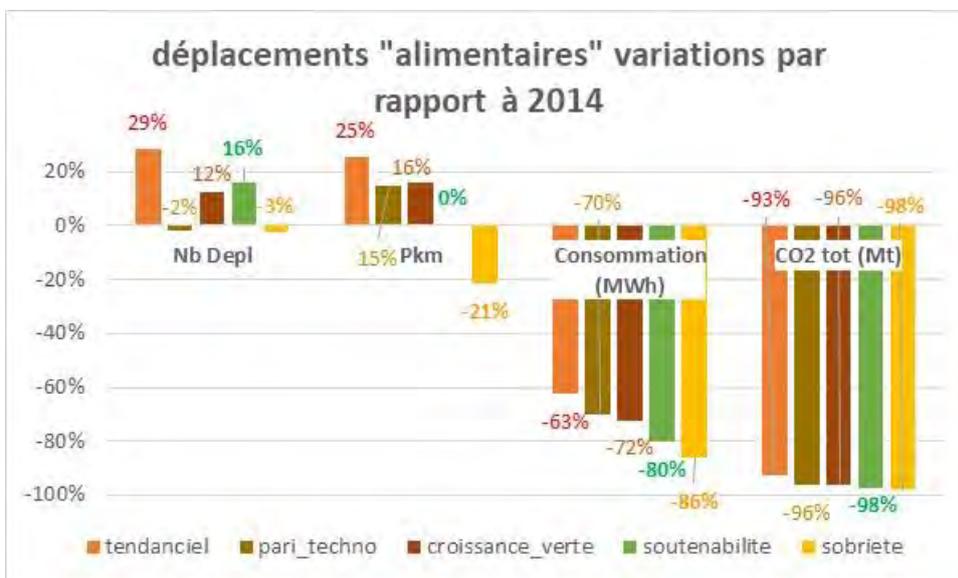


Figure 115 : Evolution des déplacements entre 2014 et 2050 selon les scénarios

8.5.3.3. Enseignements

En conclusion, l'ampleur des progrès techniques, tant sur l'électrification des véhicules que sur la décarbonation des vecteurs énergétiques, lissent fortement les différences, sur les consommations et émissions directes, entre les scénarios qui pourtant décrivent des mobilités très différentes.

L'exercice de scénarisation, au degré de finesse permis par le détail de l'ENTD 2008, c'est révélé très instructif sur le potentiel de l'outil mais nous a aussi montré l'ampleur du travail à faire tant sur la prise en compte des interdépendances inscrites dans les caractéristiques contextuelles (localisation, activité, statut familial, accès à des infrastructures et/ou aménités) pour garantir la cohérence des scénarios que sur l'origine des pratiques actuelles pour imaginer des évolutions en phase avec les narratifs globaux encadrants. Nous sommes loin d'être allés au bout des possibilités, mais ce que nous avons entrevu sur la scénarisation des mobilités nous a semblé prometteur.

8.6. Bilans de synthèse

	Total "alimentaires" + "ambiance"				Consommations "alimentaires"				Consommations d'"ambiance"			
	TWh		ktCO2		TWh		ktCO2		TWh		ktCO2	
	2015	2050	2015	2050	2015	2050	2015	2050	2015	2050	2015	2050
Tend	79	59	8 564	2 637	33	28	2 127	606	47	31	6 436	2 031
S1	79	39	8 564	309	33	18	2 127	184	47	21	6 436	124
S2	79	42	8 564	356	33	20	2 127	186	47	22	6 436	170
S3	79	48	8 564	354	33	23	2 127	157	47	25	6 436	197
S4	79	47	8 564	1 180	33	24	2 127	240	47	22	6 436	939

Tableau 29 : Bilan résidentiel pour la fonction alimentation

	Total "alimentaires" + "ambiance"				Consommations "alimentaires"				Consommations d'"ambiance"			
	TWh		ktCO2		TWh		ktCO2		TWh		ktCO2	
	2015	2050	2015	2050	2015	2050	2015	2050	2015	2050	2015	2050
Tend	79	59	8 564	2 637	33	28	2 127	606	47	31	6 436	2 031
S1	79	39	8 564	309	33	18	2 127	184	47	21	6 436	124
S2	79	42	8 564	356	33	20	2 127	186	47	22	6 436	170
S3	79	48	8 564	354	33	23	2 127	157	47	25	6 436	197
S4	79	47	8 564	1 180	33	24	2 127	240	47	22	6 436	939

Tableau 30 : Bilan tertiaire pour la fonction alimentation

	Bilan SISAIE tertiaire "alim" +ambiance		Bilan SISAIE tertiaire "alim"		Bilan SISAIE tertiaire ambiance	
	TWh	MtCO2*	TWh	MtCO2*	TWh	MtCO2*
2014	47,71	4,73	13,07	0,67	23,96	2,69
Tend	41,22	1,99	12,00	0,25	19,74	0,96
S1	25,71	0,03	8,44	0,01	10,24	0,01
S2	27,10	0,31	8,60	0,07	11,46	0,14
S3	34,46	0,30	10,67	0,07	15,54	0,14
S4	41,17	1,31	12,78	0,17	18,92	0,63

Tableau 31 : Bilan mobilité des ménages pour la fonction alimentation

Mobilité locale (<100km) régulière personnes SISAE		
	TWh	MtCO2*
2014	238,7	74,3
Tend	86,7	5,4
S1	34,9	1,5
S2	44,3	1,7
S3	61,2	2,3
S4	67,1	2,4
(*) facteur d'émission des carburants liquides 2014 divisés par deux		

Mobilité personnes motifs SISAE		
	TWh	MtCO2*
2014	94,5	29,4
Tend	32,2	1,9
S1	14,3	0,6
S2	17,5	0,7
S3	21,3	0,8
S4	22,1	0,7
(*) facteur d'émission des carburants liquides 2014 divisés par deux		

Mobilité personnes motifs alimentaires		
	TWh	MtCO2*
2014	36,0	11,2
Tend	13,7	0,9
S1	5,1	0,2
S2	7,2	0,3
S3	9,8	0,4
S4	10,4	0,3
(*) facteur d'émission des carburants liquides 2014 divisés par deux		

9. Résultats globaux des systèmes alimentaires

Les consommations d'énergie en 2050 restent assez bien distribuées entre les différentes étapes du système alimentaire quel que soit le scénario (Tableau 32, Figure 116). Les besoins énergétiques totaux varient fortement, de 139 TWh pour le scénario Génération frugale à 186 TWh pour le Scénario Pari réparateur et 232 TWh pour le scénario tendanciel. Les gains énergétiques les plus marqués entre scénarios concernent la mobilité des ménages, les transports de marchandises et la production agricole. Les forts gains d'efficacité anticipés dans les scénarios Technologies Vertes et Pari réparateur ne compensent pas le plus souvent les gains liés aux pratiques de sobriété de tous types réalisés dans les scénarios Naturalité et Coopérations territoriales.

TWh	Agriculture	IAA	Transport de marchandises	Transport des ménages	Tertiaire	Résidentiel	Total
Tendanciel	42,1	52,5	33,6	13,7	31,7	58,8	232,5
Génération frugale	24,0	35,3	16,5	5,1	18,7	39,1	138,7
Coopérations territoriales	26,4	33,1	14,4	7,2	20,1	42,2	143,4
Technologies vertes	30,5	33,1	15,9	9,8	26,2	48,0	163,5
Pari réparateur	36,9	43,2	18,2	10,4	31,7	45,7	186,1
SNBC	38,7	40,0	17,9				

Tableau 32 : Bilan des consommations d'énergie par étape du système alimentaire

MtCO2	Agriculture	IAA	Transport de marchandises	Transport des ménages	Tertiaire	Résidentiel	Total
Tendanciel	81,9	4,4	10,9	0,9	1,2	2,6	102,0
Génération frugale	36,8	0,3	1,8	0,2	0,0	0,3	39,5
Coopérations territoriales	41,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,4	43,3
Technologies vertes	56,9	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	58,7
Pari réparateur	64,8	1,9	1,6	0,3	0,8	1,2	70,5
SNBC	72,6	0,4	0,8				

Tableau 33 : Bilan des émissions de GES par étape du système alimentaire

Les émissions totales de GES sont fortement réduites, de plus des deux tiers dans le Scénario Coopérations territoriales par rapport au scénario tendanciel (

Variations du nombre de déplacements relativement à la distribution des déplacements domicile-travail en 2014					
Tendanciel	S1	S2	S3	S4	
- 10%	-20%	-15%	-15%	-20%	

Tableau 24). La neutralité carbone n'est cependant pas atteinte directement dans ces scénarios, mais les émissions résiduelles peuvent être, en tout ou partie, compensées par des puits de carbone, dont l'extension des surfaces forestières.

La réduction des besoins énergétiques et la pénétration de sources d'énergie décarbonées permettent de réduire fortement les émissions de CO₂, sans les annuler totalement. Par contre, les émissions de CH₄ et de N₂O se renforcent dans les émissions totales des systèmes alimentaires. Elles restent plus difficiles à contenir, sans des changements de régimes alimentaires et de pratiques agricoles plus poussées encore.

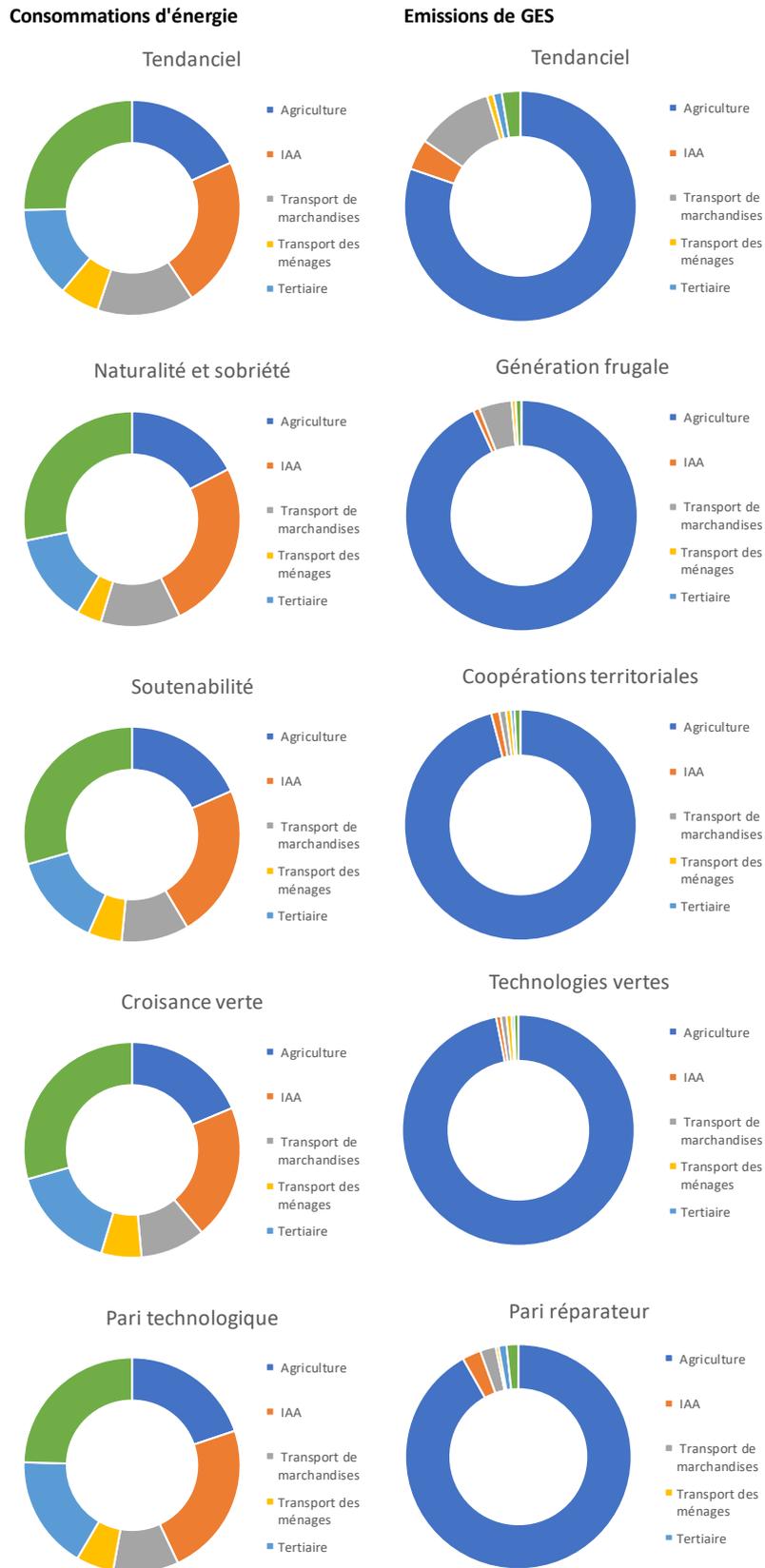


Figure 116 : Distribution des consommations d'énergie et des émissions par secteur

10. Éléments de synthèse

Consommation alimentaire

La consommation alimentaire journalière (g/j/pers) baisse de 19% dans le scénario Génération frugale par rapport au scénario tendanciel, de 4% dans le scénario SNBC mais elle reste identique dans le Scénario Pari réparateur. Les systèmes alimentaires sont globalement plus efficaces. La hausse de la population à l'horizon 2050 est plus que compensée dans les scénarios Naturalité, Coopérations territoriales et Technologies Vertes avec une demande en produits primaires et transformés qui est réduite de 21% pour les deux premiers scénarios et de 11% pour le Scénario Technologies vertes par rapport au scénario tendanciel. La demande en produits primaires et transformés est quasiment stable dans les scénarios Pari réparateur et SNBC.

La part des produits animaux dans l'assiette est déterminante pour réduire significativement les impacts de la production agricole mais aussi le transport d'aliments pour animaux (émissions de GES, consommation d'énergie, surfaces mobilisées). Aucun scénario ne fait l'hypothèse d'un basculement majoritaire des mangeurs vers des régimes végétariens ou végétaliens. La réduction de la consommation de produits animaux hebdomadaire pour parfois une large partie de la population et le développement du flexitarisme sont privilégiés.

La production agricole

La part des émissions de GES au stade de la production agricole progresse dans tous scénarios au regard de la situation actuelle. Les fortes améliorations des efficacités énergétiques envisagées dans les étapes aval des systèmes alimentaires, le recours aux énergies décarbonées, conduisent à des réductions majeures de l'empreinte carbone de ces secteurs. Les émissions hors combustion au stade agricole sont plus difficiles à éviter sauf à voir progresser encore plus largement les régimes végétariens et végétaliens avec des substitutions plus fortes de produits laitiers et de viande de ruminants au profit de viande de non ruminants.

Ainsi les hypothèses du scénario Génération frugale, pour lesquels les changements d'assiettes et de systèmes de production sont les plus importants, ne permettent pas de réduire les émissions de CH₄ et N₂O cumulées à moins de 30 MtCO₂eq. La consommation de produits animaux est divisée par un facteur 3 par rapport à aujourd'hui, avec une réduction plus forte de la viande bovine, ovine et porcine mais une baisse plus limitée des produits laitiers conduisant à maintenir en large partie les cheptels de vaches et brebis laitières. Les émissions de méthane baissent de 60% par rapport au scénario tendanciel, pour atteindre 15 MtCO₂eq. La baisse sensible du recours aux engrais minéraux azotés (-40%) conduit à réduction des émissions de N₂O de 50%, s'élevant également à 15 MtCO₂eq. Par comparaison, les émissions cumulées de CH₄ et de N₂O sont de 60 MtCO₂ dans le Scénario Pari réparateur et de 69 MtCO₂ dans le scénario tendanciel.

La production de bioénergies

Le choix a été fait pour l'ensemble des scénarios de maintenir une surface agricole utile similaire à aujourd'hui. Les terres agricoles non dédiées à l'alimentation de la population métropolitaine (incluant l'alimentation animale) sont ainsi utilisées pour des productions à l'exportation, la production de bioénergies ou l'accroissement du couvert forestier. Ainsi selon les scénarios, la forêt progresse de 0.35 Mha dans le Scénario Pari réparateur à 2,9 Mha dans le scénario Naturalité. La production de bioénergies croît notamment par l'évolution des systèmes de production vers l'agroforesterie, la mobilisation de bois et déchets de bois issus de la forêt, des cultures intermédiaires, la valorisation des effluents d'élevage ou d'herbe collectée, ou par le développement de cultures dédiées. Au total, nous estimons que cette production peut atteindre 273 TWh (scénario Tendanciel) à 335 TWh (Scénario Technologies vertes). La distribution de ces bioénergies diffère selon les scénarios. L'exploitation du bois issu de la forêt et des produits connexes de scierie et la méthanisation des déjections animales sont favorisées dans les scénarios Technologies Vertes et Pari réparateur. La production de biomasse liquide à des fins de carburants est plus importante dans le scénario Génération frugale. Les résidus de cultures et cultures intermédiaires méthanisées sont privilégiées dans les scénarios Génération frugale, Coopérations territoriales et Technologies Vertes.

Les impacts des importations de produits agricoles et alimentaires

Les facteurs principaux intervenants sur les émissions et surfaces mobilisées des importations sont le « panier » de produits importés (lié notamment aux évolutions des régimes alimentaires moyens) et les coefficients unitaires par unité de tonne importée. Pour ces derniers, deux effets jouent, d'une part l'évolution des pratiques agricoles, et d'autre part la part des importations d'origine européenne, région où les rendements et efficacités sont souvent plus élevés que dans le reste du monde. Pour les coefficients de consommation d'énergie, ce sont les changements dans les pays d'origine qui jouent le plus. Pour les autres indicateurs, émissions et usage des sols, les hypothèses sur les efficacités et les réductions d'émissions induisent des coefficients plus élevés pour la référence, suivi par Génération frugale, Coopérations territoriales, Technologies Vertes et enfin Pari réparateur. Suivant les indicateurs, le scénario de Pari réparateur a des coefficients unitaires réduits de 12 % (consommation d'énergie) à 21 % (usage des sols) par rapport à Génération frugale. Etant donné que les différences de quantités importées sont nettement plus importantes, ce sont les changements de quantités importées qui expliquent la plus grande part des évolutions.

Les surfaces agricoles mobilisées à l'étranger s'échelonnent de 4,6 Mha dans le scénario Génération frugale à 28,5 Mha dans le scénario tendanciel, soit un niveau proche de la surface agricole utile française.

La transformation agroalimentaire

Les besoins en produits transformés sont légèrement moins importants en 2050 par rapport à aujourd'hui dans les scénarios tendanciel, Technologies Vertes et SNBC. Pour ces scénarios, la réduction des pertes et des gaspillages ne compense pas totalement la hausse de la population et la demande associée, notamment les fruits et légumes et les huiles.

Les besoins en produits transformés sont par contre nettement plus faibles dans les scénarios Génération frugale et Coopérations territoriales (62 Mt pour les deux scénarios, soit une baisse d'un tiers par rapport au scénario Tendanciel). C'est le cas notamment pour la viande et les produits laitiers et par conséquent les aliments pour animaux, ainsi que les jus de fruits tropicaux et excitants.

Les gains d'efficacité dans les IAA sont importants dans le Scénario Technologies vertes, ils compensent ainsi la réduction des besoins en produits transformés (dont l'alimentation animale) obtenue dans les scénarios Génération frugale et Coopérations territoriales. Les consommations totales d'énergie pour la transformation agroalimentaire sont du même ordre dans ces trois scénarios. Les émissions du Scénario Pari réparateur sont relativement plus élevées du fait d'une demande agroalimentaire plus importante, des gains d'efficacité moindres et d'une substitution partielle du gaz de réseau par du gaz renouvelable.

Les transports de marchandises

Les résultats montrent un potentiel significatif de contraction du commerce international liée en premier lieu aux changements de régimes alimentaires limitant le recours à des produits alimentaires et aliments pour animaux provenant d'autres continents. Les trafics totaux sont ainsi divisés d'un facteur 3,5 dans les scénarios Génération frugale et Coopérations territoriales au regard du scénario Tendanciel. La part des trafics en provenance du continent américain est sensiblement réduite dans ces deux scénarios du fait notamment de la réduction des importations de tourteaux et de produits tropicaux. Cette réduction forte des trafics internationaux pour ces scénarios ne se traduit pas par une hausse des trafics de produits domestiques, les besoins pour l'alimentation humaine et pour l'alimentation animale étant réduits également.

Les gains d'efficacité énergétique sont particulièrement ambitieux pour le transport routier (jusqu'à - 43% pour le Scénario Pari réparateur). C'est également le cas pour la plupart des modes de transport dans le scénario SNBC (route - 42%, air - 45%, fluvial - 50%, maritime - 25%). Cela conduit à une compensation des effets de réduction de trafics et de gains d'efficacité énergétique selon les scénarios. Les consommations d'énergie sont ainsi réduites d'un facteur 2 environ par rapport au scénario tendanciel, s'échelonnant de 14 TWh à 18 TWh selon les scénarios.

Les émissions de GES se différencieront dès lors selon les sources d'énergie mobilisées dans chaque scénario. Les modes de transport à l'international (air et maritime) ne bénéficient pas d'une décarbonation aussi importante que les transports domestiques. Les émissions de ces trafics intercontinentaux, notamment du trafic aérien, restent ainsi relativement importantes dans les résultats totaux.

Tertiaire

Les consommations d'énergie et des émissions de GES pour les besoins alimentaires sont dans les secteurs résidentiel et tertiaire, comme pour la mobilité des ménages, en premier lieu impactées par l'évolution des lieux et pratiques de consommation. Selon les scénarios, la part des repas au domicile ou hors domicile évolue. Les lieux de confection des repas peuvent évoluer aussi avec le développement des livraisons de repas au domicile, ou le recours à l'artisanat de bouche, plutôt que la préparation au domicile. La pratique plus importante du télétravail peut conduire à l'inverse à une augmentation des repas préparés et pris au domicile, et à un changement des pratiques d'achats et des déplacements associés.

Dans le scénario Génération frugale, plus de repas sont pris à l'extérieur partagés en communauté (cuisines collectives associatives, entre voisins, amis etc). Cependant la multifonctionnalité des espaces permet de ne pas faire croître les surfaces dédiées à la RHD. La baisse des consommations d'énergie dans ce scénario (38%) vient pour l'essentiel d'une diminution des besoins (mode de cuisson plus doux et économes) et des variétés des produits alimentaires (repas partagés avec un plat unique, etc).

Dans le Scénario Technologies vertes, la confection des repas au domicile sont en nette diminution. La RHD et les livraisons au domicile sont largement développées. L'industrialisation de l'alimentation progresse aux dépens de l'artisanat de bouche. Cette croissance de l'activité tertiaire est en partie compensée par des progrès d'efficacité énergétique plus importants tant sur les équipements que sur les bâtiments. La baisse des consommations d'énergie est cependant limitée à 16% par rapport au scénario tendanciel.

Pour le secteur **résidentiel**, les évolutions constatées sont le résultat de pratiques qui peuvent parfois se compenser. Ainsi malgré un temps d'alimentation (préparation et consommation) plus long dans les scénarios Naturalité et Coopérations territoriales, les consommations strictement alimentaires de ces scénarios restent globalement inférieures à celles des scénarios Technologies Vertes et Pari réparateur. En effet, dans ces scénarios, les montées en gamme de puissance liées à une poursuite du multi-équipement compense largement le fait que moins de temps serait consacré à l'alimentation. Par ailleurs, les consommations d'énergie « d'ambiance », c'est-à-dire liées au confort thermique des espaces liés à l'alimentation (cuisine, salles à manger), sont déterminées par les hypothèses faites dans le secteur du bâtiment des scénarios encadrants (surfaces et performance thermique). La réduction des consommations d'énergie au domicile pour l'alimentation varie de - 35 % dans le scénario Génération frugale à -12% dans le Scénario Pari réparateur.

Les éléments déterminants de l'évolution de la **mobilité des ménages** liée à l'alimentation sont la part du télétravail pour les personnes en activité, les lieux d'achats (grandes surfaces commerciales vs commerces de proximité) et les lieux de consommation (domicile ou RHD). Le nombre et les distances des déplacements peuvent être dès lors estimés. Les passagers-km dans le scénario Génération frugale baissent de -21%, sont stables dans le Scénario Coopérations territoriales, mais progressent de + 16% et + 15% pour les scénarios Technologies Vertes et Pari réparateur.

Les gains d'efficacité des modes de transport sont en forte augmentation. Globalement les consommations d'énergie pour la mobilité des ménages décroissent de 63% (Sc Naturalité) à 21% (Sc Pari réparateur) selon les scénarios par rapport au tendanciel (soit de 4,9 à 10,7 TWh). Du fait de la décarbonation des vecteurs énergétiques, les émissions de GES sont inférieures à 1 MtCO₂.

Empreintes énergie et carbone des systèmes alimentaires

Les consommations d'énergie totales des systèmes alimentaires varient de 145 TWh dans le scénario Génération frugale à 199 TWh dans le Scénario Pari réparateur et 251 TWh dans le scénario Tendanciel. Les gains d'efficacité énergétique unitaires souvent plus élevés dans les scénarios Croissante verte et Pari réparateur ne compensent donc pas les gains liés à la sobriété (régime alimentaire, systèmes agricoles, réduction des importations, etc.) des scénarios Génération frugale et Coopérations territoriales. Le secteur agricole ne représente plus que 21% à 25% dans ce total, proche du secteur résidentiel qui représente 23 à 28% des consommations d'énergie totale. Viennent ensuite les IAA, les transports de marchandises et voyageurs, et enfin le tertiaire. Cette hiérarchie est peu modifiée entre les scénarios.

Les émissions totales de GES sont fortement réduites, de plus des deux tiers dans le Scénario Coopérations territoriales par rapport au scénario tendanciel. La neutralité carbone n'est cependant pas atteinte même dans les scénarios les plus sobres, mais les émissions résiduelles peuvent être, en tout ou partie, compensées par des puits de carbone dont l'extension des surfaces forestières.

La réduction des besoins énergétiques et la pénétration de sources d'énergie décarbonées permettent de réduire fortement les émissions de CO₂, sans les annuler totalement. Dès lors, la part des émissions de CH₄ et de N₂O

se renforcent dans les émissions totales des systèmes alimentaires. Elles restent difficiles à contenir sans des changements de régimes alimentaires et de pratiques agricoles plus poussés encore.

11. Annexes

11.1. Demande alimentaire

Les principaux indicateurs de la demande alimentaire sont présentés dans le tableau ci-dessous. On estime les besoins en protéines et en énergie, et la disponibilité alimentaire (basée sur les bilans d’approvisionnement de la FAO), ce qui permet de faire apparaître les niveaux de surconsommation.

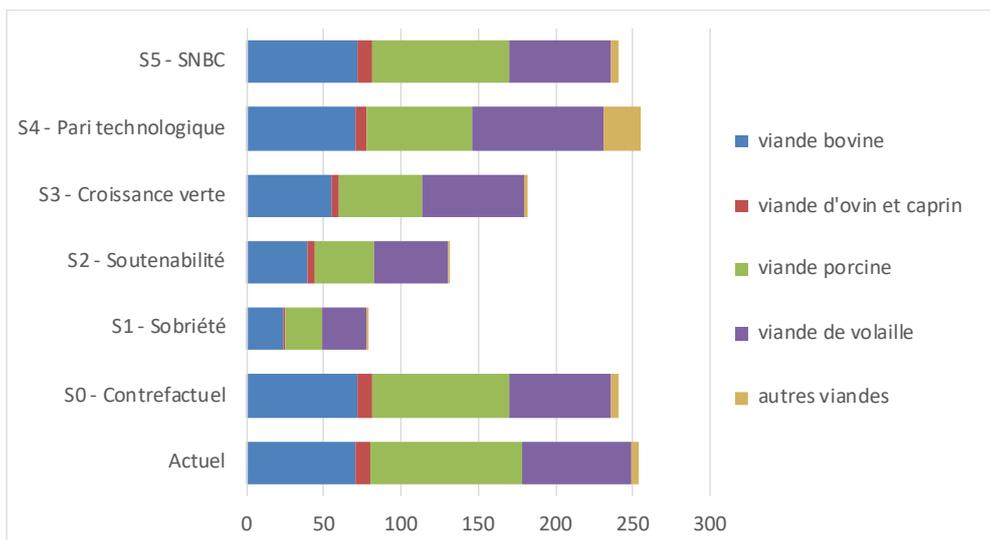
	Unité	Actuel	S0 - Contrefa- ctuel	S1 - Génératio- n frugale	S2 - Coopératio- ns territoriales	S3 - Technologi- es Vertes	S4 - Pari réparateur	S5 – « SNBC »
Besoins en protéines	kt/an	1 189	1 392	1 272	1 272	1 272	1 392	1 392
Disponibilité alimentaire en protéines	kt/an	2 278	2 516	1 745	1 897	2 005	2 527	2 516
Indice de Masse Corporelle 20-59 ans	-	25,5	26,9	24,4	24,4	24,4	26,9	26,9
Besoins en protéines (ANC)	g/perso- nne.jour	59	65	59	59	59	65	65
Disponibilité en protéines	g/perso- nne.jour	114	118	81	88	93	118	118
Surconsommation de protéines*	%	92%	81%	37%	49%	58%	82%	81%
Proportion de protéines végétales	%	35%	38%	51%	44%	39%	35%	38%
Surconsommation d'énergie*	%	28%	22%	10%	10%	10%	15%	22%

* Les « surconsommations » de protéine et d’énergie comparent la valeur en protéines et en énergie du poste « nourriture » du bilan d’approvisionnement publié par la FAO, et les besoins en apports nutritionnels conseillés. Le bilan d’approvisionnement inclut les pertes et gaspillages (par exemple la viande est exprimée ici en équivalent-carcasse), alors que les besoins concernent les quantités ingérées.

La demande alimentaire est traduite dans le bilan d’approvisionnement au format des commodités de la FAO.

kt/an	Actuel	S0 - Contrefactuel	S1 - Génération frugale	S2 - Coopérations territoriales	S3 - Technologies Vertes	S4 - Pari réparateur	S5 – « SNBC »
Céréales	8 683	8 944	7 772	7 385	6 974	8 168	8 944
Pommes de terre	3 383	4 036	2 475	2 665	2 760	3 337	4 036
Sucres	3 167	2 358	2 216	2 311	2 570	2 747	2 358
Légumineuses	122	243	601	489	445	288	243
Fruits coque	251	340	200	178	156	144	340
Plantes oléifères et huiles	1 151	1 775	2 093	1 847	1 741	1 585	1 775
Légumes	6 455	8 020	7 230	6 675	5 711	6 396	8 020
Fruits	4 962	7 961	3 661	3 947	3 581	4 383	7 961
Café thé cacao	585	781	179	207	165	388	781
Boissons alcooliques	5 195	5 420	2 759	3 277	3 537	4 757	5 420
Viande et abats	5 650	5 611	1 775	2 996	4 126	5 769	5 611
Lait et beurre	16 918	18 102	13 297	14 449	14 651	17 001	18 102
Œufs	762	885	914	914	914	986	885
Poissons	2 246	2 461	1 448	1 793	2 092	2 976	2 461
Coquillages et crustacés	3	16	0	0	0	0	16

Le graphique suivant indique plus précisément la consommation de viande selon les scénarios (gramme équivalent carcasse par personne et par jour).



11.2. Production agricole

11.2.1. Hypothèses sur les systèmes de production

- Systèmes de cultures

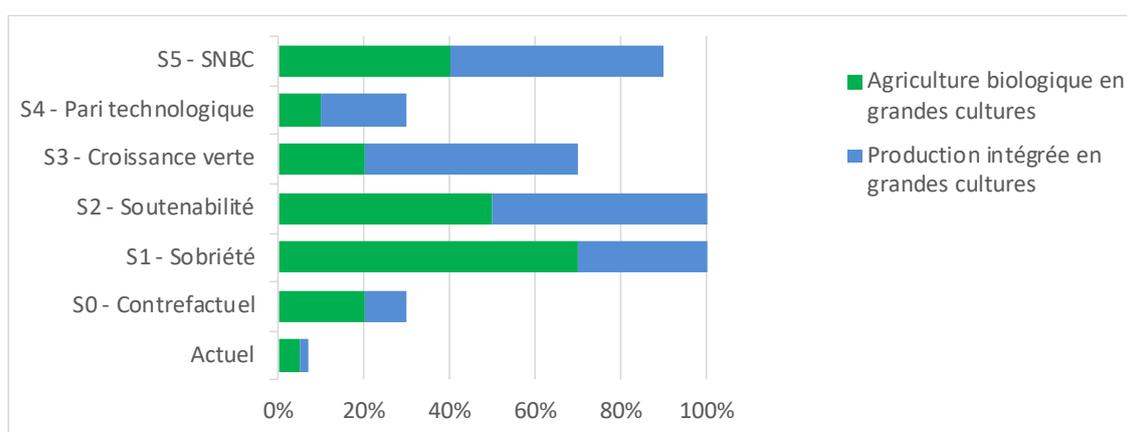
Modes de cultures	S0 - Contrefactuel	S1 - Génération frugale	S2 - Coopérations territoriales	S3 - Technologies Vertes	S4 - Pari réparateur	S5 – « SNBC »
Conventionnel / Raisonné	70%	0%	0%	30%	70%	10%
Agribio	20%	70%	50%	20%	10%	40%
Intégré	10%	30%	50%	50%	20%	50%

- Conventionnel / raisonné : niveau d'intrants et de rendements proches des niveaux actuels, avec prise en compte des effets du changement climatique et de progrès modérés en termes de pratique, de technique et de génétique.
- Agribio : désigne tous les systèmes à très bas niveau d'intrants de synthèse. Il s'agit essentiellement de l'agriculture biologique, ou encore de systèmes qui cherchent à s'en rapprocher mais utilisent de faibles apports d'azote minéral. Les systèmes « agribio » de 2050 sont des systèmes améliorés grâce à la recherche et l'innovation, comparés aux systèmes bio actuels.
- Intégré : désigne les systèmes qui visent un compromis entre la productivité et les impacts environnementaux, tels que la production intégrée, ou l'agriculture de conservation des sols. Les itinéraires techniques modélisés ici s'appuient sur les meilleures références existantes en agriculture de conservation.

	Modes de cultures (exemple : céréales et oléoprotéagineux)	S0 - Contrefactuel	S1 - Génération frugale	S2 - Coopérations territoriales	S3 - Technologie s Vertes	S4 - Pari réparateur	S5 – « SNBC »
Conventionnel		35%	0%	0%	15%	35%	35%
Raisonné		35%	0%	0%	15%	35%	35%
Abrivio	CI	17%	50%	19%	17%	10%	17%
	CI + haies	1%	8%	8%	1%	0%	1%
	CI + agroforesterie	1%	2%	8%	1%	0%	1%
	CI + CA + haies	1%	10%	15%	1%	0%	1%
Intégré	CI	9%	21%	20%	43%	20%	9%
	CI + haies	0%	3%	8%	2%	0%	0%
	CI + agroforesterie	1%	1%	7%	4%	0%	1%
	CI + CA + haies	0%	4%	15%	2%	0%	0%
TOTAL		100%	100%	100%	100%	100%	100%

Le tableau indique la proportion de la sole céréalière exploitée selon les systèmes décrits avec plusieurs options possibles :

- CI : cultures intermédiaires, sur la totalité des surfaces
- CA : cultures associées, jusqu'à 25 % des surfaces
- Haies : jusqu'à 75% des surfaces
- Agroforesterie : jusqu'à 14% des surfaces



▪ Systèmes d'élevage ruminants

- Prod. lait : production de lait en litre par vache laitière par an
 - Temps de pâturage : proportion de temps de pâturage dans l'année

- **Systèmes d'élevage : porcs**

- Durée : durée engraissement
- IC : indice de consommation
- Surf : surface par animal présent (porc à l'engraissement), m2
- Ext : surface en extérieur, m2

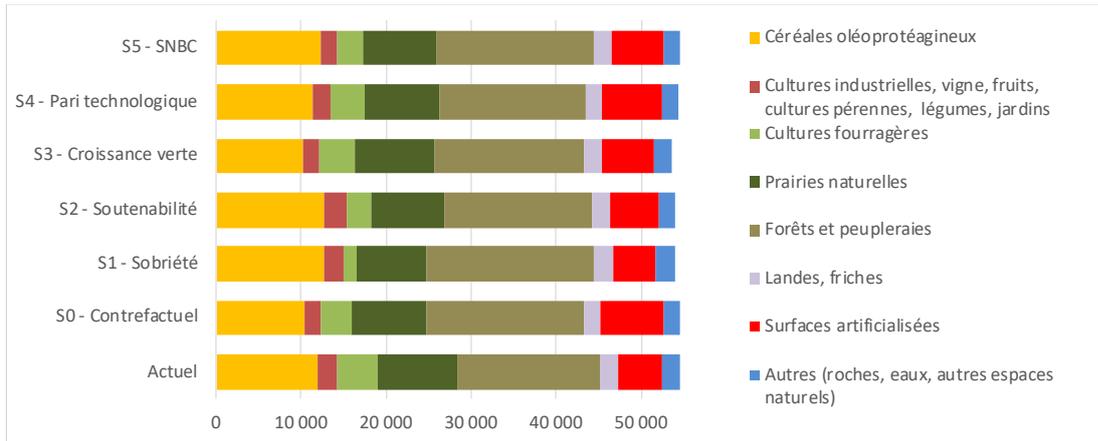
- **Systèmes d'élevage : poules pondeuses**

	Œufs / bat / ext	S0 - Contrefactuel	S1 - Génération frugale	S2 - Coopération s territoriales	S3 - Technologies Vertes	S4 - Pari réparateur	S5 – « SNBC »
Poules standard en cage	293 / 13 / 0	32%	4%	8%	20%	38%	8%
Poules standard au sol	257 / 9 / 0	48%	6%	12%	30%	58%	12%
Poules plein air standard	259 / 9 / 4	2%	0%	7%	7%	1%	7%
Poules label	263 / 9 / 5	3%	0%	13%	13%	1%	13%
Poules bio	257 / 9 / 5	15%	90%	60%	30%	2%	60%
TOTAL		100%	100%	100%	100%	100%	100%

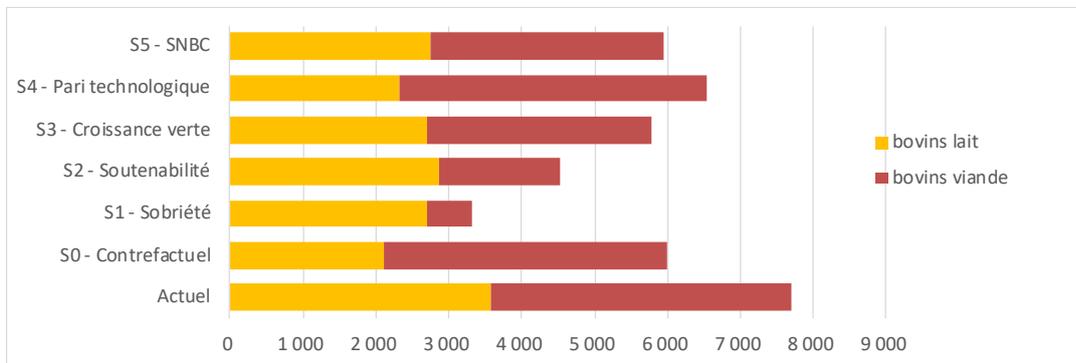
- Œufs : nombre d'œufs par poule pondeuse et par an
- Bat : surface de bâtiment en nombre de poules par m2
- Ext : surface extérieure en m2 par poule

11.2.2. Hypothèses d'évolution

- Utilisation du territoire : surfaces (milliers d'hectares)

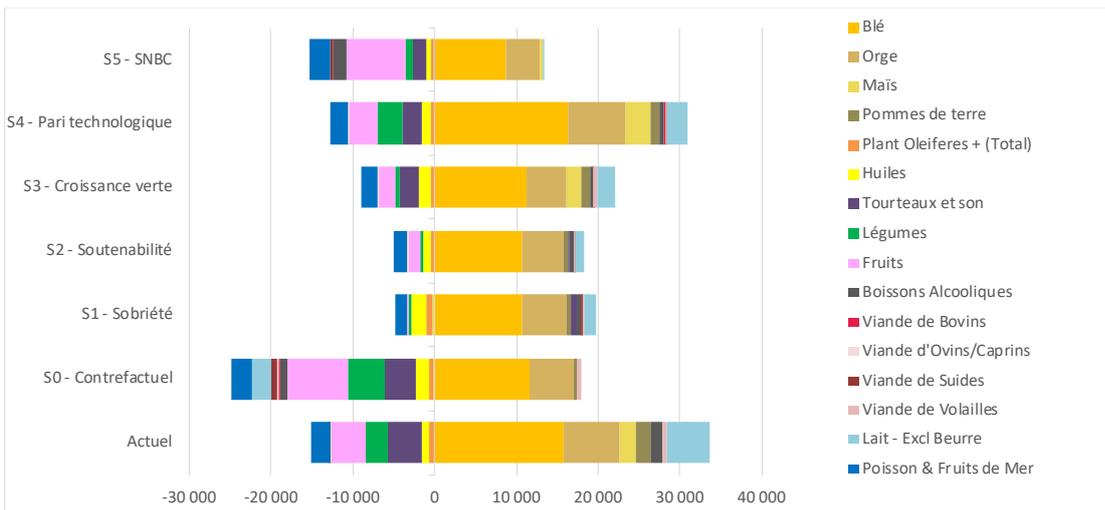


- Cheptels bovins (milliers de têtes)

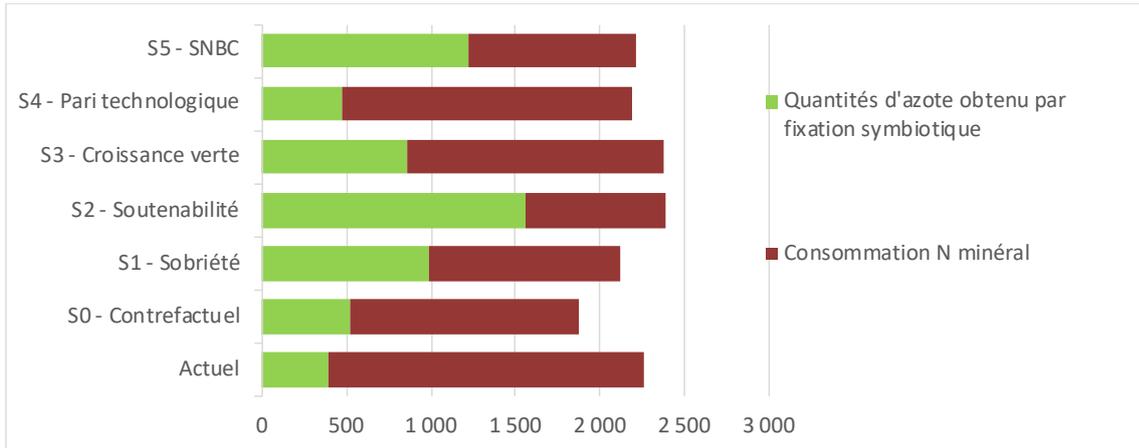


11.2.3. Principaux résultats comparés

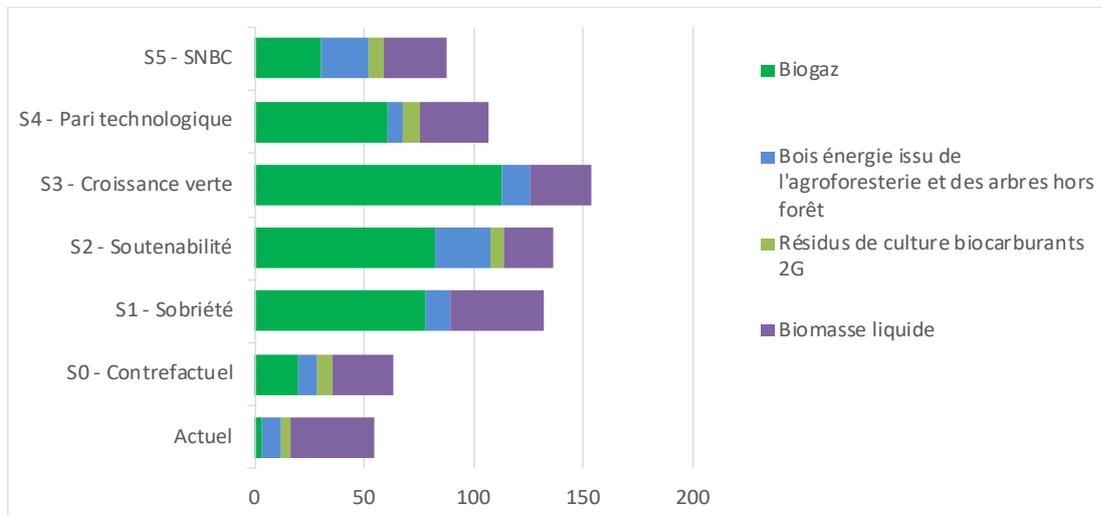
- Solde net des principales productions (milliers de tonnes)



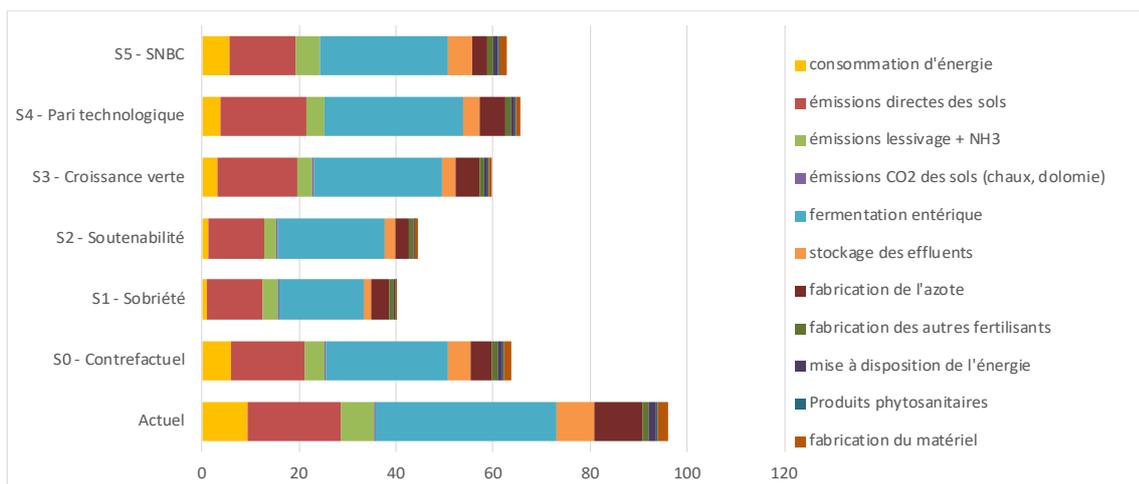
▪ Sources primaires d'azote (milliers de tonnes)



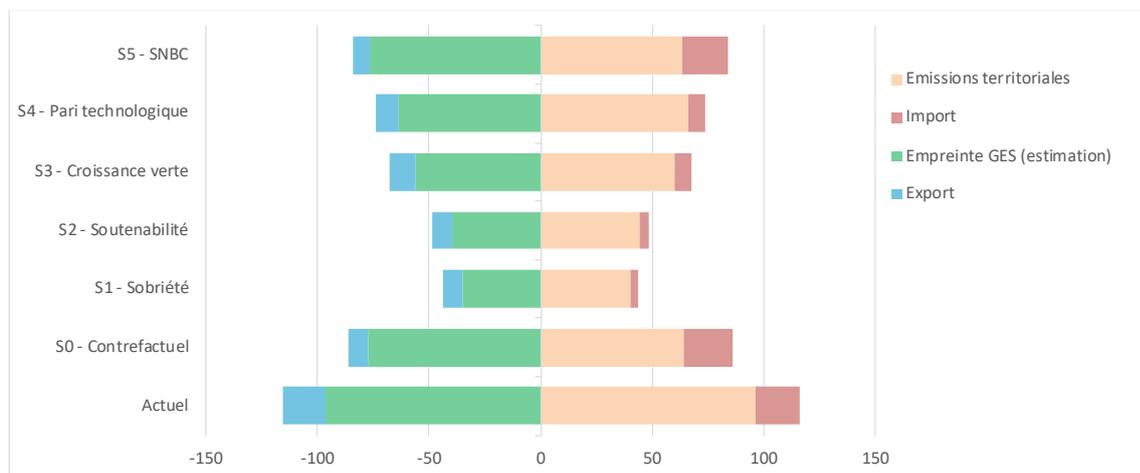
▪ Production de bioénergies d'origine agricole (TWh énergie primaire)



▪ Émissions de gaz à effet de serre et empreinte (millions de tonnes équivalent-CO2, format CLIMAGRI hors aliments importés et bâtiments/matériels) [équivalent GES pour CH4 et N2O : AR4]



- Empreinte carbone (millions de tonnes équivalent-CO2, format CLIMAGRI hors bâtiments/matériels) ; les importations d'aliments pour animaux sont comprises dans le contenu carbone des imports



11.3. La transformation agroalimentaire

Disponibilités intérieures de produits transformés, parts d'origines domestique et importée

	Production	Importations	Exportations	Disponibilité intérieure	Disponibilité intérieure d'origine domestique	Disponibilité intérieure d'origine importée
10.11ZTransformation et conservation de la viande de boucherie	4 930 936	1 237 946	1 142 120	5 026 762	4 018 012	1 008 750
10.12ZTransformation et conservation de la viande de volaille	1 166 138	355 953	502 219	1 019 872	781 367	238 505
10.13APréparation industrielle de produits à base de viande	1 136 222	74 298	216 370	994 150	933 132	61 018
10.13BCharcuterie	888 644	84 446	37 664	935 427	854 249	81 178
10.20Z Poissons et crustacés	531 725	1 081 009	322 540	1 290 194	425 382	864 811
10.31ZTransformation et conservation de pommes de terre	463 455	752 553	368 481	847 528	323 017	524 511
10.32ZPréparation de jus de fruits et légumes	1 099 098	1 659 261	225 450	2 532 909	1 009 265	1 523 644
10.39AAutre transformation et conservation de légumes	1 692 304	574 137	1 190 993	1 075 448	803 014	272 433
10.39BTransformation et conservation de fruits	614 866	611 753	172 994	1 053 625	528 149	525 476
10.41AFabrication d'huiles et graisses brutes	4 178 762	4 911 305	1 110 486	7 979 582	3 668 265	4 311 317
10.41BFabrication d'huiles et graisses raffinées	165 111	761 215	344 299	582 027	103 742	478 284
10.42ZFabrication de margarine et graisses comestibles similaires	62 894	255 765	24 479	294 180	58 063	236 118
10.51AFabrication de lait liquide et de produits frais	7 877 646	636 106	1 680 622	6 833 130	6 322 592	510 538
10.51BFabrication de beurre	408 872	184 258	91 012	502 119	346 134	155 985
10.51CFabrication de fromage	2 012 015	290 162	681 866	1 620 310	1 416 090	204 221
10.51DFabrication d'autres produits laitiers	1 814 725	543 189	833 482	1 524 432	1 173 251	351 181
10.52ZFabrication de glaces et sorbets	420 384	-	-	420 384	420 384	-
10.61AMEunerie	5 676 858	464 559	1 334 482	4 806 934	4 443 320	363 614
1061A sauf 10.61.40	4 339 907	376 791	815 064	3 901 634	3 589 954	311 680
10.61.40 Son	1 336 951	87 768	519 418	905 300	849 530	55 770
10.61BAutres activités du travail des grains	781 183	775 910	550 742	1 006 352	504 880	501 472
10.61.1 Riz	152 046	495 003	51 892	595 158	139 852	455 305
10.61.31, 10.61.32.40 Blé	263 273	71 068	115 784	218 556	172 100	46 456
Autres céréales	365 864	209 839	383 066	192 638	122 423	70 215
10.62ZFabrication de produits amylacés	5 006 473	862 322	1 282 855	4 585 940	3 912 112	673 828
10.71AFabrication industrielle de pain et de pâtisserie fraîche	2 500 760	153 976	351 518	2 303 218	2 169 631	133 588
10.72ZFabrication de biscuits, biscottes et pâtisseries de conservation	589 063	487 042	282 431	793 674	434 459	359 214
10.73ZFabrication de pâtes alimentaires	393 281	326 283	64 918	654 645	357 799	296 846
10.81ZFabrication de sucre	6 280 979	714 201	2 569 664	4 425 516	3 973 675	451 841
10.82ZFabrication de cacao, chocolat et de produits de confiserie	966 725	729 655	613 206	1 083 174	617 275	465 900
10.83ZTransformation du thé et du café	209 522	156 665	40 646	325 541	186 265	139 276
10.84Z Fabrication de condiments et assaisonnements	496 328	435 731	206 451	725 608	386 392	339 216
10.85Z Fabrication de plats préparés	1 119 468	1 049 205	627 953	1 540 720	795 319	745 401
10.86Z Fabrication d'aliments homogénéisés et diététiques	349 568	50 785	144 145	256 209	223 708	32 500
10.89Z Fabrication d'autres produits alimentaires n.c.a.	969 282	347 759	487 025	830 015	610 853	219 162
10.91ZFabrication d'aliments pour animaux de ferme	21 994 026	29 275	145 621	21 877 680	21 848 599	29 081
10.92ZFabrication d'aliments pour animaux de compagnie	1 897 230	338 701	923 079	1 312 852	1 113 980	198 872
11.01ZProduction de boissons alcooliques distillées	185 030	37 248	62 635	159 643	132 891	26 752
11.02AFabrication de vins effervescents	317 812	13 747	160 046	171 512	164 401	7 111
11.02BVinification	3 471 073	567 758	1 305 998	2 732 832	2 348 665	384 167
11.03ZFabrication de cidre et de vins de fruits	149 320	16 353	27 701	137 971	124 352	13 619
11.04ZProduction d'autres boissons fermentées non distillées	47 987	30 977	16 403	62 561	38 019	24 542
11.05ZFabrication de bière	2 164 143	844 259	658 910	2 349 493	1 690 146	659 347
11.06ZFabrication de malt	1 002 831	24 989	1 209 698	- 181 878	- 177 456	4 422
11.07A Industrie des eaux de table	11 186 917	389 452	2 262 072	9 314 297	9 000 946	313 351
11.07B Production de boissons rafraîchissantes	5 364 570	688 351	912 720	5 140 201	4 555 646	584 555
Total Industries Agro-Alimentaires	102 584 225	23 548 558	25 185 995	100 946 788	82 100 369	18 846 419
<i>Les importations sont majoritaires dans les disponibilités intérieures</i>						
<i>Les importations sont proches de la production domestique dans les disponibilités intérieures</i>						

Les mix énergétiques retenus pour l'évaluation des consommations d'énergie

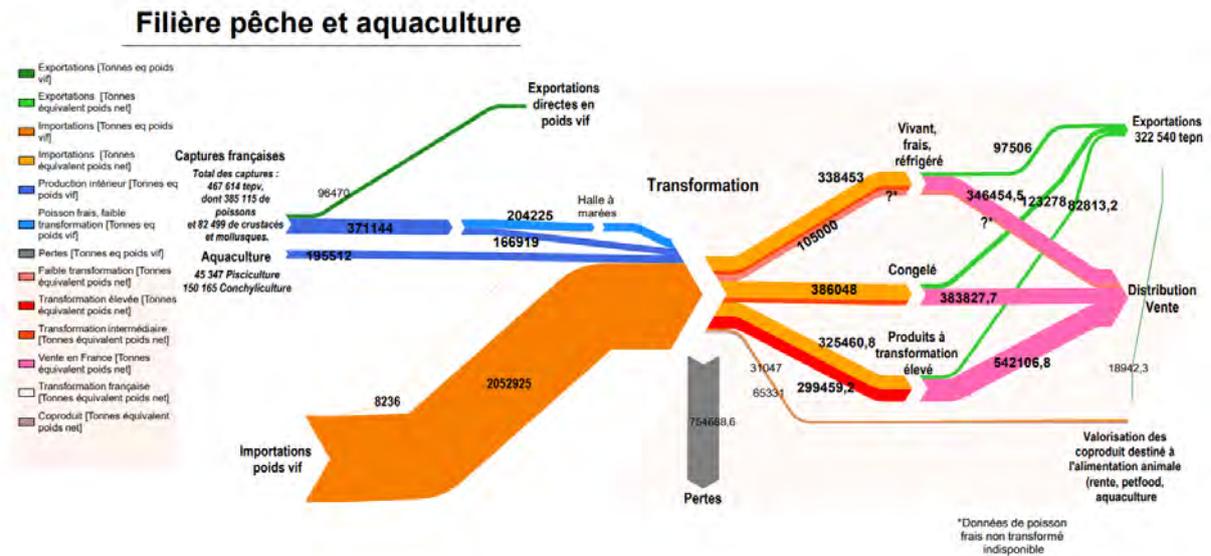
		Mix énergétiques (%)						
Actuel		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité
12	Lait	2,0%	1,5%	51,4%	2,8%	5,9%	3,5%	32,8%
13	Sucre	-3,5%	22,5%	68,3%	0,0%	8,4%	0,4%	3,8%
14	Industries alimentaires	5,8%	5,1%	45,1%	2,1%	2,2%	3,5%	36,2%
S0		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité
12	Lait	2,2%		43,9%	0,0%	0,0%	11,4%	42,5%
13	Sucre	-3,9%		73,3%	0,0%	3,6%	10,8%	16,2%
14	Industries alimentaires	6,1%		42,7%	0,5%	0,5%	6,8%	43,5%
S1		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité
12	Lait	2,5%		10,4%			46,0%	41,2%
13	Sucre	-4,1%		11,5%			75,2%	17,3%
14	Industries alimentaires	6,4%		16,8%			34,5%	42,3%
S2		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité
12	Lait	2,6%		11,8%			48,4%	37,2%
13	Sucre	-4,0%		11,2%			74,4%	18,4%
14	Industries alimentaires	7,6%		16,8%			33,9%	41,6%
S3		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité
12	Lait	2,8%		29,3%			7,2%	60,7%
13	Sucre	-5,0%		23,3%			6,3%	75,3%
14	Industries alimentaires	8,2%		24,4%			4,5%	62,9%
S4		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité
12	Lait	2,5%		34,6%	0,0%	0,0%	8,8%	54,0%
13	Sucre	-4,5%		46,5%	0,0%	2,1%	8,7%	47,2%
14	Industries alimentaires	7,1%		31,5%	0,3%	0,3%	5,5%	55,3%
S5		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité
12	Lait	4,5%		15,0%			10,5%	70,0%
13	Sucre	2,5%		32,5%			15,0%	50,0%
14	Industries alimentaires	4,5%		15,0%			10,5%	70,0%

Les consommations d'énergies unitaires en 2050

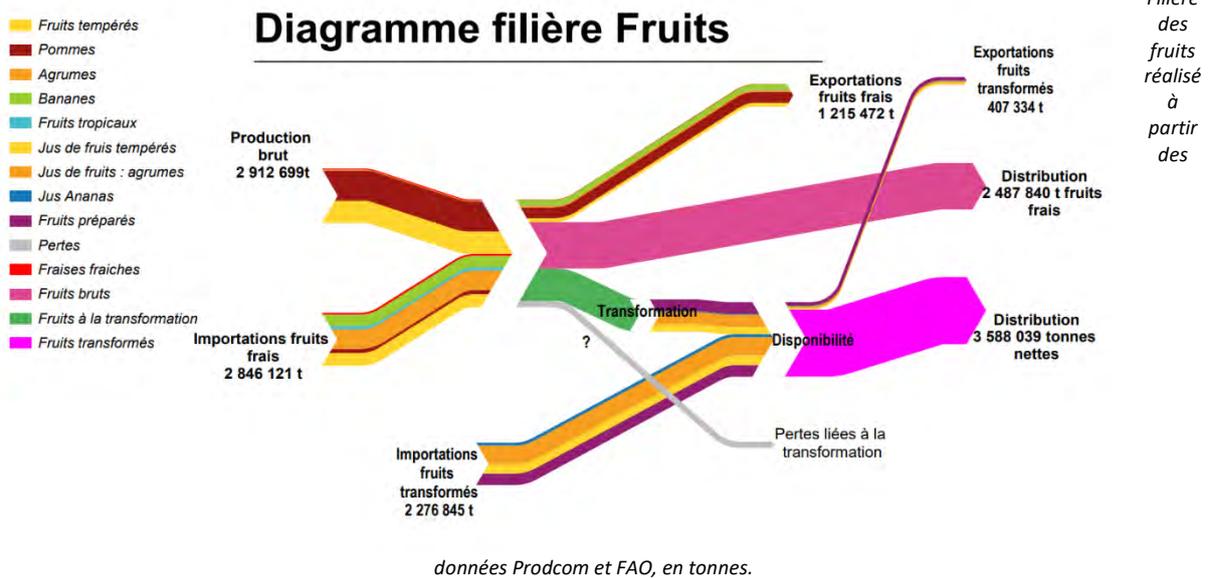
		Consommations énergétiques (kWh/kg)							
Actuel		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité	Total
12	Lait	0,0173	0,0125	0,4359	0,0235	0,0504	0,0299	0,2786	0,848
13	Sucre	-0,0593	0,3784	1,1474	0,0005	0,1417	0,0065	0,0646	1,680
14	Industries alimentaires	0,0293	0,0259	0,2293	0,0108	0,0112	0,0179	0,1841	0,509
S0		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité	Total
12	Lait	0,0173		0,3465	-	-	0,0902	0,3352	0,789
13	Sucre	-0,0593		1,1296	-	0,0552	0,1659	0,2493	1,541
14	Industries alimentaires	0,0298		0,2097	0,0022	0,0024	0,0335	0,2138	0,491
S1		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité	Total
12	Lait	0,0173		0,0734	-	-	0,3250	0,2908	0,707
13	Sucre	-0,0593		0,1689	-	-	1,0995	0,2536	1,463
14	Industries alimentaires	0,0301		0,0785	-	-	0,1617	0,1982	0,469
S2		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité	Total
12	Lait	0,0173		0,0798	-	-	0,3288	0,2529	0,679
13	Sucre	-0,0593		0,1652	-	-	1,0982	0,2723	1,476
14	Industries alimentaires	0,0296		0,0659	-	-	0,1326	0,1628	0,391
S3		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité	Total
12	Lait	0,0173		0,1800	-	-	0,0444	0,3730	0,615
13	Sucre	-0,0593		0,2772	-	-	0,0752	0,8950	1,188
14	Industries alimentaires	0,0296		0,0887	-	-	0,0164	0,2282	0,363
S4		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité	Total
12	Lait	0,0173		0,2392	-	-	0,0609	0,3732	0,691
13	Sucre	-0,0593		0,6125	-	0,0276	0,1146	0,6207	1,316
14	Industries alimentaires	0,0295		0,1304	0,0012	0,0013	0,0230	0,2290	0,414
S5		Vapeur	Charbon	Gaz nat	GFL	Autres PP	Biomasse	Electricité	Total
12	Lait	0,0281		0,0938			0,0657	0,4379	0,626
13	Sucre	0,0310		0,4026			0,1858	0,6194	1,239
14	Industries alimentaires	0,0169		0,0563			0,0394	0,2626	0,375

Diagrammes de flux pour différentes filières de la production (ou capture) jusqu'aux points de vente

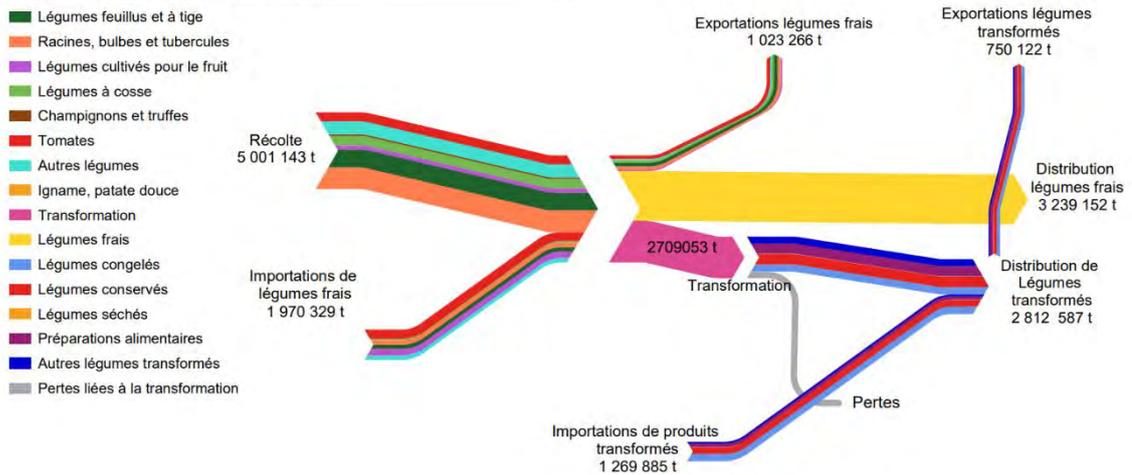
Ophélie Edener, Mémoire de fin d'étude, *Quelles pistes de réduction des émissions liées aux transports de biens alimentaires ? Travail sur les échanges commerciaux de produits alimentaires transformés*, 2021.



Filière pêche et aquaculture, réalisé à partir des données FAO-FISH-STATJ, en tonnes

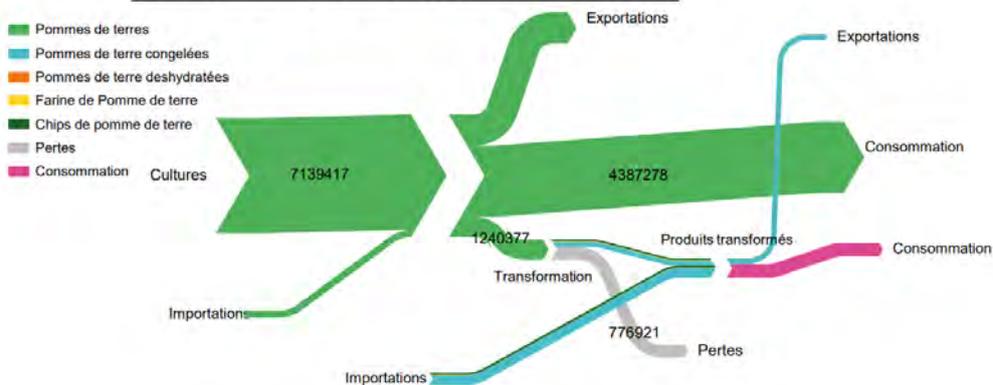


Filière légumes



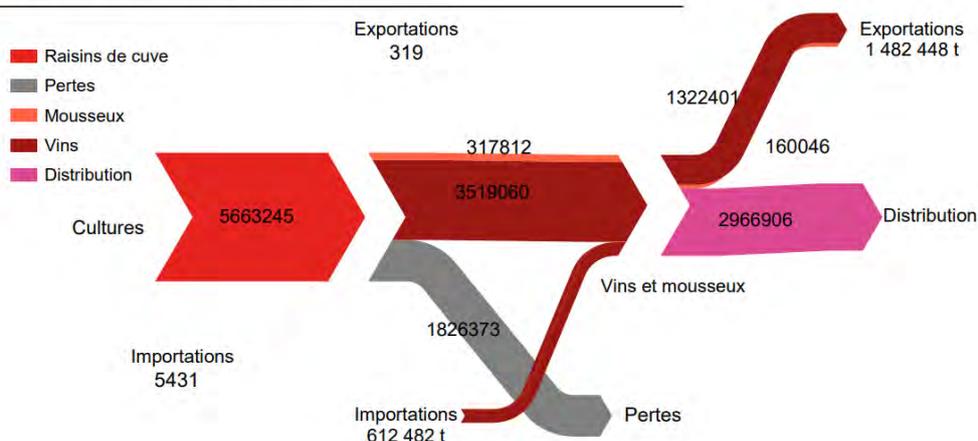
Filière des légumes, réalisé à partir des données Prodcop, FAO, en tonnes

Filière des Pommes de terre



Filière de la pomme de terre, réalisé à partir des données FAO et Prodcop, en tonnes.

Filière du vin



Filière du vin et des mousseux réalisés à partir des données Agreste, FAO et Prodcop, en tonnes

11.4. Trafic de marchandises longue distance

Classes de produits utilisées pour la présentation des résultats

	FRUITS ET LEGUMES
S - C0120	Pomme de terre
S - C0150	Autres légumes frais ou congelés
S - C0436	Légumes et pommes de terre transformés
S - C0142	Agrumes
S - C0143	Bananes fraîches ou congelées
S - C0144	Pommes frais ou congelés
S - C0140	Autres fruits frais ou congelés
S - C0438	Fruits transformés dont jus
	VIANDES
S - C0414	Viande de boucherie et volaille
S - C0415	Viande porcine
S - C0416	Charcuterie
S - C0417	Viande de volaille
S - C0418	Viande bovine
S - C0419	Viande autres (ovins...)
S - C0190	Lait brut
S - C0451	Lait de consommation
S - C0452	Produits laitiers : beurre, fromage, ultra-frais, caséine, lactose, poudres et concentrés
S - C0484	Œufs
S - C0420	Poissons et crustacés
S - C0422	Préparations et conserves à base de poissons, crustacés, mollusques
	CEREALES
S - C0111	Froment, épeautre, méteil
S - C0112	Orge
S - C0115	Maïs
S - C0468	Son
S - C0461	Riz
S - C0119	Autres céréales
S - C0462	Farine et semoule
S - C0463	Amidon et fécule, glucose, fructose et maltose
	TOURTEAUX et OLEAGINEUX
S - C0179	Oléagineux
S - C0443	Tourteaux
S - C0178	Fourrages foin paille
S - C0445	Huiles animales et végétales
S - C9000	Produits agricoles divers
S - C0437	Déchets industriels alimentaires de végétaux et sous-produits pour nourrir les animaux
	SUCRES et EXCITANTS
S - C0130	Betterave à sucre
S - C0481	Sucre de canne et betterave
S - C0482	Café, cacao, thé
	DIVERS
S - C0485	Préparations alimentaires diverses
S - C0489	Pâtes alimentaires
S - C9100	Produits non agricoles
	BOISSONS
S - C0473	Boissons alcooliques
S - C0471	Vins
S - C0472	Bière
S - C0474	Eaux
S - C0475	Autres boissons non alcoolisées

11.4.1.1. Code NST - Transport en gros

C0111	Froment, épeautre, méteil	111	Froment, épeautre, méteil
C0111	Froment, épeautre, méteil	117	Sorgho, millet et autres céréales
C0112	Orge	117	Sorgho, millet et autres céréales
C0112	Orge	112	Orge
C0115	Maïs	117	Sorgho, millet et autres céréales
C0115	Maïs	115	Maïs
C0119	Autres céréales	116	Riz
C0119	Autres céréales	114	Avoine
C0119	Autres céréales	113	Seigle
C0119	Autres céréales	117	Sorgho, millet et autres céréales
C0120	Pomme de terre	12	Pommes de terre
C0130	Betterave à sucre	13	Betteraves à sucre
C0140	Autres fruits frais ou congelés	141	Cannes à sucre
C0178	Fourrages foin paille	178	Paille, foin, balles de céréales - Plantes fourragères
C0179	Oléagineux	179	Graines et fruits oléagineux
C0443	Tourteaux	443	Tourteaux, résidus d'extraction d'huiles végétales
C0462	Farine et semoule	462	Farines, semoules, gruaux de céréales
C0468	Son	468	Sons et autres résidus de meunerie - Aliments pour animaux - farines de luzerne
C0474	Eaux	474	Eaux minérales et gazeuses, non sucrées, ni aromatisées
C0481	Sucre de canne et betterave	481	Sucre de canne, betterave, érable - saccharose pur - mélasses - sucreries sans cacao

11.4.1.2. Transport frigorifique

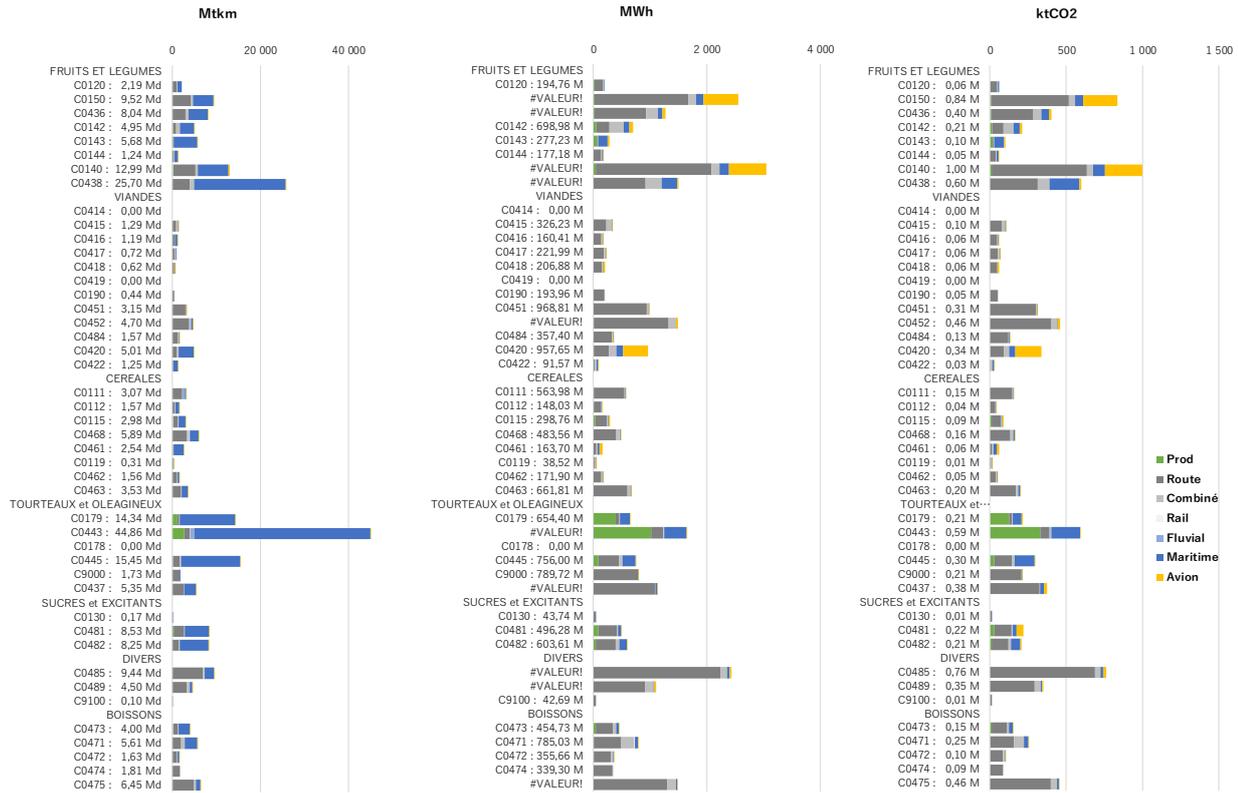
C0142	Agrumes
C0452	Produits laitiers : beure, fromage, ultra-frais, caséine, lactose, poudres et concentrés
C0414	Viande de boucherie et volaille
C0140	Autres fruits frais ou congelés
C0422	Préparations et conserves à base de poissons, crustacés, mollusques
C9000	Produits agricoles divers
C0436	Légumes et pommes de terre transformés
C0420	Poissons et crustacés
C0144	Pommes frais ou congelés
C0143	Bananes fraîches ou congelées
C0150	Autres légumes frais ou congelés

Trafic de marchandises par région d'origine, classes de produit et scénario (Mtkm)

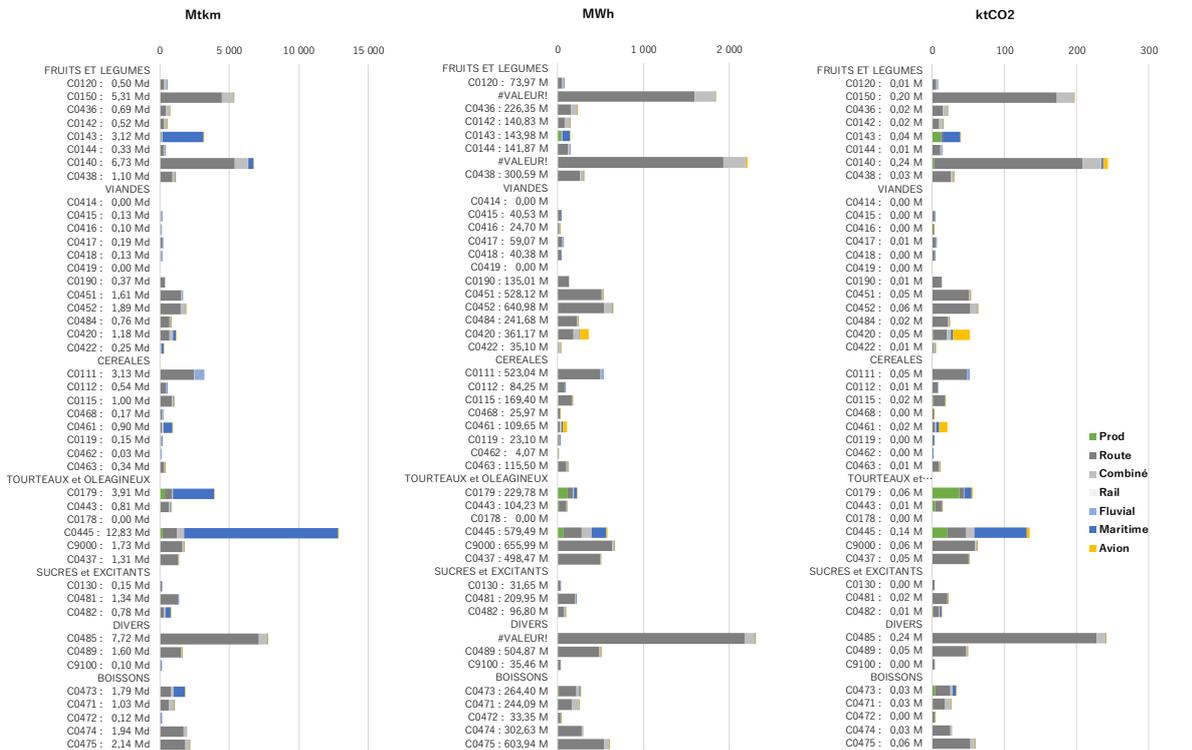
S0	Mtkm	FRANCE	EUROPE	13-MD-CEI	14-MD-ASIE	15-MD-AfNordM	15-MD-AfSubSah	15-MD-AmCent	15-MD-AmSud	16-MD-AmNord	Total
S0 - G0001	FRUITS ET LEGUMES	10 789	11 831	212	10 444	3 856	7 460	6 135	16 324	3 246	70 295
S0 - G0002	VIANDES	8 511	7 719	25	1 318	55	487	75	1 188	318	19 696
S0 - G0003	CEREALES	6 391	3 759	643	2 913	71	383	114	1 012	279	15 566
S0 - G0004	TOURTEAUX et OLEAGINEUX	4 578	8 229	6 827	18 076	428	355	750	42 878	3 775	85 896
S0 - G0005	SUCRES et EXCITANTS	2 257	2 559	74	3 848	207	2 951	1 767	2 703	580	16 946
S0 - G0006	BOISSONS	5 748	7 561	151	877	121	1 002	677	1 625	1 733	19 497
S0 - G0007	DIVERS	9 207	4 120	16	1 887	96	38	96	126	184	15 770
TOTAL	Mtkm	47 481	45 778	7 949	39 363	4 833	12 676	9 613	65 856	10 116	243 664
S1	Mtkm	FRANCE	EUROPE	13-MD-CEI	14-MD-ASIE	15-MD-AfNordM	15-MD-AfSubSah	15-MD-AmCent	15-MD-AmSud	16-MD-AmNord	Total
S1 - G0001	FRUITS ET LEGUMES	12 948	1 937	20	7	110	1 951	502	634	187	18 295
S1 - G0002	VIANDES	5 263	1 115	22	12	29	153	0	2	14	6 611
S1 - G0003	CEREALES	5 058	390	3	297	57	254	0	12	27	6 098
S1 - G0004	TOURTEAUX et OLEAGINEUX	2 465	2 987	2 782	6 130	279	174	374	2 191	1 661	19 043
S1 - G0005	SUCRES et EXCITANTS	1 620	250	0	1	2	394	-	-	0	2 267
S1 - G0006	BOISSONS	5 453	813	41	78	1	56	178	65	334	7 019
S1 - G0007	DIVERS	10 997	146	-	-	0	-	-	-	-	11 143
TOTAL	Mtkm	43 804	7 639	2 867	6 524	479	2 982	1 053	2 905	2 223	70 477
S2	Mtkm	FRANCE	EUROPE	13-MD-CEI	14-MD-ASIE	15-MD-AfNordM	15-MD-AfSubSah	15-MD-AmCent	15-MD-AmSud	16-MD-AmNord	Total
S2 - G0001	FRUITS ET LEGUMES	13 645	3 327	29	26	198	2 024	581	1 308	190	21 328
S2 - G0002	VIANDES	5 938	1 758	22	240	29	323	41	221	16	8 589
S2 - G0003	CEREALES	4 609	494	3	459	59	272	0	29	35	5 961
S2 - G0004	TOURTEAUX et OLEAGINEUX	2 419	2 841	2 303	413	211	71	0	0	65	8 324
S2 - G0005	SUCRES et EXCITANTS	1 639	351	0	1	3	503	-	-	0	2 497
S2 - G0006	BOISSONS	5 587	1 086	38	17	3	52	58	11	201	7 052
S2 - G0007	DIVERS	10 488	520	0	0	2	-	-	-	-	11 010
TOTAL	Mtkm	44 327	10 376	2 395	1 157	505	3 244	680	1 569	506	64 759
S3	Mtkm	FRANCE	EUROPE	13-MD-CEI	14-MD-ASIE	15-MD-AfNordM	15-MD-AfSubSah	15-MD-AmCent	15-MD-AmSud	16-MD-AmNord	Total
S3 - G0001	FRUITS ET LEGUMES	11 436	5 289	74	947	841	3 670	2 499	3 462	573	28 793
S3 - G0002	VIANDES	6 950	3 329	22	615	33	411	64	469	141	12 034
S3 - G0003	CEREALES	5 782	1 373	9	356	59	272	0	176	70	8 098
S3 - G0004	TOURTEAUX et OLEAGINEUX	3 761	5 956	6 186	9 234	267	224	344	33 523	3 054	62 550
S3 - G0005	SUCRES et EXCITANTS	1 628	770	0	1	6	411	-	-	0	2 815
S3 - G0006	BOISSONS	5 581	2 093	43	104	24	295	187	479	375	9 180
S3 - G0007	DIVERS	9 162	1 388	0	0	9	-	-	-	-	10 559
TOTAL	Mtkm	44 299	20 199	6 334	11 257	1 239	5 284	3 094	38 110	4 214	134 029
S4	Mtkm	FRANCE	EUROPE	13-MD-CEI	14-MD-ASIE	15-MD-AfNordM	15-MD-AfSubSah	15-MD-AmCent	15-MD-AmSud	16-MD-AmNord	Total
S4 - G0001	FRUITS ET LEGUMES	11 086	6 974	130	6 080	2 146	5 265	4 333	10 043	1 780	47 837
S4 - G0002	VIANDES	9 295	5 038	24	1 044	46	534	73	847	251	17 153
S4 - G0003	CEREALES	7 214	1 713	14	2 055	66	340	67	238	161	11 867
S4 - G0004	TOURTEAUX et OLEAGINEUX	4 495	6 587	6 158	10 134	295	263	473	35 738	3 377	67 520
S4 - G0005	SUCRES et EXCITANTS	2 079	1 630	44	1 890	111	1 205	956	1 466	379	9 760
S4 - G0006	BOISSONS	6 054	4 172	73	393	68	428	265	692	895	13 040
S4 - G0007	DIVERS	9 773	2 741	11	1 230	63	25	62	81	121	14 105
TOTAL	Mtkm	49 996	28 855	6 453	22 826	2 796	8 060	6 229	49 104	6 963	181 283
S5	Mtkm	FRANCE	EUROPE	13-MD-CEI	14-MD-ASIE	15-MD-AfNordM	15-MD-AfSubSah	15-MD-AmCent	15-MD-AmSud	16-MD-AmNord	Total
S5 - G0001	FRUITS ET LEGUMES	13 421	7 996	115	6 240	2 168	4 974	3 523	8 924	1 824	49 185
S5 - G0002	VIANDES	9 209	6 871	28	1 341	54	493	81	1 268	342	19 688
S5 - G0003	CEREALES	5 977	2 070	237	2 398	69	372	62	492	193	11 869
S5 - G0004	TOURTEAUX et OLEAGINEUX	4 087	6 004	5 982	5 953	255	193	285	32 133	2 931	57 824
S5 - G0005	SUCRES et EXCITANTS	2 311	1 859	13	1 505	88	2 324	593	1 239	70	10 000
S5 - G0006	BOISSONS	5 625	5 401	121	492	87	1 031	476	1 705	1 326	16 263
S5 - G0007	DIVERS	11 474	2 403	10	1 102	56	23	60	79	112	15 318
TOTAL	Mtkm	52 103	32 603	6 506	19 031	2 777	9 411	5 080	45 839	6 797	180 147

Trafic de marchandises, consommations d'énergie et émissions de CO2 par mode et par produit

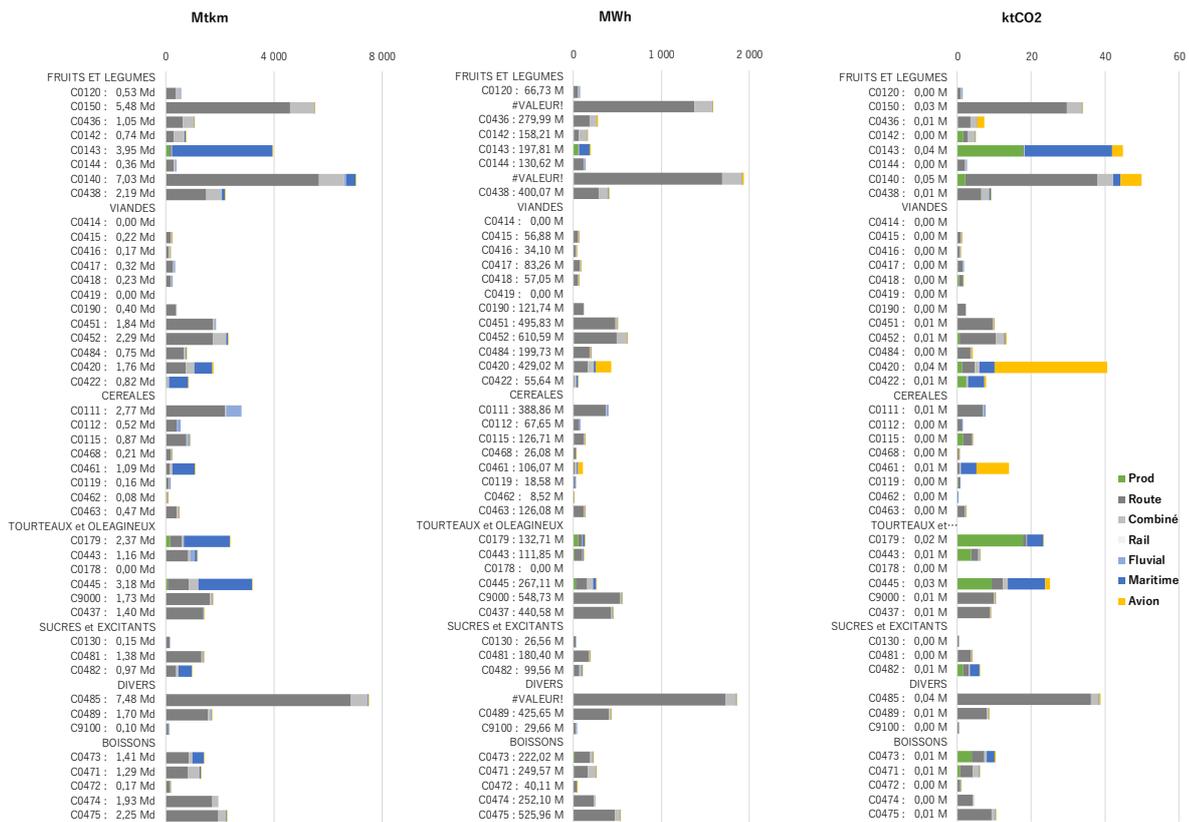
Scénario tendanciel



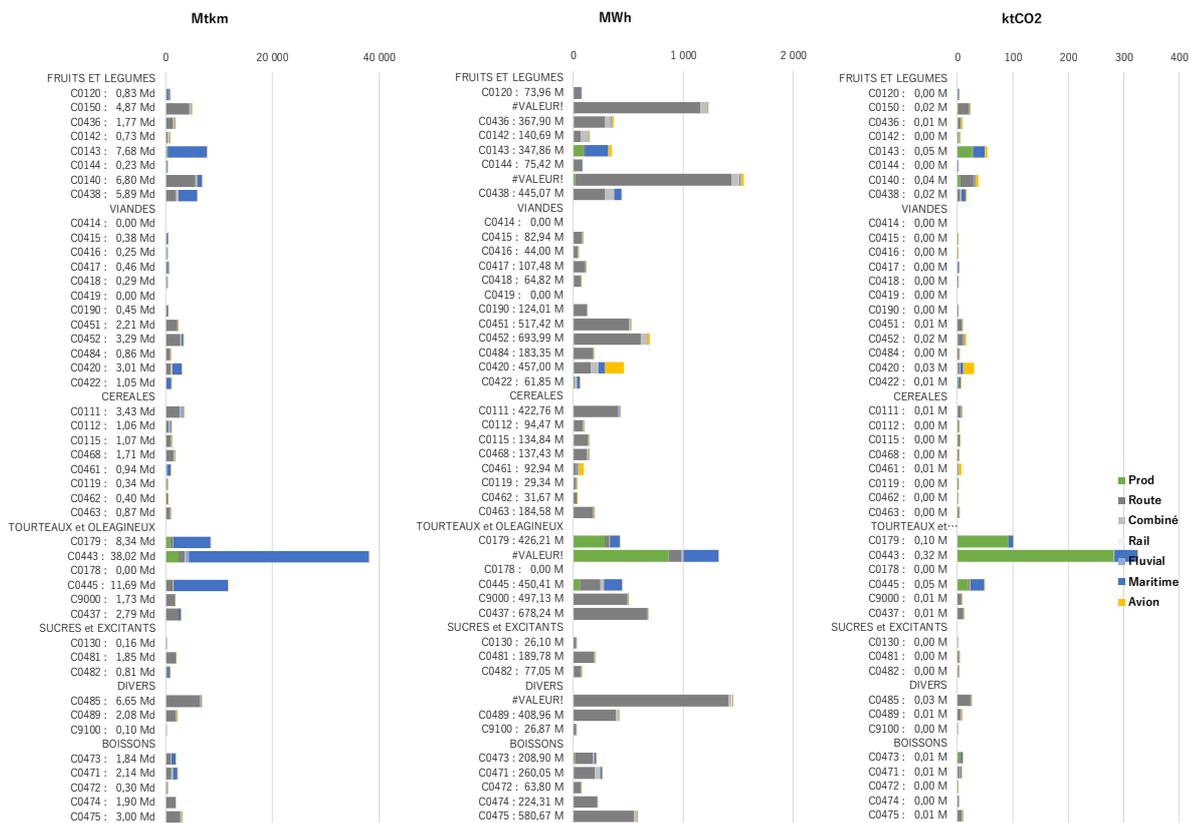
Scénario Génération frugale



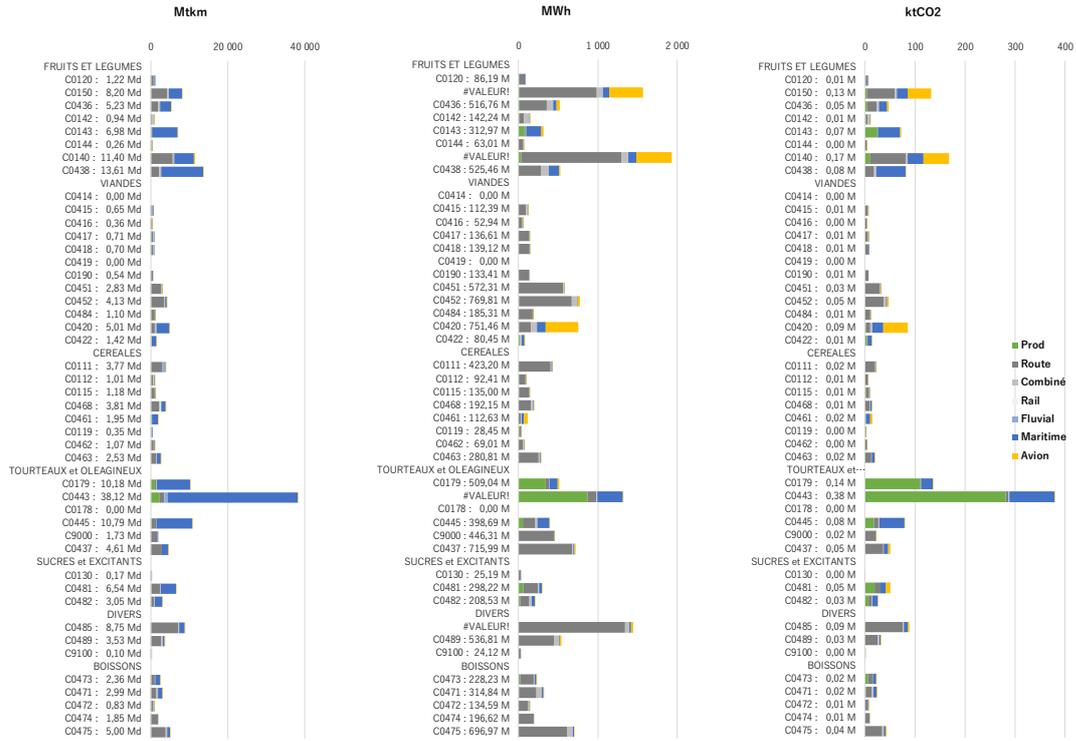
Scénario Cooperations territoriales



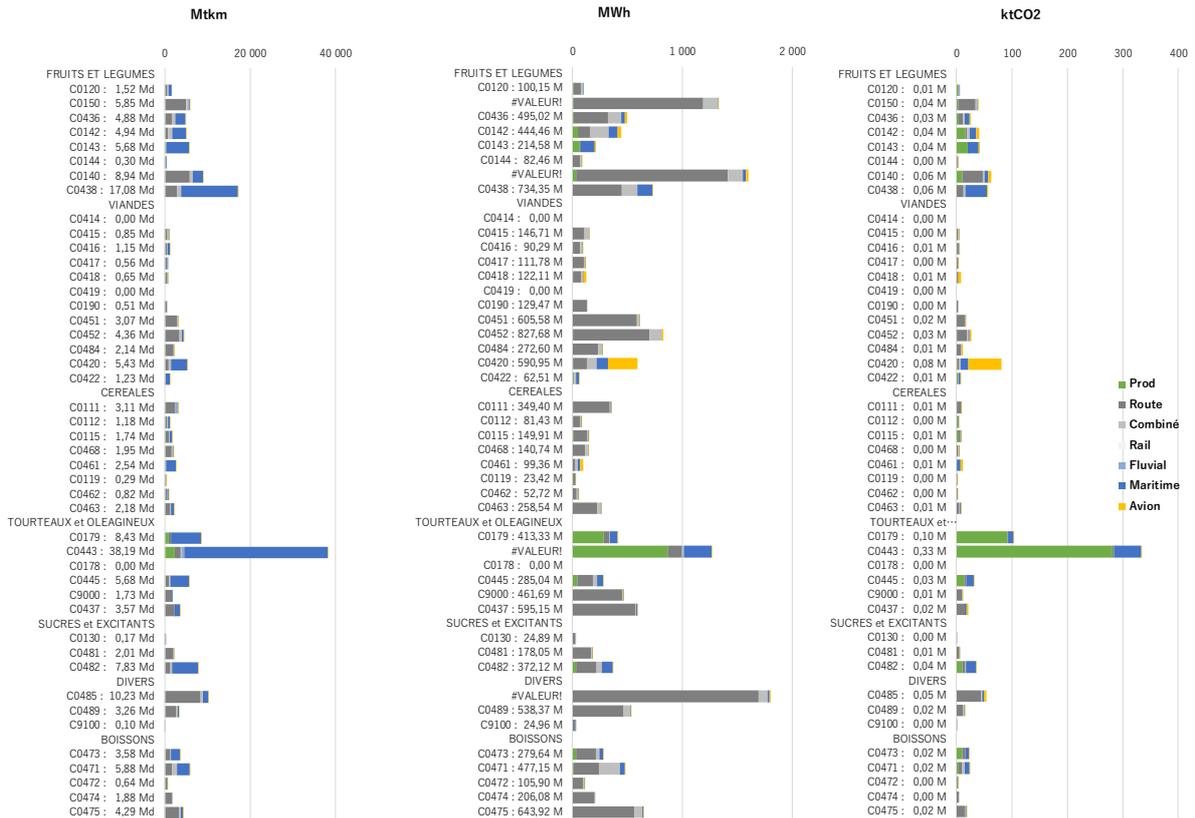
Scénario Technologies vertes



Scénario Pari réparateur



Scénario SNBC



11.5. Hypothèses sur les facteurs d'émissions par source d'énergie

Source : PER Ademe

	Facteurs d'émission des réseaux [gCO2e/kWh]			
	Scénario	2015	2030	2050
Électricité	TEND	43,4	24,3	11,9
	S1	43,4	12,9	10,2
	S2	43,4	14,6	9,2
	S3	43,4	13,9	6,7
	S4	43,4	14,4	5,7
Gaz réseau	TEND	205,2	190,4	166,4
	S1	205,2	175,8	34,7
	S2	205,2	176,2	33,6
	S3	205,2	176,1	28,9
	S4	205,2	183,1	114,5
Chaleur réseau	TEND	116	65,4	24,2
	S1	116	45,8	3,2
	S2	116	40,6	3,3
	S3	116	36,4	2,8
	S4	116	58,6	13,2

Facteurs d'émission à la combustion (kgCO2e/kWh)	
Charbon	0,3440
Pétrole brut	0,2665
GPL	0,2294
Essence	0,2635
Gazole	0,2710
FOD	0,2710
Jet	0,2603
Fioul lourd	0,2836
Électricité	0,0000
Chaleur	0,0000
H2	0,0000
Gas Naturel	0,2052
Biogaz	0,0000
Biomasse solide	0,0000
Solaire Thermique	0,0000
PAC Gé	0,0000
PAC Aéro	0,0000

Facteur d'émission retenus pour les carburants liquides pour la mobilité des ménages

Facteur d'émission (gCO2e/kWh)	PES 2014	PES 2050
Essence	303	152
Gazole	320	160

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources. Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



SIMULATION PROSPECTIVE DU SYSTEME ALIMENTAIRE ET DE SON EMPREINTE CARBONE (SISAE)

Le projet SISAE évalue l'impact environnemental de différentes visions du système alimentaire en 2050 dans l'objectif de la neutralité carbone.

Les scénarios combinent des éléments propres à chacun :

1. une combinaison de régimes alimentaires,
2. des systèmes de production agricoles,
3. un niveau d'importations induisant une demande en terres à l'étranger et une demande de transport de marchandises,
4. Des modes d'approvisionnement et de restauration.

Cinq scénarios dont un scénario tendanciel sont communs à l'exercice *Transitions 2050* de l'Ademe. Un scénario reprend le scénario SNBC-AMS 2019.

