

Faculté des bioingénieurs

Bilan énergétique du secteur agricole wallon : estimation pour 2019 et analyse prospective à l'horizon 2050

Auteur	Hugo Baufayt
Promoteur	Prof. Philippe Baret (UCL/ELI/ELIA)
Lecteurs	Prof. Mathieu Javaux (UCL/ELI/ELIE) Prof. Francesco Contino (UCL/IMMC/TFL)

Année Académique	2021 – 2022
------------------	-------------

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de Bioingénieur en sciences et technologies de l'environnement

Remerciements

Je tenais à remercier chaudement,

Mon promoteur, Mr Philippe Baret, qui m'a soutenu tout au long de l'année et plus particulièrement lors des jours qui ont précédé la remise de mon mémoire. Il a pu m'aiguiller et me donner des pistes de réflexion qui m'ont permis d'avancer d'un pas rapide lors de l'élaboration de mon travail, lorsque je me perdais et que je n'étais pas clair dans mes idées. Je pense aussi aux nombreux schémas qu'il réalisait durant nos réunions qui m'ont offert un point de vue global sur le secteur agricole et les interactions au sein de celui-ci.

Le chercheur Anton Riera qui m'a consacré du temps et donnée des explications sur certains points du secteur agricole que je ne comprenais pas.

Mes lecteurs, les professeurs Mathieu Javaux et Fransesco Contino, qui ont accepté de donner de leur temps pour lire et évaluer mon mémoire.

Ma grand-mère qui a relu mon mémoire dans son intégralité et m'a prodigué de précieux conseils pour rendre ce travail plus clair.

Ma famille, mes amis et ma copine qui m'ont soutenu tout au long du travail, que cela soit par leurs petites attentions, encouragements ou par leur écoute attentive de mes idées et du déroulement de mon travail.

Et enfin, la Faculté des Bioingénieurs de l'UCLouvain avec laquelle j'ai probablement passé mes meilleures années de jeune personne, pendant ou en dehors des cours. Faculté vers qui je me suis tourné sans trop me poser de question à la fin de mes années secondaires, car j'aimais bien les sciences et que j'étais persuadé que c'était en me dirigeant vers ces études que je grandirais et développerais les compétences nécessaires pour réaliser les projets de vie qui me tiennent à cœur.

Hugo Baufayt

Table des matières

Remerciements.....	I
Table des matières	II
Table des figures.....	V
Table des tableaux.....	VI
Liste des abréviations	IX
Introduction.....	1
1 État de l'art	3
1.1 L'énergie et l'agriculture mondiale, intimement liées.....	3
1.2 L'énergie dans l'agriculture européenne et perspectives de changements.....	4
1.3 L'énergie dans l'agriculture belge et wallonne.....	6
1.4 Les outils et données disponibles dans la littérature.....	7
1.4.1 Les outils de calculs d'émissions de GES et d'utilisation d'énergie	7
1.4.2 Disponibilité des données.....	8
1.5 Caractérisation de l'agriculture wallonne.....	9
1.5.1 Productions végétales	9
1.5.2 Productions animales.....	11
Objectifs.....	13
2 Méthodologie	15
2.1 L'énergie dans le processus agricole	15
2.2 Frontières du système et productions considérées	15
2.3 Productions végétales.....	16
2.3.1 Schéma global.....	16
2.3.2 Inputs A, B et C.....	17
2.3.3 Généralités sur les calculateurs D, E, F et G	18
2.3.4 Calculateur D.....	18
2.3.5 Particularités pour le calculateur E.....	21
2.4 Productions animales	24
2.4.1 Schéma global.....	24
2.4.2 Transformation (b) et input J.....	25
2.4.3 Calculateurs L, M et N	27
2.4.4 Transformation (a) et input I.....	28
2.4.5 Calculateur K, inputs A et P et valeurs d'énergies (1), (1.1), (1.2) et (2).....	30
2.5 Type de carburant	32

2.6	Production d'énergie	33
3	Scénarios d'évolution du secteur.....	35
3.1.1	Scénarios pris en compte	35
3.2	Association des scénarios.....	40
4	Résultats.....	41
4.1	Bilan énergétique actuel (2019)	41
4.1.1	Productions végétales	41
4.1.2	Productions animales.....	43
4.1.3	Total des consommations	44
4.1.4	Productions du secteur	45
4.1.5	Répartition par type de carburant et résultats généraux	45
4.2	Scénario BAU	46
4.2.1	Productions végétales	46
4.2.2	Productions animales.....	47
4.2.3	Total des consommations	48
4.2.4	Potentiel de productions du secteur	48
4.2.5	Répartition par type de carburant et résultats généraux	48
4.3	Scénarios de Transition 1 et 2	50
4.3.1	Productions végétales	50
4.3.2	Productions animales.....	51
4.3.3	Total des consommations	53
4.3.4	Répartition par type de carburant et résultats généraux	53
4.4	G1 et G2	54
4.4.1	Productions végétales	54
4.4.2	Productions animales.....	54
4.4.3	Total des consommations	56
4.4.4	Répartition par type de carburant et résultats généraux	56
4.5	Résultats globaux.....	57
5	Discussion	59
5.1	Comparaison des résultats avec d'autres sources de données.....	59
5.1.1	Comparaison avec les données de l'ICEDD	59
5.1.2	Comparaison avec les références PLANETE 2010	60
5.1.3	Comparaison avec les données Eurostat.....	60
5.2	Exploration du poste azote	60

5.3	Importance des scénarios.....	61
5.3.1	Productions végétales	61
5.3.2	Productions animales et consommations totales.....	64
5.4	Comparaison des facteurs énergétiques pour l'alimentation animale avec la littérature.....	67
5.5	Utilisation d'énergie directe et indirecte	68
5.6	Marge d'erreur sur les données utilisées	69
	Conclusion	71
	Bibliographie.....	72
	Annexes.....	77
	A - Calculateurs d'émissions de GES par l'agriculture.....	77
	B – Données et références utilisées pour les calculs des productions végétales	78
	C - Résultats de consommations énergétiques par type de carburant pour T2 et G1 ...	81
	D – Résultats rapport scénarios productions animales et consommations	82

Table des figures

Figure 1 - Répartition indicative de la consommation finale d'énergie dans les pays à PIB faible/élevé, du total mondial et des émissions correspondantes de GES de la filière agroalimentaire (E. H. Sims, 2011)	4
Figure 2 - Répartition de la consommation d'énergie des secteurs agricoles et sylvicoles par type de carburant, UE-27 2019, chiffres Eurostat (%)	5
Figure 3 - Répartition de la consommation d'énergie par type de carburant, Belgique 2019, chiffres Eurostat (%)	6
Figure 4 - Importance des différentes cultures en Wallonie (% de la SAU)	9
Figure 5 - Frontières simplifiées du système étudié, inspirées de l'outil DECIDE (Van Stappen, 2021)	15
Figure 6 - Schéma des calculs des productions végétales, Baufayt 2022	16
Figure 7 - Schéma du calcul des consommations du poste « engrais azotés »	19
Figure 8 - Schéma des calculs effectués pour obtenir les Eipour l'atelier PPP pour certaines cultures, Baufayt 2022	23
Figure 9 - Schéma des calculs des productions animales, Baufayt 2022	24
Figure 10 - Transformation (b) pour le calcul des Mi des cheptels, Baufayt 2022	25
Figure 11 - Transformation (a) pour les besoins en nourriture en ha pour les cheptels avicoles et porcins	29
Figure 12 - Transformation (a) pour les besoins en nourriture en ha pour les cheptels bovins	30
Figure 13 - Détails du calculateur K	31
Figure 14 - Rapport des productions végétales et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019, filière céréales	62
Figure 15 - Rapport des productions végétales et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019, filières pommes de terre et légumière	62
Figure 16	63
Figure 17 - Intensité énergétique des filières céréales, pommes de terre et légumière	63
Figure 18 - Intensité énergétique des productions de viande bovine en fonction des scénarios	64
Figure 19 - Intensité énergétique des productions de lait bovin en fonction des scénarios	64
Figure 20 - Intensité énergétique des productions avicoles et porcines en fonction des scénarios	65
Figure 21 - Rapport des productions bovines viandeuses et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019	82
Figure 22 - Rapport des productions bovines laitières et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019	83
Figure 23 - Rapport des productions bovines porcines et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019	84
Figure 24 - Rapport des productions avicoles viandeuses (poulets de chair) et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019	85
Figure 25 - Rapport des productions d'œufs par les poules pondeuses et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019	86

Table des tableaux

Tableau 1 - Cheptels belges et wallons, 2019	11
Tableau 2 - Cultures considérées dans le cadre de l'étude	17
Tableau 3 - Rendements agricoles par type d'agriculture pour les catégories de cultures céréales, pommes de terre et légumes, 2019	18
Tableau 4 - Transformation de la typologie de la culture de pommes de terre et de betteraves pour le travail	19
Tableau 5 - Répartition des cultures étudiées selon les quatre pratiques agricoles (input B), 2019	20
Tableau 6 - Utilisation d'azote synthétique par type de pratique et culture, 2019	21
Tableau 7 - Cultures dont la consommation en pesticides par hectare est connue	22
Tableau 8 - Groupes de substances actives dans les PPP et leur valeur énergétique associée	22
Tableau 9 - Part (%) des quantités de substances actives vendues par catégorie, 2019 ..	23
Tableau 10 - Quantité de PPP utilisée par hectare des cultures concernées, 2019	23
Tableau 11 - Calculs des M_i cheptels porcins et poulets de chair, 2019	26
Tableau 12 - Calculs des M_i cheptels poules pondeuses, 2019	26
Tableau 13 - Calculs des M_i cheptels bovins viande, 2019	26
Tableau 14 - Calculs des M_i cheptels bovins lait, 2019	27
Tableau 15 - Productions animales étudiées et fiches correspondantes	28
Tableau 16 - Valeurs de consommations énergétiques par poste et total pour différentes productions animales sans l'alimentation animale [MJ/unité], RefPLANETE2010 et référentiel GEST'IM +	28
Tableau 17 - Répartition de l'alimentation des cheptels porcins et avicoles, (Antier, Riera and Baret, 2019)	29
Tableau 18 - Besoins des cheptels bovins et leur suite par type de nourriture en ha et par an (Petel, Antier, et Baret 2019a; 2019b)	30
Tableau 19 - Transformation des consommations d'énergie des postes (colonnes) en type de carburant (lignes)	32
Tableau 20 - Hypothèses et changements retenus, filière céréales, rapport SYTRA (Riera et al. 2020)	36
Tableau 21 - Hypothèses et changements retenus, filière légumière (Riera et al. 2020) ..	37
Tableau 22 - Hypothèses et changements retenus, filière pommes de terre (Antier, Petel and Baret, 2019b)	38
Tableau 23 - Hypothèses et résultats retenus, cheptels bovins lait (Petel, Antier and Baret, 2019a)	38
Tableau 24 - Hypothèses et changements retenus cheptels bovins viande (Petel, Antier and Baret, 2019b)	38
Tableau 25 - Hypothèses et changements retenus, cheptels avicoles (poules pondeuses et de chair), porcins et bovins	39
Tableau 26 - Scénarios retenus pour les calculs	40
Tableau 27 - Calcul de l'énergie des productions végétales considérées comme mobiles pour les scénarios, 2019	41

Tableau 28 - Calcul et résultats de l'énergie des productions végétales considérées comme fixes pour les scénarios	42
Tableau 29 - Distribution de l'énergie par catégorie de culture, 2019	43
Tableau 30 - Répartition de l'énergie totale des productions végétales par poste de consommation, 2019	43
Tableau 31 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, 2019	44
Tableau 32 - Répartition de l'énergie totale des productions animales par poste de consommation, 2019	44
Tableau 33 - Consommation totale du secteur agricole wallon et répartition entre productions animales et végétales, 2019	45
Tableau 34 - Répartition du total des consommations du secteur agricole wallon par poste, 2019	45
Tableau 35 - Répartition du total des consommations et des productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, 2019	45
Tableau 36 - Calcul de l'énergie des productions végétales, BAU	46
Tableau 37 - Répartition de l'énergie totale des productions végétales par poste de consommation, BAU	46
Tableau 38 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, BAU	47
Tableau 39 - Répartition de l'énergie totale des productions animales par poste de consommation, BAU	47
Tableau 40 - Consommation totale du secteur agricole wallon et répartition entre productions animales et végétales, BAU	48
Tableau 41 - Répartition du total des consommations du secteur agricole wallon par postes généraux, BAU	48
Tableau 42 - Répartition du total des consommations et des productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, BAU	49
Tableau 43 - Calcul de l'énergie des productions végétales, T1	50
Tableau 44 - Répartition de l'énergie totale des productions végétales par poste de consommation, T1 et T2	50
Tableau 45 - Calcul de l'énergie des productions végétales, T2	51
Tableau 46 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, T1	51
Tableau 47 - Calcul et résultats de l'énergie consommée par les productions animales, T2	52
Tableau 48 - Répartition de l'énergie totale des productions animales par poste de consommation, T1 et T2	52
Tableau 49 - Consommation totale du secteur agricole wallon et répartition entre productions animales et végétales, T1 et T2	53
Tableau 50 - Répartition du total des consommations du secteur agricole wallon par postes généraux, T1 et T2	53
Tableau 51 - Répartition du total des consommations et des productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, T1	53

Tableau 52 - Répartition de l'énergie totale des productions végétales par poste de consommation, T2	54
Tableau 53 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, G1	54
Tableau 54 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, G2	55
Tableau 55 - Répartition de l'énergie totale des productions animales par poste de consommation, G1 et G2.....	55
Tableau 56 - Consommation totale du secteur agricole wallon et répartition entre productions animales et végétales, G1 et G2	56
Tableau 57 - Répartition du total des consommations du secteur agricole wallon par poste, G1 et G2.....	56
Tableau 58 - Consommations et productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, G2	56
Tableau 59 - Résultats globaux du travail	57
Tableau 60 - Comparaison des consommations calculées (sans l'alimentation animale importée) et des données de l'ICEDD	59
Tableau 61 - Répartition des consommations entre productions végétales et animales selon les différents scénarios évalués	66
Tableau 62 - Importance des bovins dans les consommations des scénarios (%)	67
Tableau 63 - Répartition de l'énergie sous forme d'énergie directe et indirecte selon les scénarios.....	69
Tableau 64 - Principaux calculateurs d'émissions de GES par l'agriculture et la forêt classés par pays, adapté de la revue des calculateurs GES pour l'agriculture et la forêt, 2012....	77
Tableau 65 - Correspondance des données utilisées pour les calculs avec les différentes références, tous scénarios confondus	78
Tableau 66 - Références des valeurs disponibles des $\bar{E}_i$ par atelier Paris et AI, 2022 [MJ/ha]	79
Tableau 67 - Références des valeurs disponibles des $\bar{E}_i$ par atelier, référentiel GEST'IM [MJ/ha].....	79
Tableau 68 - Valeurs de consommations énergétiques par atelier et catégorie de culture, guide méthodologique ClimAgri, France (ADEME, 2014)	80
Tableau 69 - Consommations et productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, T2	81
Tableau 70 - Consommations et productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, G1	81

Liste des abréviations

AB	Agriculture Biologique
AC	Agriculture Conventionnelle
ACR	Agriculture Conventionnelle Raisonnée
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AEI	Agriculture Ecologiquement Intensive
ASBL	Association sans but lucratif
PV	Photovoltaïque
BAU	Business As Usual
CH ₄	Méthane
FAO	Food and Agriculture Organization
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat
GWh	Gigawattheure
Ha	Hectare
ICEDD	Institut de Conseil et d'Etudes en développement Durable
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
J	Joule
Kg	Kilogramme
kT	Kilotonne = 10 ³ tonnes
L	Litre
MJ	Mégajoule = 10 ³ joules
N	Azote
N ₂ O	Protoxyde d'azote
NH ₃	Ammoniac
PPP	Produits phytopharmaceutiques
SAU	Surface Agricole Utile
SPW	Service Public de Wallonie
TJ	Térajoule = 10 ¹² joules
Toe	Tonne of oil equivalent
UE	Union Européenne
Vv	Viande vive

Introduction

L'agriculture européenne avec ses productions animales et agricoles est largement dépendante des énergies fossiles. Il existe une corrélation entre la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'agriculture, dont l'une des principales raisons est la dépendance aux combustibles fossiles. Cela suggère qu'une réduction de l'utilisation de l'énergie fossile diminuerait également les émissions de gaz à effet de serre et qu'un passage à des sources renouvelables peut dissocier l'utilisation de l'énergie des GES. La dépendance du secteur à l'égard des énergies fossiles fait peser toute une série de contraintes supplémentaires sur l'environnement, la pollution des écosystèmes naturels et l'épuisement des sols (Paris *et al.*, 2022).

D'un autre côté, le secteur agricole est également un producteur d'énergie grâce à des ressources renouvelables telles que le biogaz, la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie solaire.

Avec le "Green Deal" européen, la Commission a proposé un ensemble de mesures visant à faire de l'Europe le premier continent neutre sur le plan climatique d'ici 2050. Pour atteindre ces objectifs, les pays de l'UE sont tenus de fixer leurs propres objectifs nationaux indicatifs en matière d'efficacité énergétique (Eurostat, 2021).

Les études des consommations énergétiques liées à l'agriculture sont généralement axées sur les utilisations et les apports énergétiques directs à la ferme et ne comprennent pas de données sur les apports énergétiques indirects. Eurostat et les agences nationales reconnaissent que les données sur l'utilisation de l'énergie qui existent sont généralement de moindre qualité et sous-déclarées par rapport à d'autres statistiques du secteur de l'énergie en raison d'erreurs et de données incomplètes. Plusieurs études ont souligné l'importance d'inclure à la fois les intrants énergétiques directs et indirects afin de fournir une image plus complète de l'utilisation sur l'utilisation réelle de l'énergie dans l'agriculture. En effet, lorsque les utilisations indirectes de l'énergie sont incluses, la proportion estimée de l'utilisation de l'énergie en agriculture augmente de manière significative (Paris *et al.*, 2022).

Cette étude porte sur l'utilisation d'énergie par le secteur agricole wallon, en prenant en compte les utilisations directes et indirectes de celle-ci. Pour cela, elle commence par s'intéresser à l'utilisation de l'énergie par l'agriculture dans le monde, en Europe et en Belgique. Elle analyse également le secteur en Wallonie (productions végétales et animales). La méthodologie d'un outil de calcul construit est ensuite abordée. Cet outil permet de dresser le bilan énergétique du secteur pour l'année 2019 et explore différentes possibilités d'évolution (scénarios) du secteur à l'horizon 2050 qui impactent son utilisation totale d'énergie. Les résultats sont disposés, ensuite discutés et mis en perspective.

1 État de l'art

1.1 L'énergie et l'agriculture mondiale, intimement liées

Le secteur alimentaire mondial dépend d'apports énergétiques. Les flux d'énergie naturelle provenant du soleil et les diverses formes d'énergie chimique stockées biologiquement dans les sols et les océans sont essentiels à la croissance des plantes pour produire des aliments, du poisson et des fibres (E. H. Sims, 2011). Dans la production agricole, l'homme utilise des apports énergétiques externes pour soutenir les processus naturels de sorte qu'une surface donnée de terre ou d'eau produise davantage qu'elle ne le ferait naturellement. Les pratiques permettant d'obtenir cette production accrue varient considérablement d'un pays et d'une culture à l'autre, mais elles impliquent toutes l'ajout d'une énergie auxiliaire au système naturel.

Cette énergie auxiliaire peut prendre de nombreuses formes : le travail humain, la traction animale, les combustibles fossiles, l'énergie renouvelable ou encore l'énergie mécanique obtenue par la consommation de combustibles liquides dans les moteurs. La satisfaction de la demande alimentaire globale d'une population mondiale croissante au cours du siècle dernier a été obtenue, du moins en partie, par l'augmentation significative de l'utilisation de combustibles fossiles à toutes les étapes du système alimentaire.

Les produits pétroliers alimentent les bateaux, tracteurs et autres véhicules qui transportent les aliments. Le gaz naturel est utilisé pour fabriquer des engrais chimiques et des pesticides.

Les combustibles fossiles sont eux brûlés pour produire de l'électricité et de la chaleur pour la transformation, la réfrigération et le conditionnement.

Toute une série de combustibles est utilisée pour la cuisson. Cette dépendance accrue des systèmes alimentaires mondiaux à l'égard des combustibles fossiles est aujourd'hui source d'inquiétude en raison de leur impact sur le système climatique.

Le secteur alimentaire représente environ 30 % de la consommation totale d'énergie dans le monde en 2011. Les pays au PIB élevé utilisent une plus grande partie de cette énergie pour la transformation et le transport tandis que pour ceux au PIB faible, c'est la cuisson qui en consomme le plus. Le secteur alimentaire contribue à plus de 20 % des émissions totales de GES. La production agricole primaire (production animale, agricole et halieutique) représente environ un cinquième de la demande totale d'énergie alimentaire, mais produit environ deux tiers des émissions de GES du secteur (Figure 1) (E. H. Sims, 2011). Ce sont les apports énergétiques à cette production agricole primaire auxquels ce travail s'intéresse.

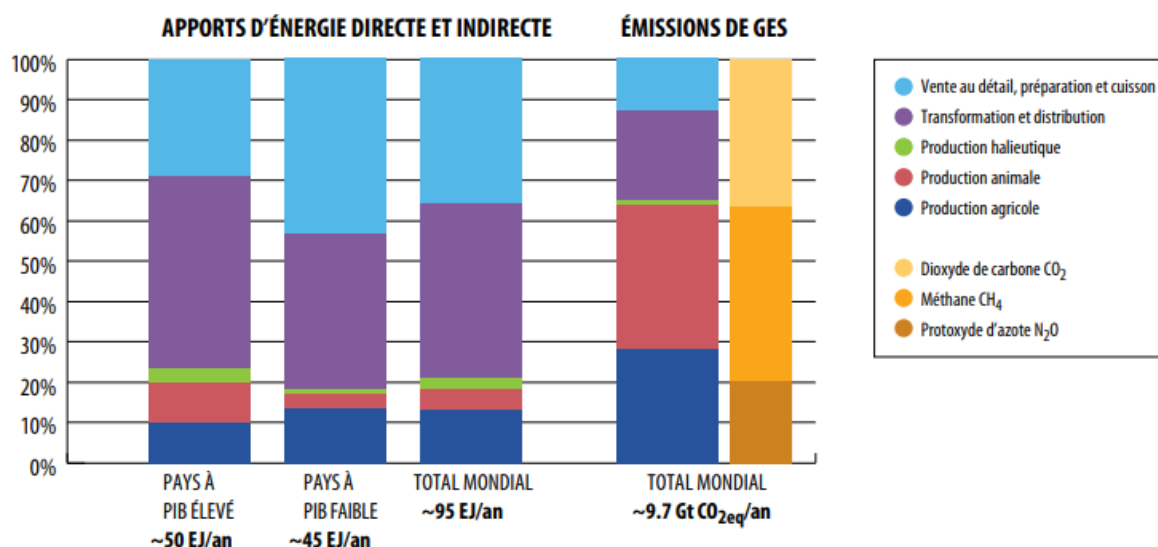


Figure 1 - Répartition indicative de la consommation finale d'énergie dans les pays à PIB faible/élevé, du total mondial et des émissions correspondantes de GES de la filière agroalimentaire (E. H. Sims, 2011)

1.2 L'énergie dans l'agriculture européenne et perspectives de changements

En 2019, la part de la consommation d'énergie directe du secteur agricole et sylvicole de l'UE s'est élevée à 3,3 % de sa consommation finale d'énergie (usage énergétique) totale selon Eurostat, avec quelques exceptions comme aux Pays-Bas et en Pologne où elle est de 8,9 et 5,5 % respectivement (Eurostat, 2021).

Plus de la moitié (55 %) de cette utilisation d'énergie est imputée au pétrole et aux produits pétroliers. Suivent ensuite l'électricité (17 %), le gaz naturel (14 %) et les énergies renouvelables et biocarburants (9 %). L'utilisation de combustibles fossiles solides (3 %) et de chaleur (2 %) est, elle, marginale (Figure 2). Il est à noter que la part des énergies renouvelables n'a cessé d'augmenter au cours des dernières décennies, étant de 4 % en 1999 et de 9 % vingt ans plus tard. Une méta-étude récente indique cependant que la consommation annuelle d'énergie dans l'agriculture de plein champ¹ seule est au moins équivalente à 3,7 % de la consommation annuelle totale d'énergie de l'UE, et suggère donc que l'utilisation de l'énergie dans l'agriculture de l'UE est considérablement sous-déclarée (Monforti-Ferrario *et al.*, 2015; Paris *et al.*, 2022).

¹ Comprend la culture de céréales, de pommes de terre et de betteraves sucrières, d'oléagineux, de légumes, de vergers, de vignobles et d'oliviers.

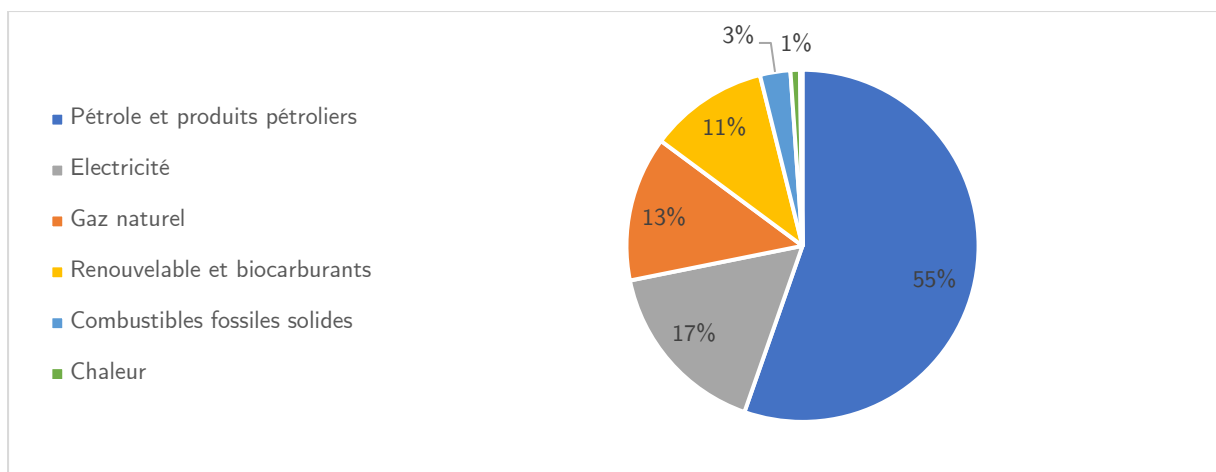


Figure 2 - Répartition de la consommation d'énergie des secteurs agricoles et sylvicoles par type de carburant, UE-27 2019, chiffres Eurostat (%)

Elle révèle ainsi que l'utilisation d'engrais est l'activité la plus consommatrice d'énergie dans l'agriculture de plein champ de l'UE, représentant environ 50 % de tous les intrants énergétiques. L'utilisation de diesel à la ferme représente 30 %, tandis que les autres utilisations sont principalement dédiées à l'irrigation, au stockage et au séchage, aux pesticides et aux semences, qui représentent chacun environ 4 % de la consommation totale d'énergie.

L'étude mentionne aussi le fait que les systèmes électriques de l'UE passent rapidement aux renouvelables, ce qui laisse penser qu'à moyen et long terme, le passage à des systèmes alimentés en électricité pour les opérations agricoles pourrait réduire de manière significative la part des combustibles fossiles dans la consommation directe d'énergie.

En outre, dans de nombreux cas, les systèmes électriques sont souvent plus efficaces que les systèmes fonctionnant aux combustibles fossiles (Bardi, El Asmar et Lavacchi, 2013). En particulier, l'électricité peut produire des engrais à base d'azote et alimenter l'irrigation, remplaçant complètement les combustibles fossiles dans ces deux tâches. L'électricité peut également alimenter les machines agricoles, notamment les véhicules de transport et de travail dans les champs, bien que les limites du stockage de l'énergie à bord limitent leur taille et leur autonomie.

En ce qui concerne les pesticides, il est théoriquement possible de développer de nouvelles méthodes pour les fabriquer à partir de sources renouvelables, mais très peu de recherches et de développement ont été effectués dans ce domaine jusqu'à présent.

Enfin, en ce qui concerne les engrais autres que ceux à base d'azote (c'est-à-dire le phosphore, le calcium et le potassium), il n'y a pas grand-chose que l'énergie renouvelable puisse faire pour résoudre le problème étant donné qu'ils ne sont pas synthétisés.

1.3 L'énergie dans l'agriculture belge et wallonne

En 2019, la part de l'agriculture belge dans sa consommation énergétique finale est de 2,7 %, un chiffre constant sur les deux dernières décennies (Eurostat, 2021). Il est important de noter que malgré ce chiffre plus bas que la moyenne européenne (3,3 %), la Belgique est le deuxième pays européen en termes de consommation d'énergie par hectare, avec une moyenne de 0,664 toe/ha (soit 27 800 MJ/ha) lors de la même année et que la moyenne européenne est de 0,171 toe/ha, soit une valeur presque quatre fois inférieure. La moyenne belge a augmenté de 20 % entre 2009 et 2019.

Le pétrole (comptant pour 43 % de l'énergie utilisée), le gaz naturel (33 %) et l'électricité (17 %, comme la moyenne européenne) sont les trois carburants principaux utilisés en agriculture belge et le renouvelable progresse moins rapidement en Belgique que dans la moyenne européenne (Figure 3). Les engrais azotés de synthèse, issus principalement du gaz naturel, sont plus consommés en Belgique qu'en Europe en moyenne, d'où l'importance de la part du gaz naturel dans le total des consommations d'énergie.

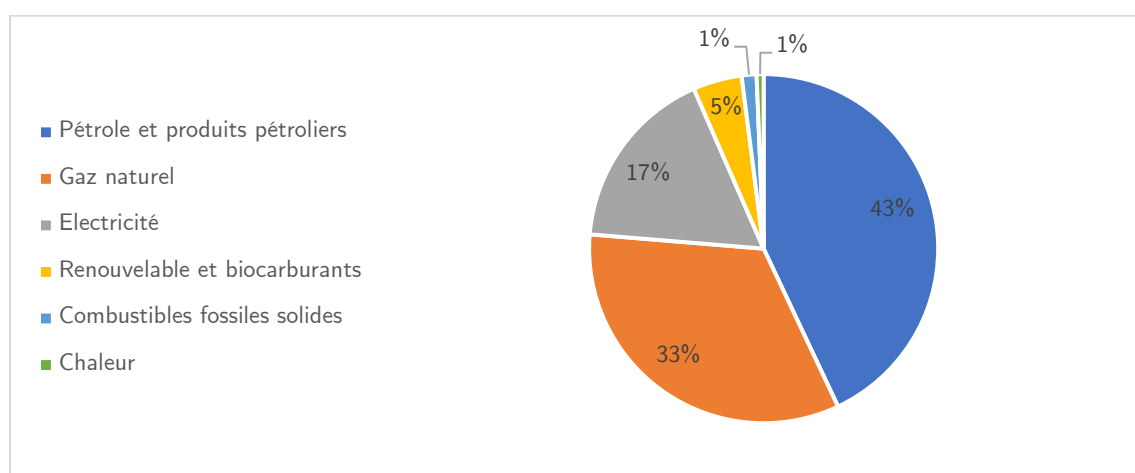


Figure 3 - Répartition de la consommation d'énergie par type de carburant, Belgique 2019, chiffres Eurostat (%)

Au niveau de la Wallonie, la part de son agriculture dans sa consommation énergétique finale est stable sur les 30 dernières années et est d'environ 1 % (État belge, 2019; SPW - Service Public de Wallonie, 2022a). Néanmoins, 14 % des émissions de GES wallonnes sont imputées à l'agriculture, même si celles-ci sont en constante diminution depuis 1990, en raison de la diminution et la modification du cheptel, principal émetteur de CH₄ (méthane).

Ce GES représente 8 % des émissions totales wallonnes et l'agriculture en est responsable à hauteur de 78 %. Le N₂O (protoxyde d'azote), autre GES important et représentant également 8 % des émissions totales wallonnes, est principalement émis par l'agriculture à hauteur de 81 %.

1.4 Les outils et données disponibles dans la littérature

1.4.1 Les outils de calculs d'émissions de GES et d'utilisation d'énergie

Avec le réchauffement climatique et ses conséquences reconnues comme l'un des plus grands défis environnementaux actuels, de nombreux outils d'évaluation des émissions de GES, notamment pour les secteurs agricoles et sylvicoles, ont été développés ces dernières années. Leur méthodologie se base dans tous les cas sur des références et guides de bonnes pratiques pour la comptabilité carbone du GIEC (IPCC, 2006). Ceux qui nous intéressent ici sont de type « reporting/inventaire ». Ils permettent de décrire et analyser en détail la situation actuelle afin de construire des bases de données de références homogènes en termes de méthodologie. Ainsi, ils permettent un suivi dans le temps et une comparaison entre territoires. A cette échelle, les données doivent être obtenues via des bases de données statistiques ou des dires d'experts, ce qui augmente les incertitudes.

Le Tableau 64 à l'Annexe A - Calculateurs d'émissions de GES par l'agriculture - montre la disponibilité de ces outils dans le monde. L'accent est mis sur l'identification des sources principales de GES et les aspects énergétiques directs et indirects sont généralement peu évalués par ces outils, sauf pour l'outil ClimAgri présenté ci-dessous.

1.4.1.1 Présentation d'un outil : ClimAgri

L'outil ClimAgri® est un tableur permettant, à partir de la saisie de données descriptives de l'activité agricole et forestière d'un territoire, d'évaluer ses consommations d'énergies directes et indirectes, ses émissions de gaz à effet de serre et de plusieurs polluants atmosphériques (en particulier l'ammoniac) (Eglin *et al.*, 2016). Il a été développé pour pouvoir être utilisé en France métropolitaine. Il intègre l'agriculture et la forêt avec les activités en amont nécessaires à leurs activités, comme la production d'énergie, d'engrais azotés et autres, d'aliments pour animaux ... Il s'arrête à la sortie du bois et de la ferme, c'est-à-dire qu'il ne prend pas en compte la transformation, le transport, et la commercialisation des produits agricoles et forestiers (ADEME, 2014).

Les diagnostics évalués sont partagés entre les acteurs agricoles et autres, afin de comprendre les enjeux du territoire de façon commune et d'identifier les actions prioritaires à mettre en œuvre pour atténuer les consommations d'énergie, émissions de GES et de NH₃. Des scénarios prospectifs peuvent être construits et évalués par la suite à l'aide de l'outil. « L'outil permet notamment ainsi de prendre en compte des approches « systèmes (notamment en travaillant sur la cohérence des assolements et la disponibilité des sources d'azote organique dans le cadre d'un développement important de l'agriculture biologique) » et des scénarios de rupture comme le scénario Afterres 2050 (ADEME, 2014).

D'autres outils similaires existent, mais ceux-ci se focalisent sur les consommations énergétiques et émissions de GES associées à un niveau local, pour une exploitation.

1.4.1.2 Bilans PLANETE et DECiDE

Le bilan PLANETE est un outil qui permet de calculer les consommations d'énergie et les émissions de GES à l'échelle de l'exploitation agricole en France. Il a pour objectif de quantifier les différentes énergies non renouvelables consommées par l'exploitation et de les répartir par poste de consommation. Les « sorties » de l'exploitation sont également calculées, tout comme les émissions de GES associées (Bochu et al., 2010).

Des bases de données de références sont construites à l'aide des nombreux bilans effectués à travers tout le pays. La base de données « refPLANETE2010 » comptabilise 3 670 bilans et répartit les résultats globaux des différentes productions végétales et animales en diverses fiches.

DECiDE 2.0 (®) est un outil similaire au bilan PLANETE qui a pour objectif d'estimer les performances environnementales des exploitations agricoles wallonnes et de pouvoir comparer les bilans réalisés entre eux afin de situer une exploitation par rapport à la moyenne des exploitations similaires. Un autre objectif de l'outil est de produire des valeurs de références fiables pour les décideurs, chercheurs et autres (Van Stappen, 2021). L'outil est assez récent et ses données de références ne sont pas encore disponibles.

1.4.2 Disponibilité des données

Un certain nombre de bases de données fournissent des données sur l'utilisation de l'énergie et des indicateurs connexes sur l'utilisation de l'énergie dans l'agriculture européenne, comme Eurostat et Faostat. Faostat publie des données sur l'utilisation de l'énergie dans l'agriculture sur une base nationale et régionale, ainsi que par vecteur énergétique. Eurostat publie chaque année des données sur la consommation directe d'énergie dans l'UE, sur la base de l'indicateur agroenvironnemental de la consommation d'énergie. Ces données proviennent principalement du questionnaire commun Eurostat/AIE/CEE. Ces ensembles de données comprennent des données sur les différents vecteurs énergétiques et des informations sur l'évolution de l'utilisation de l'énergie dans l'agriculture au fil du temps au sein de l'UE et par État membre (FAO, 2019).

En outre, les États membres et différentes parties prenantes produisent également des données nationales sur l'utilisation de l'énergie au sein des systèmes nationaux. Ces données européennes et nationales se concentrent toutefois sur l'utilisation agrégée de l'énergie dans l'ensemble du secteur agricole et une répartition détaillée de l'utilisation de l'énergie dans des cultures ou des secteurs agricoles spécifiques n'est souvent pas accessible au public. De plus, ces données sont généralement axées sur les utilisations et les apports énergétiques directement dans les exploitations agricoles et ne comprennent pas de données sur les apports énergétiques indirects.

Eurostat et les agences nationales reconnaissent que les données sur l'utilisation de l'énergie qui existent sont généralement de qualité inférieure et sous-déclarées par rapport à d'autres statistiques du secteur de l'énergie en raison d'erreurs et de données incomplètes. Plusieurs

études ont souligné l'importance d'inclure les sources énergétiques directes et indirectes afin de fournir une image plus complète de l'utilisation réelle de l'énergie dans l'agriculture.

En effet, lorsque les utilisations indirectes de l'énergie sont incluses, la proportion estimée de l'utilisation de l'énergie dans l'agriculture augmente de manière significative, comme le montre l'étude du point 1.2.

Au niveau de l'UE, un nombre limité d'études combinent des données provenant de sources directes et indirectes sur l'utilisation de l'énergie dans l'UE, et celles-ci fournissent une multitude de données utiles, mais se limitent à des zones géographiques ou à des cultures spécifiques. C'est le cas du référentiel GES'TIM+ et de la base de données Agribalyse, dont un des objectifs est d'évaluer les impacts environnementaux des activités agricoles sur les enjeux de préservation des ressources énergétiques. Cela a permis d'obtenir des références moyennes d'utilisation d'énergie par hectare pour certains produits agricoles en France (Arvalis, 2020; ADEME, 2022).

1.5 Caractérisation de l'agriculture wallonne

1.5.1 Productions végétales

En 2019, la Surface Agricole Utile (SAU) est de 733 714 hectares en Wallonie. Les exploitations, au nombre de 12 733, y sont en moyenne plus grandes qu'en Belgique (57,6 ha par exploitation contre 37,6) (SPW Agriculture, 2021). Ce chiffre n'a cessé de décroître dans le pays ces dernières années. L'importance des différentes catégories de cultures dans la SAU wallonne en 2019 est exposée à la Figure 4.

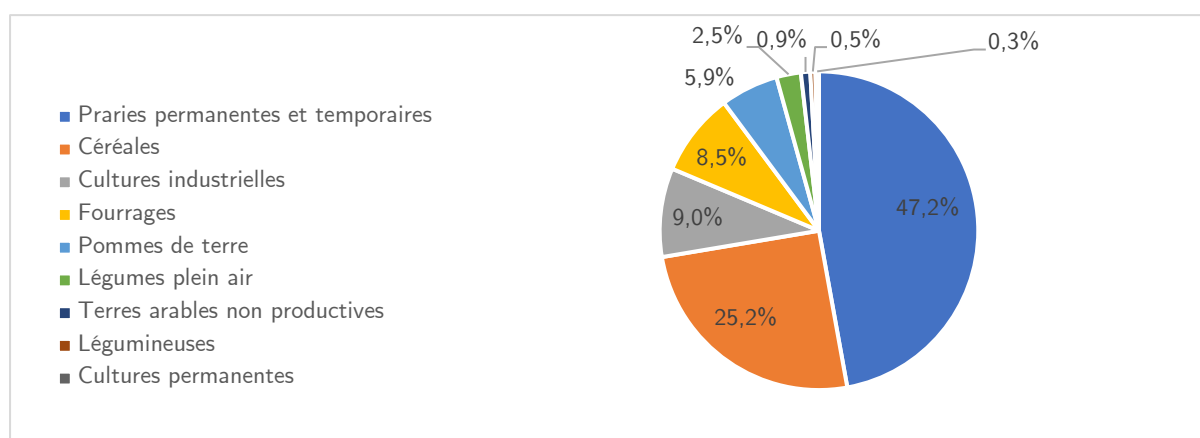


Figure 4 - Importance des différentes cultures en Wallonie (% de la SAU)

Les prairies permanentes et temporaires occupent presque la moitié de la SAU totale. Le reste de la SAU est couvert par les céréales qui occupent plus du quart de celle-ci, des cultures industrielles (betterave, lin et colza principalement), des fourrages pour animaux et des pommes de terre. Les légumes de plein air (principalement petits pois, haricots verts,

carottes et oignons) suivent, occupant 2,5 % de la SAU totale. Les terres arables non productives (principalement jachères et tournières enherbées) et les cultures permanentes occupent, elles, une part marginale.

La plupart des surfaces en agriculture biologique (91 %) et des exploitations (76 %) se trouvent en Wallonie (Beudelot et Mailleux, 2020).

Certaines catégories de productions, ou filières vont être détaillées, car elles sont importantes pour la suite de ce travail.

1.5.1.1 Prairies et fourrages

57,5 % de la SAU wallonne est recouverte par les prairies et cultures fourragères en 2019. Les prairies permanentes ont des rôles environnementaux importants à jouer tant dans le maintien des habitats pour la biodiversité que dans leur couverture permanente qui limite les problèmes d'érosion et représente un stock important de carbone (Bellayachi *et al.*, 2017; Compere Leroy et Cornu, 2021).

Le maïs représente 84,6 % de la SAU des surfaces des fourrages des terres arables. Les autres fourrages sont composés de fourrages annuels verts autres que le maïs (7,3 %) et de légumineuses (6 %), le reste étant composé de betteraves fourragères et autres plantes sarclées fourragères.

1.5.1.2 Filière céréales

La filière céréales est composée principalement de froment d'hiver (68 % de la superficie dédiée aux céréales en 2019), suivie de l'orge (15 %) et de l'épeautre (6 %). Le reste est composé principalement de maïs-grain, triticales et d'autres céréales (SPW Agriculture, 2021). 62 % des exploitations wallonnes cultivent des céréales. La superficie consacrée aux céréales est en légère augmentation depuis le début du siècle (Antier, Petel et Baret, 2019a).

Les céréales cultivées sont principalement destinées à l'alimentation animale (46 %), puis à la production d'énergie, à l'export et enfin à l'alimentation humaine (9 % du total seulement). Ce faisant, la Wallonie est importatrice nette de céréales. La part de l'agriculture biologique (AB) dans la SAU totale des céréales est de l'ordre de 4 % en 2015, un chiffre qui augmente depuis (Beudelot et Mailleux, 2020).

1.5.1.3 Filière pommes de terre

Entre 2000 et 2019, la superficie consacrée aux pommes de terre montre une forte augmentation (de 87%). La quasi-totalité des pommes de terre cultivées sont des pommes de terre « de conservation », c'est-à-dire qu'elles sont récoltées en fin de saison de récolte et sont stockées et conservées pour être vendues jusqu'à la récolte de l'année suivante. Les pommes de terre sont principalement destinées à l'alimentation humaine et à l'export.

Le taux de couverture des besoins, soit le rapport entre la quantité produite annuellement et la quantité nécessaire pour nourrir la population, était de plus de 1 600 % pour la Wallonie en 2015, un taux qui a encore augmenté depuis (Antier, Petel et Baret, 2019a).

Durant la même année, la consommation de produits phytopharmaceutiques (PPP) dans les cultures de pommes de terre représentait 28 % de l'utilisation totale de ces produits par l'agriculture wallonne, soit une utilisation conséquente étant donné que cette culture n'occupe que 5 % de la SAU de la même année. La part de l'AB dans la SAU des pommes de terre varie selon les années et n'est que de 1,4 % en 2019.

1.5.1.4 Filière légumière

En 2019, les petits pois occupent 48,7 % de la SAU dédiée aux légumes de plein air. Ils sont suivis des haricots verts (18,2 %), des carottes (8,7 %) et des oignons (6,8 %). Le reste est principalement composé de racines de witloof, d'épinards et d'autres légumes.

Une étude de l'équipe Sytra se concentre sur les quatre légumes principaux précédemment cités, dont la superficie dédiée occupe donc 82,4 % de la SAU des légumes en 2019. La filière légumière est séparée en deux : la filière du frais et la filière transformée. Celle du frais revient à la production de légumes sur une surface réduite, comprenant les cultures maraîchères sur petites surfaces et la production de légumes en plein champ. La filière transformée, elle, consiste en des légumes produits sur des superficies moyennes à grandes, souvent sur base de contrats de culture avec les industries de transformation (Riera, Antier et Baret, 2020). Pour ces quatre cultures, la part de l'AB atteignait 5 % en 2015 selon les estimations, une part qui augmente depuis à la suite de l'importante demande des entreprises agroalimentaires et des consommateurs belges (Beaudelot et Mailleux, 2020).

1.5.2 Productions animales

Les productions animales belges et wallonnes peuvent être comparées sur base de leur nombre d'individus (Tableau 1)(Statbel, 2022). On remarque que la Wallonie contient une petite part des porcins (6 %) et volailles belges (16 %) seulement. Les chiffres sont plus équilibrés pour les bovins (46,2 % du total belge). On observe néanmoins une diminution dans ce cheptel lors des deux dernières décennies.

Tableau 1 - Cheptels belges et wallons, 2019

Cheptels \ Pays	Belgique	Wallonie
Bovins	2 373 102	1 096 396
Porcins	6 085 101	378 108
Volailles	49 808 225	7 812 270

Le nombre d'animaux élevés en bio augmente énormément ces dernières années. Au niveau de la filière bovine, les chiffres du bio croissent constamment depuis 2006. Le nombre est stable depuis 2017 pour la filière viandeuse et la filière laitière est en pleine expansion. Au niveau de la filière porcine, les nombres ont plus que doublé en moins de 20 ans.

C'est également le cas au niveau de la filière avicole, où l'augmentation de la part de modes d'élevage biologique est la plus élevée (+ 620 % pour les poulets de chair et + 1590 % pour les poules pondeuses sur la même période). La Wallonie est la région belge où sont concentrés les cheptels bios de bovins (95 %) et de volailles (85 %)(Beudelot et Mailleux, 2020; Corus, 2020; Timmermans et Van Bellegem, 2020).

Objectifs

L'étude réalisée dans le cadre de ce mémoire a pour but d'évaluer les consommations d'énergie du secteur agricole wallon à l'heure actuelle et à l'horizon 2050 selon divers scénarios.

Pour atteindre ce but, trois objectifs sont définis.

1. Le premier objectif de cette étude est de quantifier les consommations énergétiques pour l'ensemble du secteur en Wallonie selon deux axes : les productions végétales et les productions animales. Cette quantification est réalisée grâce au développement d'un outil de calcul à partir du logiciel Excel.
2. Le second objectif est de calculer l'autonomie énergétique du secteur en comparant ses consommations et productions énergétiques selon les types de carburant, déclinés à partir des données de consommations pour les productions animales et végétales.
3. Le troisième objectif abordé consiste à faire de la prospection des futures consommations énergétiques du secteur sur base de scénarios d'évolution de celui-ci développés par l'équipe SYTRA à l'horizon 2050.

2 Méthodologie

2.1 L'énergie dans le processus agricole

La production agricole mobilise différentes énergies sous deux formes :

- D'une part sous forme d'énergie directe telle que le carburant consommé par les tracteurs et automoteurs agricoles, le gazole utilisé pour la voiture ou les camions de l'exploitation, l'électricité, les autres produits pétroliers...
- D'autre part sous forme d'énergie indirecte utilisée pour la fabrication des intrants de l'agriculture, tels que l'énergie pour les engrais, les PPP, les matériels, les bâtiments (Bochu et Al., 2010)...

2.2 Frontières du système et productions considérées

Comme les études et outils mentionnés précédemment dans l'état de l'art, ce travail porte sur l'utilisation de l'énergie en agriculture wallonne jusqu'à la sortie de la ferme, en incluant les activités nécessaires en amont comme la production de carburant, d'engrais et autres, avec en sortie de ferme les productions animales, végétales et énergétiques (Figure 5).

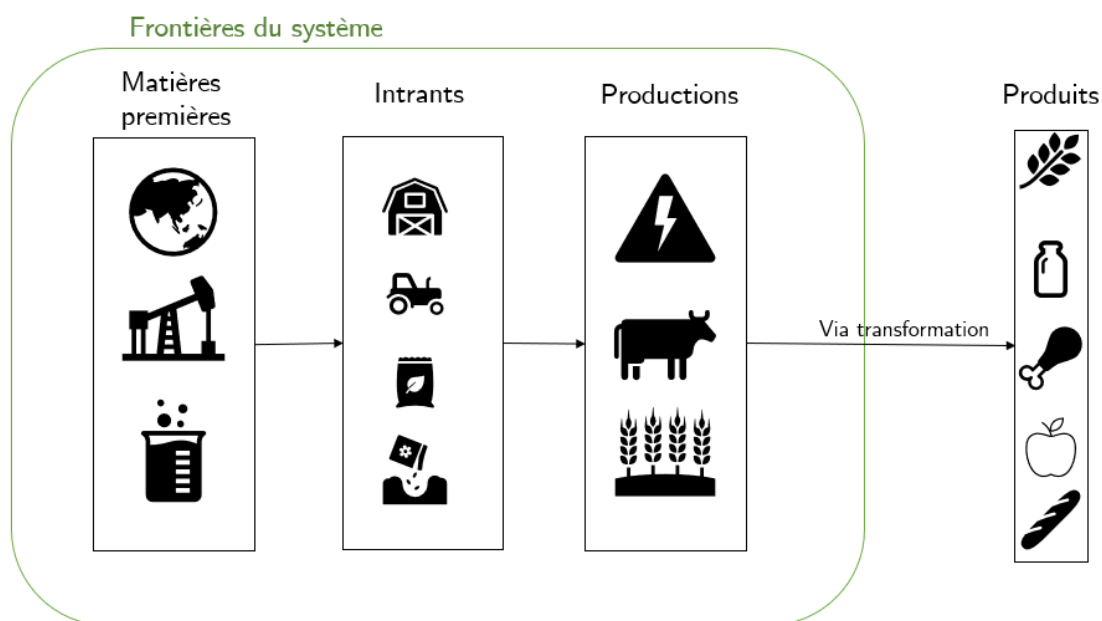


Figure 5 - Frontières simplifiées du système étudié, inspirées de l'outil DECIDE (Van Stappen, 2021)

Le calcul des quantités des productions végétales et animales ainsi que leurs consommations d'énergie associées est expliqué dans la méthodologie qui suit. Les productions d'énergie du secteur agricole sont ensuite explorées, ainsi que les types de carburant et les transformations nécessaires pour calculer leurs parts d'utilisation.

2.3 Productions végétales

2.3.1 Schéma global

L'énergie consommée pour les productions végétales est calculée dans l'onglet F1 du calculateur Excel. La Figure 6 représente le schéma global des calculs effectués pour les consommations d'énergie de celles-ci. Les inputs de superficies sont représentés par des rectangles de couleur verte et assignées de lettres majuscules (A, B et C). Les rectangles de couleur bleue représentent les calculateurs des postes de consommations (D, E, F et G). Ces calculateurs donnent finalement des valeurs en énergie (représentées par les rectangles jaunes) qui sont additionnées pour donner l'énergie totale consommée pour les productions végétales (1). Chaque lettre est détaillée dans la suite de cette section.

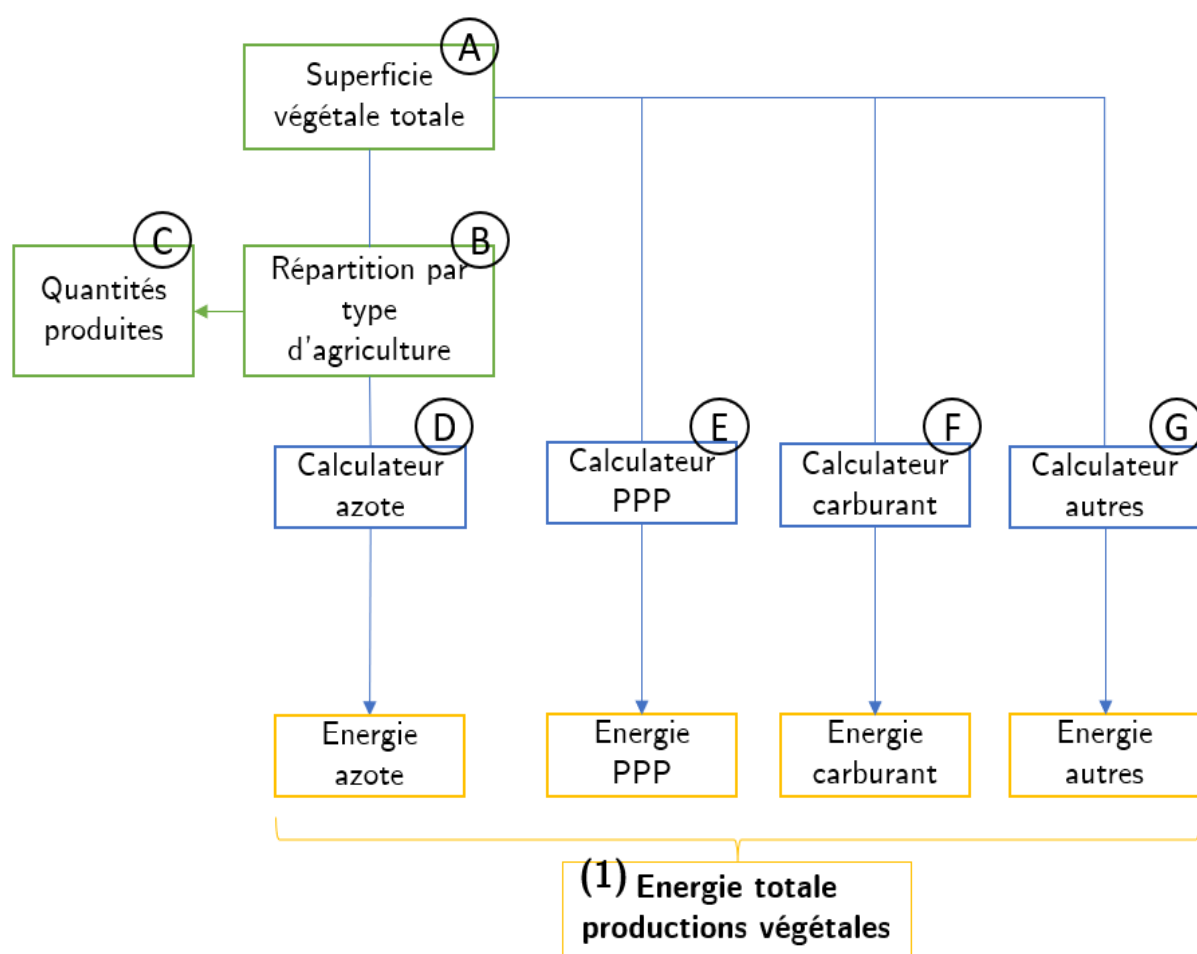


Figure 6 - Schéma des calculs des productions végétales, Baufayt 2022

2.3.2 Inputs A, B et C

Les différentes catégories de productions végétales (A) sont reprises au Tableau 2. À partir de cet input A, l'input B répartit les superficies des cultures selon quatre catégories de pratiques agricoles : l'agriculture conventionnelle intensive (AC), l'agriculture conventionnelle raisonnée (ACR), l'agriculture écologique intensive (AEI) et l'agriculture biologique (AB).

Tableau 2 - Cultures considérées dans le cadre de l'étude

Cultures	
Froment d'hiver	Maïs fourrager et autres fourrages verts
Triticale	Épeautre et autres céréales
Pommes de terre	Betterave sucrière
Orge	Autres cultures industrielles
Chicorée	Petits pois
Lin	Carottes
Haricots verts	Betteraves fourragères et autres plantes sarclées
Oignons	Pommes
Autres légumes	Autres cultures permanentes
Vergers et petits fruits (sauf pommes et vignes)	Prairie temporaire
Vignes	Cultures sous serre
Prairie permanente	Autres
Jachères et tournières enherbées	Légumineuses fourragères
Légumineuses récoltées en grains secs	Colza et navette

À partir de l'input B, les quantités de céréales, pommes de terre et légumes (petits pois, haricots verts, carottes et oignons) sont calculées grâce au Tableau 3. Ces catégories de céréales sont choisies en fonction des scénarios construits dans la section suivante (Scénarios d'évolution du secteur). Les rendements proviennent de trois études s'intéressant aux trois catégories de cultures (Antier, Petel et Baret, 2019a, 2019b; Riera, Antier et Baret, 2020). Notons que l'input B se retrouve plus loin dans cette section 2.

Tableau 3 - Rendements agricoles par type d'agriculture pour les catégories de cultures céréales, pommes de terre et légumes, 2019

Catégorie de culture	Culture	Rendements par pratique agricole [T/ha]			
		AC	ACR	AEI	AB
Céréales	Froment d'hiver	10	9	6	5
	Orge d'hiver	9,5	8,6	6,7	4,8
	Triticale	6,4	6,4	6,4	5,62
	Épeautre et autres céréales	8	7,2	5,6	4
Pommes de terre		49,1	48,4	46,65	30
Légumes de plein air	Pois	7,5	7,5	7,5	6
	Haricots verts	12	12	12	10
	Carottes	70	70	70	50
	Oignons	60	60	60	50

2.3.3 Généralités sur les calculateurs D, E, F et G

Comme indiqué à la Figure 6, les consommations sont réparties entre quatre postes : les engrais azotés (calculateur D), les produits phytopharmaceutiques (PPP, calculateur E), le carburant (calculateur F) et l'atelier « autres » qui regroupe les autres postes de consommations (calculateur G). Le calculateur azote D est présenté au prochain titre de cette partie.

Pour les autres calculateurs (E, F et G), le calcul est le suivant avec E_{poste} l'énergie par poste de productions végétales [MJ], S_i la surface de la production végétale concernée [ha] et $\bar{E}_i$ l'énergie moyenne utilisée par hectare pour le poste en question de cette même production [MJ/ha] :

$$E_{\text{poste}} = \sum S_i \times \bar{E}_i$$

Le Tableau 65 SEQ Tableau * ARABIC indique la répartition des cultures selon les différentes catégories et les références des $\bar{E}_i$ pour les trois postes précédemment cités. Il est présent à l'Annexe B – Données et références utilisées pour les calculs des productions végétales. Pour certaines cultures, le poste PPP est calculé à part. Elles sont indiquées dans ce tableau et le point 2.3.5 explique ces différences.

2.3.4 Calculateur D

D'après (Paris *et al.*, 2022), les engrais azotés sont l'un des postes principaux de consommation et comptent pour 48 % de l'énergie utilisée pour l'agriculture en plein champ dans l'UE. Une attention particulière y est donc portée et le premier calculateur permet d'évaluer les consommations en énergie de ceux-ci, selon le schéma de la Figure 7.

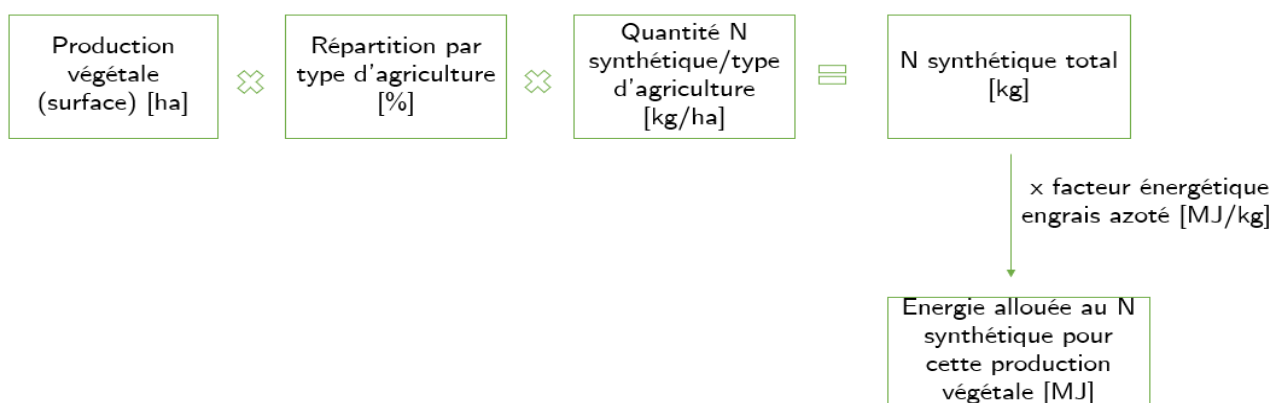


Figure 7 - Schéma du calcul des consommations du poste « engrais azotés »

Une feuille F12 du calculateur y est dédiée. A chaque catégorie de pratique de l'input B (Tableau 5) sont allouées des quantités d'azote synthétique amendées annuellement, permettant de calculer la quantité totale d'azote synthétique (Tableau 6). L'énergie allouée à sa production et à sa distribution est calculée via un facteur énergétique moyen pour les engrais azotés, qui est de 54,8 MJ/kg (Figure 7) (Paris *et al.*, 2022).

Il est important de noter que pour certaines cultures comme la pomme de terre et la betterave, la typologie qui les caractérise est différente que celle empruntée dans l'input B. Le Tableau 4 indique le choix de transformation de cette typologie en celle empruntée pour ce travail.

Tableau 4 - Transformation de la typologie de la culture de pommes de terre et de betteraves pour le travail

Typologie des modes de production	Typologie du travail (inputs B et C)
Système non économes	AC
Systèmes peu économes	ACR
Systèmes économes	AEI
Systèmes très économes	
Système en AB	AB

Le Tableau 6 provient du calculateur d'un mémoire de fin d'études réalisé par Estelle Compere Leroy et Marie-Aline Cornu lors de l'année académique précédente (2020-2021) qui s'intéressent à la gestion durable des flux d'azote en Région Wallonne (Compere Leroy et Cornu, 2021).

Tableau 5 - Répartition des cultures étudiées selon les quatre pratiques agricoles (input B), 2019

Catégorie de culture	Culture	Type de pratique et surface associée [ha]			
		AC	ACR	AEI	AB
Céréales	Froment d'hiver	24105	87926	11305	2273
	Orge d'hiver	5210	19633	1963	1241
	Triticale	202	3027	363	444
	Épeautre et autres céréales	1358	20365	2444	2987
Cultures industrielles	Betteraves sucrières	38783	0	0	52
	Lin	10535	0	0	0
	Colza et navette	8430	0	0	158
	Chicorée	7176	0	0	32
	Autres cultures industrielles	793	0	0	100
Pommes de terre		13991	20280	8181	605
Légumineuses récoltées en grains secs		3540	0	0	267
Légumes de plein air	Pois	2010	6648	0	206
	Haricots verts	666	2486	0	163
	Carottes	317	1189	0	79
	Oignons	0	751	12	472
	Autres	0	1946	32	1223
Fourrages	Maïs fourrager	56831	0	0	559
	Betteraves fourragères	706	0	0	374
	Légumineuses	2819	0	0	835
Cultures permanentes	Vergers et petits fruits	878	0	0	269
	Vignes	84	0	0	98
	Pommes	458	0	0	140
	Autres	354	0	0	257
Prairies	Prairies permanentes	253281	0	0	55899
	Prairies temporaires	28588	0	0	8047
Terres arables non productives	Jachères et tournières enherbées	6601	0	0	267
	Cultures sous serre	0	0	0	88
Autres	Cultures ornementales plein air	0	0	0	29
	Semences et plants horticoles plein air	0	0	0	5

Tableau 6 - Utilisation d'azote synthétique par type de pratique et culture, 2019

Année 2019		Kg N synthétique/ha*an par type de pratique			
Catégorie de cultures	Culture	AC	ACR	AEI	AB
Céréales	Froment d'hiver	185	175	165	0
	Orge d'hiver	160	155	125	0
	Triticale	160	140	75	0
	Épeautre et autres céréales	160	140	75	0
Cultures industrielles	Betteraves sucrières	100	100	100	0
	Lin	80	80	80	0
	Colza et navette	180	180	180	0
	Chicorée	27	27	27	0
	Autres cultures industrielles	90	90	90	0
Pommes de terre		180	180	150	0
Légumineuses récoltées en grains secs		0	0	0	0
Légumes de plein air	Pois	30	0	0	0
	Haricots verts	60	60	0	0
	Carottes	40	20	0	0
	Oignons	0	90	0	0
	Autres	0	90	0	0
Fourrages	Maïs fourrager	35	35	35	0
	Betteraves fourragères	100	100	100	0
	Légumineuses	0	0	0	0
Cultures permanentes	Vergers et petits fruits	50	50	50	0
	Vignes	50	50	50	0
	Pommes	50	50	50	0
	Autres	150	150	150	0
Prairies	Prairies permanentes	80	80	80	0
	Prairies temporaires	120	120	120	0
Terres arables non productives	Jachères et tournières enherbées	0	0	0	0
	Cultures sous serre	0	0	0	0
Autres	Cultures ornementales plein air	0	0	0	0
	Semences et plants horticoles plein air	0	0	0	0

2.3.5 Particularités pour le calculateur E

Les données des consommations en quantité de PPP (E sur la Figure 6) sont disponibles pour les principales cultures consommatrices en Wallonie (Tableau 7 et cases foncées du SEQ Tableau * ARABIC) (CORDER, 2016; SPW - Service Public de Wallonie, 2022b).

Tableau 7 - Cultures dont la consommation en pesticides par hectare est connue

Culture	
Pommes de terre	Escourgeon
Betteraves sucrières	Épeautre
Maïs fourrager	Prairies temporaires
Prairies permanentes	Froment d'hiver
Pois vert	Haricots verts
Betteraves fourragères	/

Ces données étant plus précises que les références précédemment citées (SEQ Tableau * ARABIC), une feuille du calculateur (F13) leur est dédiée pour calculer les $\bar{E}_i$ correspondantes pour le poste PPP. Ces PPP sont répartis en six groupes de substances actives dans les documents du SPW et rassemblés en quatre groupes pour l'étude (Tableau 8). Ce choix est réalisé en fonction des facteurs énergétiques disponibles dans la littérature pour ces substances.

Tableau 8 - Groupes de substances actives dans les PPP et leur valeur énergétique associée

Groupes de substances actives SPW	Groupes de substances actives étude	Valeur énergétique de la substance [MJ/kg] et référence
Fongicides et bactéricides	Fongicides et bactéricides	376 (Paris <i>et al.</i> , 2022)
Herbicides, défanants et agents antimousses	Herbicides, défanants et agents antimousses	293 (Paris <i>et al.</i> , 2022)
Insecticides	Insecticides	312 (Paris <i>et al.</i> , 2022)
Régulateurs de croissance des végétaux	Autres	171 (Arvalis, 2020)
Molluscicides		
Autres PPP		

La part de ces différents groupes de substances est connue, ainsi que la quantité moyenne (kg) de substances actives répandue par hectare des cultures précédemment (Tableau 9 et Tableau 10 respectivement).

La Figure 8 détaille les calculs effectués. Les résultats pour les différentes substances actives pour la même culture sont alors sommés, donnant le facteur énergétique pour l'atelier « PPP » de cette culture [MJ/ha].

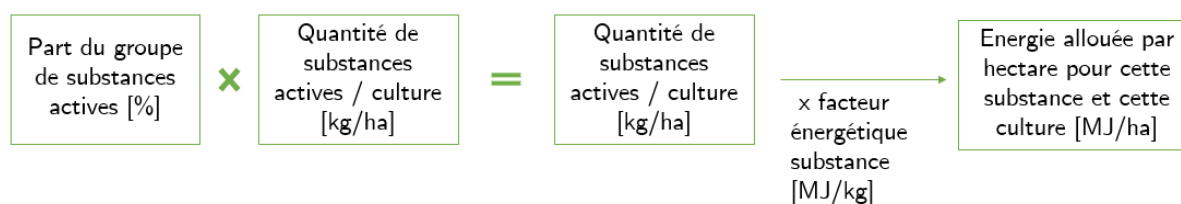


Figure 8 - Schéma des calculs effectués pour obtenir les $\bar{E}_i$ pour l'atelier PPP pour certaines cultures, Baufayt 2022

Les fongicides et bactéricides d'une part et herbicides, défanants et agents antimousses d'autre part sont les deux catégories principales de substances actives vendues (Tableau 9).

Tableau 9 - Part (%) des quantités de substances actives vendues par catégorie, 2019

Groupe de substances actives	Part des quantités vendues (%)
Fongicides et bactéricides	38,8
Herbicides, défanants et agents antimousses	36,6
Insecticides	7,5
Autres	17,1

Les vergers basses-tiges et les pommes de terre sont les cultures pour lesquelles le plus de PPP sont utilisés, suivis des betteraves sucrières et fourragères (Tableau 10).

Tableau 10 - Quantité de PPP utilisée par hectare des cultures concernées, 2019

Culture	Quantité de substances actives [kg/ha]
Pommes de terre	15,60
Betteraves sucrières	6,17
Froment d'hiver	2,81
Orge d'hiver	2,10
Épeautre	1,89
Maïs fourrager	1,27
Prairies temporaires	0,12
Prairies permanentes	0,04
Pois verts	1,90
Haricots verts	2,12
Betteraves fourragères	4,64

2.4 Productions animales

2.4.1 Schéma global

De la même manière que pour les productions végétales, les consommations des productions animales sont calculées selon différents calculateurs de postes de consommation (K, L M et N sur la Figure 9) à la feuille F2 du calculateur Excel. Les inputs de productions animales (H, I, J et P) sont représentés par des rectangles bruns.

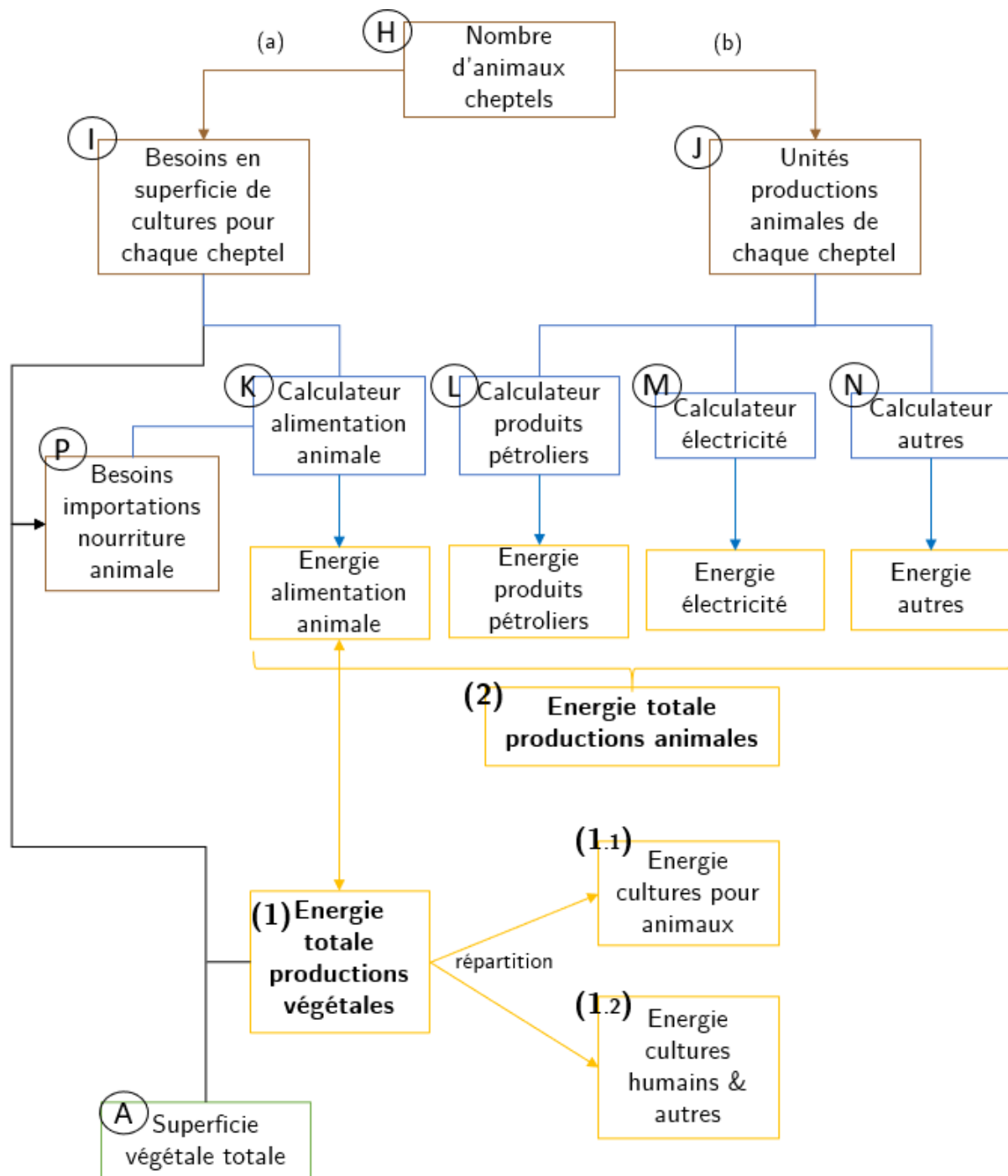


Figure 9 - Schéma des calculs des productions animales, Baufayt 2022

Certaines transformations sont nécessaires pour passer de l'input H aux inputs I et J et celles-ci sont représentées par les lettres (a) et (b). La branche du schéma qui découle de la transformation (b) est tout d'abord explorée.

2.4.2 Transformation (b) et input J

L'input J est composé de M_i , soit le poids annuel de croissance (ou poids vif) ou le nombre de litres [kg ou millier de litres] attribué à chaque production animale. La transformation (b) pour passer de H à J est représentée à la Figure 10.

Chaque cheptel est réparti en différents modes d'élevage. Pour le cheptel porcin, à chaque mode d'élevage est associé un poids propre final de l'animal. Plusieurs porcs peuvent être élevés à la suite au cours d'une année, et un nombre de cycles est donc attribué à chaque mode d'élevage. La multiplication de ces trois facteurs donne un poids vif sur l'année M_i .

Pour les poules pondeuses, M_i correspond au poids total d'œufs pondus. Tout comme pour les autres cheptels, les poules pondeuses sont réparties en mode d'élevage et à chaque catégorie est associée une productivité en nombre d'œufs pondus par poule et par an. La multiplication de ces deux facteurs par le poids unitaire moyen d'un œuf donne le M_i .

Pour les poulets de chair et les bovins de type viandeux, le calcul de M_i est le même que pour le cheptel porcin, à la différence que pour les bovins de type viandeux, la notion de cycle n'apparaît pas (car ils vivent plus d'un an) et on calcule M_i via l'évolution annuelle de poids vif associée à chaque mode d'élevage. Pour les bovins laitiers, à chaque catégorie est associée une productivité en L/an et M_i correspond au nombre de milliers de litres de lait produit.

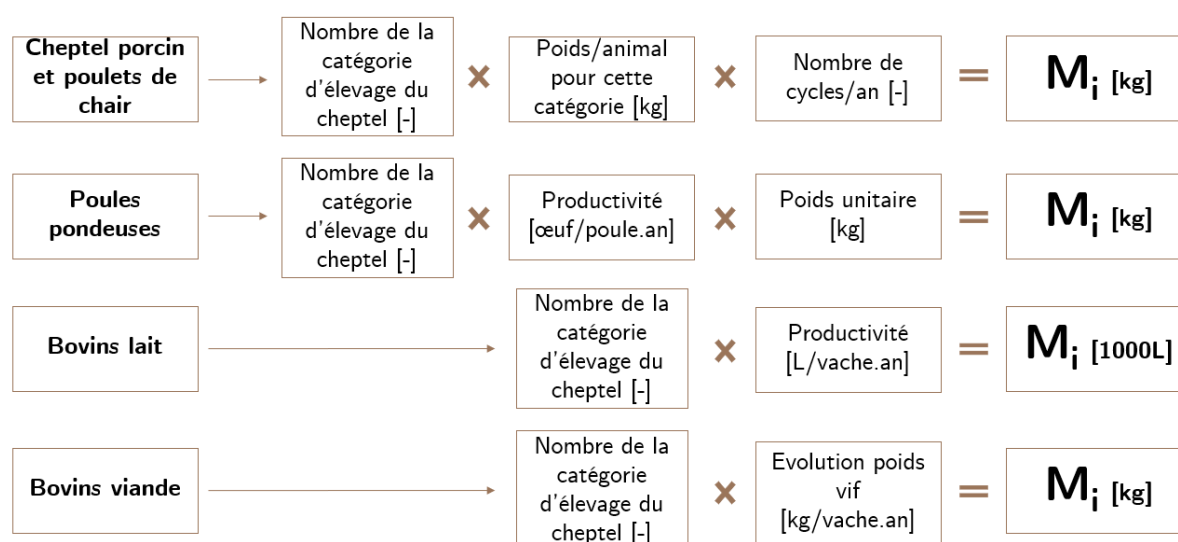


Figure 10 - Transformation (b) pour le calcul des M_i des cheptels, Baufayt 2022

Les résultats pour les différents cheptels se trouvent dans les Tableaux 11 à 14.

Tableau 11 - Calculs des M_i cheptels porcins et poulets de chair, 2019

Cheptel	Modes d'élevage et nombre		Nombre de cycles [-]	Poids/animal pour la catégorie [kg]	Poids total [kg]
Porcin	Conventionnel	275 951	2,6	110	110 377 718
	Certifié	86 965	2,6	110	
	Différentié	15 124	2,5	120	
	Bio	6 822	2,5	120	
Poulets de chair	Conventionnel	392 990	7	2,2	85 786 851
	Certifié	5 052 725	7	2,2	
	Différentié	56 141	5,5	2,3	
	Bio	112 283	4,5	2,4	

Tableau 12 - Calculs des M_i cheptels poules pondeuses, 2019

Cheptel	Modes d'élevage et nombre		Productivité [œuf/poule.an]	Poids unitaire œuf [kg]	Poids total œufs [kg]
Poules pondeuses	Conventionnel	767 242	327	0,063	36 586 027
	Certifié	410 385	321	0,063	
	Différentié	410 385	321	0,063	
	Bio	214 114	310	0,063	

Tableau 13 - Calculs des M_i cheptels bovins viande, 2019

Cheptel	Modes d'élevage et nombre		Évolution poids vif [kg/vache.an]	Évolution poids vif total année [kg]
Bovins viande	FR extensif maïs (FR E M)	24 216	363	98 099 016
	FR extensif herbe (bio) (FR E H)	24 216	373	
	BBB semi-intensif maïs (BBB SI M)	58 118	438	
	BBB semi-intensif herbe (BBB SI H)	43 589	431	
	BBB extensif maïs (BBB E M)	43 589	430	
	BBB extensif herbe (BBB E H)	48 432	357	

Tableau 14 - Calculs des Mi cheptels bovins lait, 2019

Cheptel	Modes d'élevage et nombre		Productivité [1000 L/vache.an]	Production de lait année [1000 L]
Bovins lait	Herbe maïs cultures diversifiées intensif (H M CD I)	47 677	8,150	1 385 711
	Herbe maïs cultures diversifiées semi intensif (H M CD SI)	17 879	4,413	
	Herbe maïs intensif (H M I)	63 569	7,677	
	Herbe maïs semi-intensif (H M SI)	21 852	4,939	
	Herbe cultures diversifiées (H CD)	5 960	6,256	
	Herbe intensif (H I)	29 798	7,486	
	Herbe extensif (H E)	11 919	5,197	

2.4.3 Calculateurs L, M et N

À partir de l'input J sont calculées les consommations en énergie associées aux postes des produits pétroliers (L), de l'électricité (M) et des autres consommations (N, comprenant le bâti agricole, les matériels et autres) via l'équation suivante, avec E_{poste} l'énergie des productions animales pour le poste concerné [TJ], M_i le poids ou nombre de litres [kg ou millier de litres] calculés précédemment et $\bar{E}_i$ l'énergie moyenne utilisée par unité de cette même production et pour ce même poste [TJ/unité].

$$E_{\text{poste}} = \sum M_i \times \bar{E}_i$$

Les références PLANETE 2010 pour la France sont utilisées pour les valeurs des différentes $\bar{E}_i$ (Bochu et Al., 2010). Il s'agit de synthèses des nombreux bilans PLANETE (au nombre de 3670) réalisés à l'échelle de l'exploitation, qui calculent les consommations d'énergie et les émissions de GES et permettent de les répartir selon différents postes, comme c'est le cas pour les productions végétales. Les références sont reprises sur diverses fiches par production animale.

Le Tableau 15 donne les correspondances des fiches utilisées pour les différentes productions animales étudiées. Pour l'atelier « bovins viande », les consommations pour l'atelier viande de type naisseur sont retenues étant donné que le naissage a plutôt lieu en Wallonie et la finition en Flandres (Riera et al. 2019).

Tableau 15 - Productions animales étudiées et fiches correspondantes

Production animale	Fiche / référentiel
Bovins lait	Références PLANETE fiche n°2
Porcs	Références PLANETE fiche n°7
Volaille de chair	Références PLANETE fiche n°8
Bovins viande	Références PLANETE fiche n°10
Volaille pondeuse	Guide GEST'IM+ référentiel, Cas d'Etude : exemple de la production d'œufs

Le Tableau 16 est construit à partir de ces fiches et présente la répartition des $\bar{E}_i$ par atelier, sans l'atelier « alimentation animale » dont le calcul est expliqué ci-après via l'autre branche de la Figure 9.

Tableau 16 - Valeurs de consommations énergétiques par poste et total pour différentes productions animales sans l'alimentation animale [MJ/unité], RefPLANETE2010 et référentiel GEST'IM +

Poste Production [unité]	Produits pétroliers [MJ/unité]	Électricité [MJ/unité]	Autres [MJ/unité]	TOTAL sans alimentation animale [MJ/unité]
Bovins viande [kg]	10,509	2,162	9,868	22,539
Bovins lait [x1000L]	1 115	858	1 179	2152
Volaille de chair [kg]	1,335	0,552	1,54	3,427
Porcs [kg]	1,119	3,039	1,884	6,042
Volaille pondeuse [kg d'œufs]	0,0	0,0	4,120	4,120

2.4.4 Transformation (a) et input I

L'autre branche de la Figure 9 s'intéresse aux consommations du poste de l'alimentation animale. Pour ce faire, les besoins en nourriture de chaque cheptel sont calculés via la transformation (a) de H en I. Celle-ci est présentée à la Figure 11 pour les cheptels avicoles et porcins et à la Figure 12 pour les cheptels bovins lait et viande.

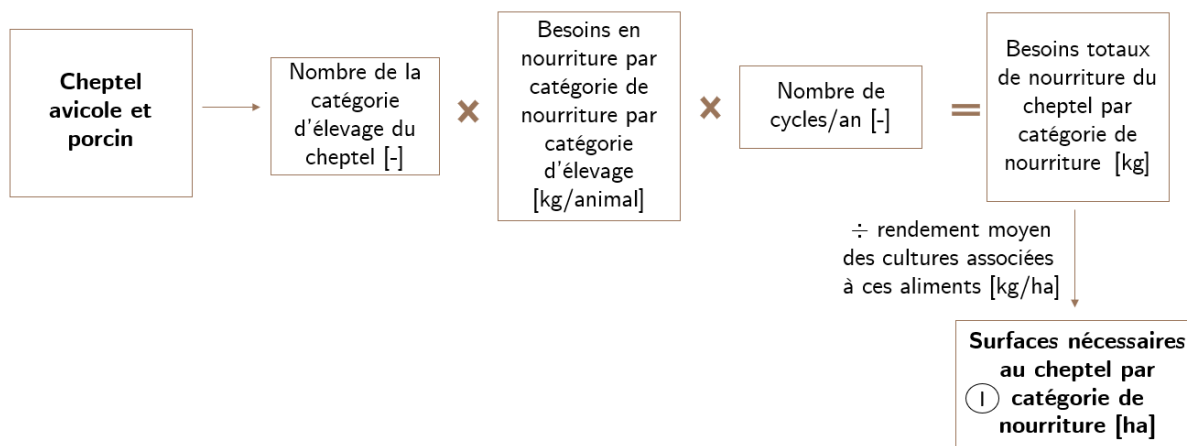


Figure 11 - Transformation (a) pour les besoins en nourriture en ha pour les cheptels avicoles et porcins

A chaque mode d'élevage des cheptels porcins et avicoles est associée une consommation de nourriture par animal. La quantité nécessaire totale [kg] est calculée en multipliant ce tableau par le nombre d'animaux des modes d'élevages et le nombre de cycles attribué s'il existe (voir Tableau 11 et Tableau 12). Elle est ensuite divisée par le rendement moyen de ces cultures pour obtenir le nombre d'hectares de cultures nécessaires à l'alimentation des cheptels (input I).

Tableau 17 - Répartition de l'alimentation des cheptels porcins et avicoles, (Antier, Riera et Baret, 2019)

Cheptel	Modes d'élevage	Kg de nourriture ³	Composition en % de masse					
			Blé / triticales	Mais	Orge	Soja	Protéagineux / oléagineux	Autres (vitamines, minéraux)
Porcs	Conv. ⁴	297,00	30%	15%	20%	13%	12%	10%
	Certifié	297,00	30%	15%	20%	13%	12%	10%
	Différentié	324,00	30%	15%	20%	12%	18%	5%
	Bio	396,00	22%	30%	15%	14%	15%	4%
Poules pondeuses	Cages	41,10	24%	44%	/	20%	0%	12%
	Intérieur	44,20	24%	44%	/	20%	0%	12%
	Plein air	46,80	26%	40%	/	15%	8%	11%
	Bio	46,70	26%	40%	/	15%	8%	11%
Poulets de chair	Conv.	3,74	50%	15%	/	20%	7%	8%
	Certifié	3,74	50%	15%	/	20%	7%	8%
	Différentié	5,52	35%	35%	/	20%	5%	5%
	Bio	6,24	35%	30%	/	26%	4%	5%

³ Pour les porcs et les poulets de chair, il s'agit du nombre de kg de nourriture par animal, tandis que pour les poules pondeuses, il s'agit du nombre de kg de nourriture par animal par an.

⁴ Conv. veut dire conventionnel.

Les calculs sont les mêmes pour les cheptels bovins, à la différence que les cultures associées à leur alimentation ne sont pas toutes similaires et qu'ici, les besoins en nourriture par animal sont directement calculés en hectares (Tableau 18, Figure 12).

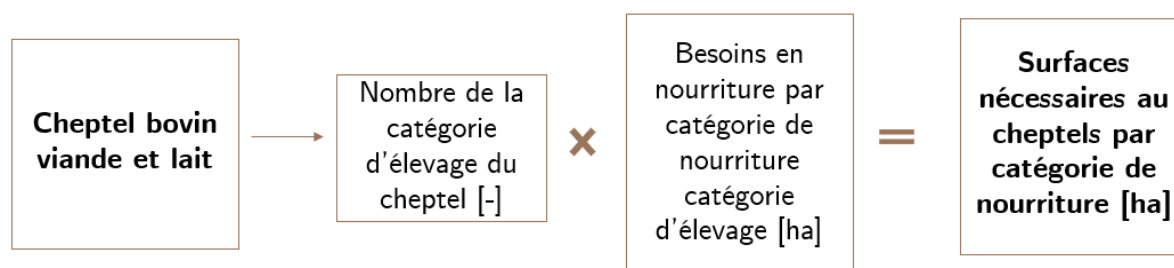


Figure 12 - Transformation (a) pour les besoins en nourriture en ha pour les cheptels bovins

Tableau 18 - Besoins des cheptels bovins et leur suite par type de nourriture en ha et par an (Petel, Antier, et Baret 2019a; 2019b)

Cheptel	Modes d'élevage	Besoins par vache en ha/an					
		Prairie permanente	Prairie temporaire	Maïs de fourrage	Autres fourrages	Concentrés céréales	Autres concentrés
Bovin lait	H M CD I	0,33	0,08	0,23	0,04	0,1	0,02
	H M CD SI	0,57	0,07	0,18	0,07	0,06	0,01
	H M I	0,55	0,03	0,15	0	0,07	0,02
	H M SI	0,64	0,01	0,13	0,01	0,04	0,01
	H CD	0,77	0,14	0	0,14	0,09	0,01
	H I	0,87	0	0	0	0,07	0,02
	H E	0,98	0,03	0	0	0,04	0,01
Bovin viande	FR E M	0,83	0,03	0,08	0,03	0,03	0
	FR E H (bio)	1,45	0,05	0	0,08	0,03	0,02
	BBB SI M	0,51	0,07	0,1	0,03	0,05	0,02
	BBB SI H	0,62	0,08	0	0,01	0,05	0,02
	BBB E M	0,89	0,04	0,09	0,01	0,07	0,01
	BBB E H	1,17	0,16	0	0,01	0,06	0,01

2.4.5 Calculateur K, inputs A et P et valeurs d'énergies (1), (1.1), (1.2) et (2)

Les besoins en superficie de cultures pour chaque cheptel sont mis en vis-à-vis de l'offre en superficie des productions végétales wallonnes. En effet, une partie des besoins en aliments pour animaux est couverte par les productions végétales de la Wallonie, mais certaines cultures comme le soja sont importées pour nourrir les cheptels wallons ou ne sont pas suffisantes pour couvrir la demande des cheptels.

La différence entre les inputs A et I permet donc de déterminer les besoins en importations de nourriture animale (sans prendre en compte les flux d'exportation des cultures wallonnes) (input P).

Notons que l'énergie associée à la production des vitamines et minéraux pour les cheptels n'est pas assez bien renseignée dans la littérature et n'est donc pas prise en compte.

Le calculateur K opère selon la Figure 13 à partir des inputs I et A et de l'énergie totale des productions végétales par culture (1).

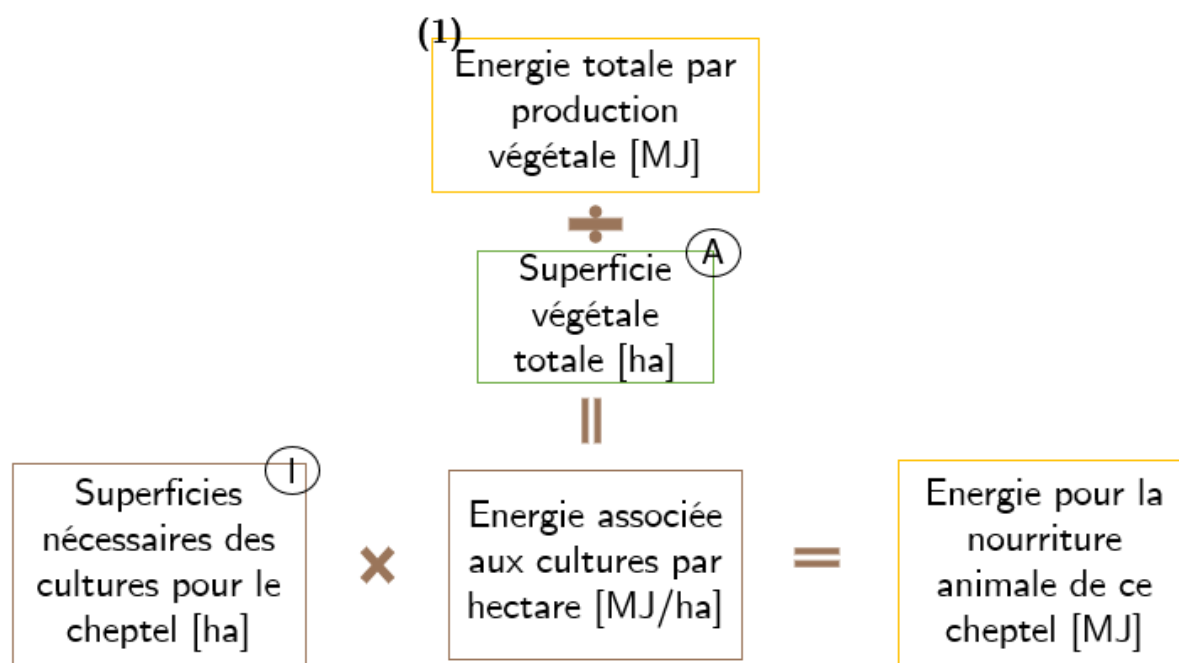


Figure 13 - Détails du calculateur K

Pour le soja, la superficie [ha] calculée est multipliée par l'énergie moyenne [MJ/ha] associée, qui est de 19 340 (Paris *et al.*, 2022).

Les résultats de consommations d'énergie pour l'alimentation des cheptels (sans ceux concernant les productions importées) permettent, en les comparant aux consommations des productions végétales (1), de répartir ces consommations de productions végétales en énergie liée aux cultures destinées aux animaux (1.1), et celles liées aux consommations humaines et autres (1.2).

Enfin, l'ajout des consommations en énergie pour l'alimentation des cheptels à celles des autres postes de consommations donne les consommations d'énergie finales liées aux productions animales (2). L'énergie (1.1) fait donc partie du système « productions animales » et la somme des totaux d'énergie (2) et (1.2) donne donc l'énergie totale du système agricole wallon.

Les résultats finaux sont de l'ordre de milliers de TJ, qui correspondent à 10^{12} J.

2.5 Type de carburant

Après avoir calculé les totaux de consommations d'énergies des productions animales et végétales, les différents postes considérés sont transformés en type de carburant. Pour ce faire, les postes « carburant » des productions végétales et « produits pétroliers » des productions animales sont regroupés en un seul poste « produits pétroliers ». Les postes « autres » des deux productions sont également sommés. Les postes ainsi formés sont représentés dans les colonnes du Tableau 19.

Ce Tableau 19 permet de convertir les consommations d'énergie des différents postes en type de carburant. Le poste « autres » est réparti en ces différents vecteurs grâce aux informations des fiches de référence du Tableau 15, le Tableau 19 montrant ici cette répartition dans le cas de la situation de 2019 comme exemple. La répartition de l'énergie pour la manufacture des PPP se fait via une étude de l'estimation des émissions de gaz à effet de serre pour la fabrication et l'utilisation des pesticides (Audsley *et al.*, 2009). Quant à l'énergie liée aux engrais, elle est entièrement considérée comme du gaz naturel : il est à la fois une matière première (80 %) et la source d'énergie nécessaire pour obtenir la réaction de synthèse (20 % pour chauffer le processus et produire de l'électricité) selon le procédé le plus répandu (Haber-Bosch) (Zalewski, 2020).

Tableau 19 - Transformation des consommations d'énergie des postes (colonnes) en type de carburant (lignes).

Poste et type de carburant	Répartition finale				
	Produits pétroliers	Engrais	PPP	Électricité	Autres
Pétrole et produits pétroliers	100%	0%	30,75%	0%	13%
Gaz naturel	0%	100%	17,27%	0%	34%
Électricité	0%	0%	30,52%	100%	23%
Chaleur	0%	0%	21,47%	0%	29%
Renouvelable	0%	0%	0%	0%	0%
Combustibles fossiles solides	0%	0%	0%	0%	0%

N'ayant pas de données quant à la consommation d'énergie renouvelable et de combustibles fossiles solides, les lignes attribuées restent vides.

2.6 Production d'énergie

Si le secteur agricole wallon est consommateur d'énergie, il en produit également. Pour nous intéresser aux productions actuelles et aux potentiels en matière de valorisation de la biomasse, nous pouvons nous référer aux travaux de ValBiom, une ASBL qui stimule et facilite la concrétisation d'initiatives durables intégrant la production de biomasse et sa transformation en énergies et matériaux (Valbiom, 2022).

Du côté des autres énergies renouvelables, un mémoire de fin d'études réalisé en 2020 par Clémence Dereux, étudiante à Gembloux Agro-Bio Tech, explore leur production actuelle par les agriculteurs wallons et les perspectives de développement (Dereux, 2020). Il se base sur les travaux cités ci-dessus pour l'estimation du potentiel de la biométhanisation. Elle s'intéresse au photovoltaïque (PV) sur bâti agricole et au sol via l'installation sur des prairies pâturées par des ovins. Au niveau de l'éolien, les résultats sont assez mitigés, à cause du fait que « le coût de revient⁵ de son électricité ne permet pas d'assurer la rentabilité et les aides publiques sont encore clairement nécessaires » et leur potentiel de développement domestique (au niveau de la ferme) n'a pas été pris en compte (Dereux, 2020).

⁵ Le coût de revient correspond à la somme de l'ensemble des charges directes et indirectes, supportées par l'entreprise pour produire un bien ou offrir un service, rapportée à la quantité de biens produits ou de services rendus.

3 Scénarios d'évolution du secteur

Le premier objectif de ce travail est de quantifier les consommations énergétiques du secteur agricole wallon à l'heure actuelle (pour l'année 2019). Les différents inputs et calculateurs de l'outil Excel créé sont ensuite paramétrés selon des scénarios d'évolution du secteur à l'horizon 2050. Dans cette section sont détaillés les scénarios d'évolution de la littérature pris en compte, avant la synthèse du choix des scénarios évalués.

3.1.1 Scénarios pris en compte

Le choix des scénarios s'oriente vers ceux proposés par SYTRA, une équipe de recherche de l'Université Catholique de Louvain qui s'intéresse aux systèmes agricoles et alimentaires, aux défis et opportunités rencontrés et aux processus de transformation et transition associés (Sytra, 2020).

L'un des travaux proposés se nomme « Des scénarios pour une agriculture moins dépendante des intrants en Wallonie » et utilise une démarche prospective qui consiste à élaborer plusieurs scénarios futurs à partir d'un état des lieux actuel du secteur. Les scénarios sont décrits avec leurs conséquences et accompagnés d'une réflexion sur les facteurs qui peuvent influencer leur réalisation (freins et leviers) (Baret et Antier, 2019). Ce travail se concentre sur quatre filières : les céréales, les pommes de terre et les secteurs bovins lait et viande qui représentent environ 70 % de la valeur ajoutée brute de l'agriculture wallonne.

A cela s'ajoute un autre scénario qui s'intéresse à la filière légumière (Riera, Antier et Baret, 2020). Les secteurs porcins, de poules pondeuses et de chairs sont également étudiés dans le document « Scénarios à horizon 2050 pour le secteur de l'élevage belge » (Riera, Antier et Baret, 2019). Celui-ci s'intéresse également aux cheptels bovins viande et lait, avec des paramètres différents pour les scénarios que ceux cités précédemment. La question de l'alimentation humaine en protéines animales est évoquée avec diverses évolutions de régime.

Les scénarios choisis sont déclinés par filière dans les Tableaux 20 à 25. A chaque scénario sont associés des changements dans les blocs de la Figure 6 et de la Figure 9 détaillant les productions végétales et animales (section 2). Les inputs principalement affectés au niveau des productions végétales sont les blocs B et C via la répartition de la superficie des cultures selon les différents modes de production, le calculateur D avec l'utilisation d'azote qui découle de cette même répartition, mais aussi avec les modifications des quantités amendées ainsi que le calculateur E avec des impacts via les consommations de PPP.

Au niveau des productions animales, ce sont le bloc H ainsi que les processus (a) et (b) avec la répartition des cheptels selon les modes d'élevages et les productivités et besoins associés qui sont impactés.

Le Tableau 20 donne les principales caractéristiques des scénarios retenus pour les céréales. A cela s'ajoutent plusieurs hypothèses traitant de l'évolution des modes de production à l'horizon 2050 dans tous les scénarios. La première stipule une augmentation de la productivité de 10 % pour l'agriculture conventionnelle et raisonnée, et de 20 % pour l'agriculture écologiquement intensive et l'agriculture biologique (impact sur le bloc O). La seconde stipule une réduction de l'utilisation des intrants (engrais et PPP) de 20 % pour tous les modes de production (impact sur le bloc D). La troisième stipule que la sole (superficie) céréalière soit constante au cours du temps et que sa répartition selon différentes cultures reste la même.

Tableau 20 - Hypothèses et changements retenus, filière céréales, rapport SYTRA (Riera et al. 2020)

Scénario	Hypothèses principales	Changements
C_BAU	Poursuite des tendances d'évolution de la part des modes de production observées sur la période 2005-2015 (impact sur B et C) amenant à la disparition de l'agriculture conventionnelle intensive et remaniement des autres modes de production	La part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 72 %, celle d'AEI à 21 % et d'AB à 7 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 34 %
C_Transition 1 = C_T1	Évolution de la part des modes de production pour atteindre une diminution de l'utilisation d'intrants en RW (objectif de 50 % d'utilisation de PPP en moins) (impact sur B, C et E)	La part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 47 %, celle d'AEI à 32 % et d'AB à 21 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 50 %
C_Transition 2 = C_T2	Évolution de la part des modes de production pour atteindre une diminution de l'utilisation d'intrants en RW (objectif de 70 % d'utilisation de PPP en moins) (impact sur B, C et E)	La part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 14 %, celle d'AEI à 44 % et d'AB à 42 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 71 %

Pour la filière légumière (Tableau 17), les quatre cultures principales sont étudiées : les petits pois, haricots verts, carottes et oignons (Riera et al., 2020). La filière légumière est divisée en deux : soit il s'agit d'une filière transformée, soit d'une filière du frais, la différence entre les deux étant les modes de productions. Pour les scénarios, la superficie des différentes cultures et filières est supposée constante, tout comme les rendements. Les parts des filières transformées et du frais sont prises en compte pour calculer les parts des types d'agriculture.

Tableau 21 - Hypothèses et changements retenus, filière légumière (Riera et al. 2020)

Scénario	Hypothèses principales	Résultats
L_BAU n°1 = L_BAU1	Disparition système conventionnel de la filière transformée et développement du bio (impact sur B et C) ; Avancées technologiques permettant un potentiel de réduction des traitements PPP d'environ 15 % dans les deux filières (impact sur E)	Petits pois et haricots verts : la part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 72 %, celle d'AEI à 0 % et d'AB à 28 % ; Carottes : la part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 66 %, celle d'AEI à 0 % et d'AB à 34 % ; Oignons : la part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 64,6 %, celle d'AEI à 0 % et d'AB à 35,4 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 33 %
L_BAU n°2 = L_BAU2	Les hypothèses sont les mêmes que pour le BAU, mais les avancées technologiques plus poussées, permettant un potentiel de réduction des traitements PPP plus élevé (impact sur E)	Pour les quatre cultures, la part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 69 %, celle d'AEI à 0 % et d'AB à 31 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 41 %
L_Transition = L_T	Développement important du bio (impact sur B et C) ; Améliorations technologiques similaires à celles du BAU (impact sur E)	Pour les quatre cultures, la part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 49 %, celle d'AEI à 0 % et d'AB à 51 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 44 %

Pour les pommes de terre (Tableau 22), plusieurs hypothèses s'ajoutent également aux scénarios déclinés. La première table sur un maintien de la superficie dédiée aux pommes de terre, avec la disparition progressive des systèmes non économes (impact sur B et C). En effet, « bien que cette superficie ait montré une forte tendance d'augmentation au cours des dix dernières années, la superficie aujourd'hui utilisée approche d'un maximum viable pour des raisons de durabilité agronomique et environnementale étant donné la durée des rotations nécessaires et le niveau d'utilisation de PPP en culture de pommes de terre » (Antier, Petel et Baret, 2019b). Le niveau d'utilisation de PPP pour chaque mode de production se maintient également, alors que celui des engrais diminue de 10 % par unité de surface d'ici 2030 et reste fixe ensuite jusqu'à 2050 (impact sur D via les quantités amendées). Le rendement tend lui à augmenter de 1 % par an entre 2015 et 2030 et se stabilise par la suite (aussi jusqu'à 2050).

Tableau 22 - Hypothèses et changements retenus, filière pommes de terre (Antier, Petel et Baret, 2019b)

Scénario	Hypothèses principales	Résultats
P_BAU	Augmentation annuelle de la surface de bio de 3 % (impacts sur B et C)	La part d'AC passe à 9 %, celle d'ACR à 56 %, celle d'AEI à 31 % et d'AB à 4 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 12 %
P_Transition 1 = P_T1	Augmentation annuelle de la surface de bio de 6 % (impacts sur B et C)	La part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 40 %, celle d'AEI à 50 % et d'AB à 10 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 28 %
P_Transition 2 = P_T2	Augmentation annuelle de la surface de bio de 8 % (impacts sur B et C)	La part d'AC passe à 0 %, celle d'ACR à 24 %, celle d'AEI à 63 % et d'AB à 13 % ; L'utilisation de PPP diminuerait de 43 %

Le document concernant le cheptel bovin laitier (Tableau 23) prolonge les tendances actuelles de diminution du cheptel, avec une chute à 169 020 vaches laitières en 2030 ; ce nombre reste constant entre 2030 et 2050. A cela s'ajoutent une augmentation de la productivité [L/an] de tous les modes d'élevage de 10 % et une diminution de l'utilisation de PPP et d'engrais azotés de 20 % pour les prairies permanentes et temporaires liées à l'élevage laitier.

Tableau 23 - Hypothèses et résultats retenus, cheptels bovins lait (Petel, Antier et Baret, 2019a)

Scénario	Hypothèses principales	Changements
Lait_BAU = Lait_BAU	Prolonge les tendances actuelles	Seuls les modes d'élevage H E (6 % des animaux), H CD (11 %), H M I (34 %), H M CD SI (9 %) et H M CD I (40 %) persistent
Lait_Transition = Lait_T	Même chose, avec favorisation des systèmes à moindre utilisation d'intrants (objectif de 25 % d'aliments concentrés en moins)	Les modes d'élevage qui persistent sont les suivants : H E (38 % des animaux), H CD (30 %), H M CD SI (4 %) et H M CD I (28 %)

Au niveau du cheptel bovin viande, l'hypothèse d'évolution du nombre de vaches est similaire à celle du bovin lait. Dans le scénario tendanciel et de transition, leur nombre chute à 183 205 en 2030 et reste constant entre 2030 et 2050 (Tableau 24).

Tableau 24 - Hypothèses et changements retenus cheptels bovins viande (Petel, Antier et Baret, 2019b)

Scénario	Hypothèses principales	Changements
Viande_BAU = V_BAU	Prolonge les tendances actuelles	La part de modes d'élevage passe à 12 % de FR E M, 20 % de FR E H, 42 % de BBB SI M, 15 % de BBB SI H, 8 % de BBB E M et 3 % de BBB E H
Viande_Transition = V_T	Même chose avec favorisation des systèmes à moindre utilisation d'intrants	La part de modes d'élevage passe à 17 % de FR E M, 38 % de FR E H, 22 % de BBB SI M, 8 % de BBB SI H, 5 % de BBB E M et 10 % de BBB E H

L'hypothèse de diminution de l'utilisation de PPP et d'engrais azotés de 20 % pour les prairies permanentes et temporaires liées à l'élevage est également prise en compte.

Le Tableau 25 est dédié aux scénarios Greenpeace qui concernent les cheptels avicoles et porcins. Dans le cas des scénarios Greenpeace 1 et 2, les cheptels bovins sont également évalués.

Tableau 25 - Hypothèses et changements retenus, cheptels avicoles (poules pondeuses et de chair), porcins et bovins

Scénario	Hypothèses princ.	Changements
Greenpeace_BAU = G_BAU	Prolongation des dix dernières années (impact sur H, a et b) pour les cheptels avicoles et porcins	Augmentation du cheptel porcin de 7 % avec les modes d'élevages conventionnels passants à 40 %, certifiés à 50 %, différenciés à 8 % et bio qui reste à 2 % ; Baisse des populations de poules pondeuses de 7 %, avec les modes d'élevage de cages passant à 35 % du total, d'intérieur à 44 %, de plein air à 15 % et le bio à 6 % ; Populations de poulets de chair qui passent à 4 730 933 individus avec les modes d'élevage conventionnels qui passent à 0 %, certifiés à 94 % et différenciés et organiques à 3 % chacun
Greenpeace_1 = G1	Adaptation des cheptels pour réduire les émissions de GES et utilisation des ressources nationales pour les nourrir ; Augmentation de la production biologique ; Remplacement des protéines de soja importé par des protéines végétales d'origine européenne	Cheptel bovin constitué uniquement de vaches laitières (au nombre de 351 089) composé en fonction de la surface de prairies : 50 % de H E et 50 % de H CD en Wallonie ; 70 % de modes d'élevage extensif (différenciés pour les poulets de chair et porcs et plein air pour les poules pondeuses) et 30 % de biologiques pour les cheptels avicoles et porcins et des populations de porcs qui diminuent de 63 % (à 140 513 individus), de poulets de chair qui diminuent de 70 % (à 1 153 108 poulets) et de poules pondeuses qui diminuent de 56 % (à 498 096 poules)
Greenpeace_2 = G2	Taille des cheptels avicoles et porcins basée sur les co-produits disponibles à l'échelle nationale et européenne ; remplacement du soja comme pour Greenpeace 1	Cheptel bovin le même que dans le scénario Greenpeace 1 ; Forte réduction des effectifs des cheptels avicoles (à 114 695 pour les poules pondeuses, à 429 630 pour les poulets de chair) et porcins (à 25 000) qui sont tous à 100 % en mode d'élevage biologique ; Ici, seule compte l'énergie pour les prairies pour la nourriture des cheptels

3.2 Association des scénarios

La synthèse des différents scénarios retenus précédemment donne cinq scénarios à l'horizon 2050 (Tableau 26). Au niveau des scénarios Greenpeace 1 et 2, les scénarios de transition des filières céréales, pommes de terre et légumières sont choisis comme hypothèses en raison de leur impact moindre sur l'environnement (Antier, Petel et Baret, 2019b; Riera, Antier et Baret, 2020).

Tableau 26 - Scénarios retenus pour les calculs

Scénario	Céréales	Légumes	Pdt	Bovin lait	Bovin viande	Cheptels avicoles et porcins
BAU	C_BAU	L_BAU1	P_BAU	Lait_BAU	Viande_BAU	G_BAU
T1 – Transition 1	C_T1	L_BAU2	P_T1	Lait_T	V_T	G_BAU
T2 – Transition 2	C_T2	L_T	P_T2	Lait_T	V_T	G_BAU
G1 – Greenpeace 1	C_T2	L_T	P_T2	G1	G1 (0)	G1
G2 – Greenpeace 2	C_T2	L_T	P_T2	G1	G1 (0)	G2

Les scénarios T1 et T2 diffèrent seulement au niveau des productions végétales. Les scénarios T2, G1 et G2 sont les mêmes au niveau des productions végétales et différents au niveau des productions animales, avec le scénario G2 qui ne compte que sur les prairies wallonnes au niveau de son alimentation, le reste étant fourni par les co-produits céréaliers et protéagineux belges et européens.

4 Résultats

Les résultats sont calculés sur base des tableaux de la section 2 de ce travail. Ils sont tout d'abord répartis par scénario évalué (en commençant par l'état de la situation actuelle) et ensuite comparés et discutés. Étant donné que les scénarios ne touchent qu'aux productions végétales des catégories « céréales », « pommes de terre », « légumes en plein air » et « prairies », les résultats sont d'abord présentés séparément à l'aide de deux tableaux pour le bilan énergétique actuel. Le premier (Tableau 27) est un tableau « mobile », qui change en fonction des différents scénarios et le second (Tableau 28) est fixe pour tous les scénarios et n'est donc qu'affiché une seule fois.

4.1 Bilan énergétique actuel (2019)

La consommation énergétique totale de l'agriculture en 2019 est de 17 657 TJ qui se répartissent en 4 918 TJ liées aux productions végétales et 12 739 TJ liées aux productions animales (y compris la consommation des productions végétales wallonnes utilisées pour nourrir les animaux). 1013 TJ sont liés à la nourriture importée pour les animaux.

4.1.1 Productions végétales

Les chiffres de consommations des différents postes pour les cultures dont l'énergie associée change en fonction des scénarios sont présentés au Tableau 27. L'énergie liée au poste des engrais azotés synthétiques, après avoir été calculée par production, est exprimée par surface [MJ/ha] (poste azote). Les surfaces sont multipliées par le total des ateliers et par un facteur de 10^{-6} pour passer des MJ au TJ.

Tableau 27 - Calcul de l'énergie des productions végétales considérées comme mobiles pour les scénarios, 2019

Catégorie	Culture	Surface [ha]	Postes [MJ/ha]					TOTAL [TJ]
			Carbu. ⁶	PPP	Azote	Autres	Totaux postes	
Céréales	Froment d'hiver	125 608	6 811	763	9 472	467	17 513	2 199,8
	Orge d'hiver	28 047	4 500	625	8 054	3 330	16 509	463,0
	Triticale	4 035	3 013	224	6 562	2 392	12 191	49,2
	Épeautre et au.	27 154	4 801	621	6 562	1 530	13 514	367,0
Pommes de terre		43 056	7 330	4 775	9 413	11 940	33 458	1440,6
Légumes en plein air	Pois	8 865	4 801	799	373	1 530	7 503	66,5
	Haricots verts	3 315	4 801	840	3 126	1 530	10 297	34,1
	Carottes	1 585	11 212	16 517	1 260	47 418	76 407	121,1
	Oignons	1 235	8 901	2 464	2 998	48 688	63 051	77,9
	Autres	3 201	4 801	630	2 998	1 530	9 959	31,9
Prairies	Prairies perm.	309 180	3 121	14	3 591	1 000	7 726	2 388,8
	Prairies temp.	36 636	3 121	23	5 132	1 000	9 276	339,8
Total		591 917	/	/	/	/	/	7 579,7

⁶ Carbu. = carburant

Les cultures dites « fixes » sont présentées au Tableau 28 qui fonctionne de la même manière que le précédent.

Tableau 28 - Calcul et résultats de l'énergie des productions végétales considérées comme fixes pour les scénarios

Tout scénario confondu			Postes [MJ/ha]					TOTAL [TJ]
Catégorie	Culture	Surface [ha]	Carbu.	PPP	Azote	Autres	Totau x postes	
Cultures industrielles	Betteraves sucrières	38 835	5 400	1 726	5 473	185	12 784	496,4
	Lin	10 535	4 801	630	4 384	1 530	11 345	119,5
	Colza et navette	8 588	2 150	850	9 683	10	12 693	109,0
	Chicorée	7 208	4 801	630	1 473	1 530	8 434	60,8
	Autres cultures industrielles	893	4 801	630	4 380	1 530	11 341	10,1
Légumineuses récoltées en grains secs		3 807	4 801	630	0	1 530	6 961	26,5
Fourrages	Maïs fourrager et fourrage vert annuel	57 390	4 223	349	1 899	1 043	7 514	431,2
	Betteraves fourr. et autres plantes sarclées	1 080	4 801	1 558	3 582	1 530	11 471	12,4
	Légumineuses fourragères	3 654	4 801	630	0	1 530	6 961	25,4
Cultures permanentes	Vergers et petits fruits ⁷	1 147	9 122	3 880	2 097	2 300	17 399	20,0
	Vignes	182	7 570	3 330	1 264	640	12 804	2,3
	Pommes	598	13 680	6 000	2 097	3 120	24 897	14,9
	Autres cultures permanentes	611	9 122	3 880	4 762	2 300	20 064	12,3
Terres arables non productives	Jachères et tournières enherbées	6 868	3 121	540	0	1 000	4 661	32,0
	Cultures sous serre	88	4 801	630	0	1 530	6 961	0,61
Autres	Cultures ornementales	29	4 801	630	0	1 530	6 961	0,2
	Semences et plants horticoles plein air	5	4 801	630	0	1 530	6 961	0,03
Total		141 518	/	/	/	/	/	1 373,6

⁷ Sans vignes et pommes

Les colonnes des surfaces et totaux des deux tableaux précédents sont additionnées pour donner le total de l'énergie des productions végétales. Celui-ci peut être divisé catégorie de surface (Tableau 29) et par poste de consommation (Tableau 30).

Tableau 29 - Distribution de l'énergie par catégorie de culture, 2019

Catégorie de culture	Total [TJ]	Pourcentage (%)
Céréales pour le grain	3 078,9	34
Prairies	2 728,5	31
Pommes de terre	1 440,6	16
Cultures industrielles	795,9	9
Fourrages	469,0	5
Légumes	331,5	4
Cultures permanentes	49,4	<1
Terres arables non productives	32,6	0
Légumineuses en grain sec	26,5	0
Autres	0,2	0
TOTAL	8 953,3	100

Les catégories de céréales et de prairies sont les plus grandes consommatrices, suivies des pommes de terre. Ces catégories, en y ajoutant les légumes, sont celles prises en compte dans les scénarios et sont responsables de 85 % de la consommation des productions végétales wallonnes.

Tableau 30 - Répartition de l'énergie totale des productions végétales par poste de consommation, 2019

Total énergie productions végétales [TJ]	Répartition par poste de consommation [TJ] (%)			
	Azote	Carburant	PPP	Autres
8 953	3 829 (43)	3 270 (36,5)	510 (5,5)	1 344 (15)

Le poste des engrais azotés de synthèse est le plus grand consommateur d'énergie suivi du poste carburant.

4.1.2 Productions animales

Les chiffres de consommations des différents postes pour les animaux et le total évalué de chaque cheptel pour l'année 2019 sont présentés au Tableau 31. Tout comme pour le poste de l'azote des productions végétales, l'énergie calculée pour le poste de l'alimentation animale est divisée par le poids calculé pour la catégorie afin d'obtenir des MJ/unité et ajouter cette valeur au total calculé pour les trois autres postes. Les bovins sont responsables de 80 % de l'énergie utilisée pour les productions animales, suivis en moindre proportion par les porcs (11 %), les poulets de chair (6 %) et les poules pondeuses (3 %).

Tableau 31 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, 2019

Catégorie [unité]	Nombre	Poids calculé	Postes [MJ/unité]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Prod. pét.	Elec .	Alim. anim.	Autres	Total		
Porcs [kg vv ⁸]	378 108	110 377 718	1,12	3,04	6,67	1,88	12,71	1 403,5	11
Poules pondeuses [kg œufs]	1 784 283	36 586 027	0	0	4,96	4,12	9,08	332,0	3
Poulets de chair [kg vv]	5 614 139	85 786 851	1,34	0,55	5,21	1,54	8,64	741,2	6
Bovins lait [x1000L]	202 825	1 385 711	1 115	858	1 089	1179	4 241	5 876,9	46
Bovins viande [kg vv]	260 239	98 099 016	10,51	2,16	22,16	9,87	44,70	4 385,4	34
TOTAL	/	/	/	/	/	/	/	12 739,0	100

Tout comme pour les productions végétales, l'énergie peut être distribuée entre les différents postes (Tableau 32). L'alimentation animale est de loin le poste le plus important de consommation.

Tableau 32 - Répartition de l'énergie totale des productions animales par poste de consommation, 2019

Total énergie productions animales [TJ]	Postes de consommation			
	Alimentation animale [TJ] (%)	Produits pétroliers [TJ] (%)	Électricité [TJ] (%)	Autres [TJ] (%)
12 739	5 049 (40)	2 814 (22)	1 784 (14)	3 093 (24)

4.1.3 Total des consommations

Des 5 049 TJ liées à l'alimentation animale, 1 013 TJ proviennent de productions végétales importées. La différence (soit 4 036 TJ) des consommations provient des productions végétales wallonnes. La répartition entre l'énergie consommée pour les productions végétales destinées à l'homme et à autre chose et les productions animales est donc la suivante (Tableau 33).

⁸ vv veut dire viande vive.

Tableau 33 - Consommation totale du secteur agricole wallon et répartition entre productions animales et végétales, 2019

Productions végétales	Production animales			Consommation totale d'énergie [TJ]
Consommations productions végétales humaines et autres [TJ]	Consommations productions végétales wallonnes cheptels [TJ]	Consommations productions végétales étrangères cheptels [TJ]	Autres consommations cheptels [TJ]	
4 918	4 036	1 013	7 690	17 657

4.1.4 Productions du secteur

Les installations biogaz en Wallonie ont produit 216 GWh_{électrique} et 274 GWh_{thermique} en 2019 (soit 778 TJ_{électrique} et 986 TJ_{thermique}). Parmi ceux-ci, 205 GWh_{électrique} ont été valorisés sur site ou revendus (hors autoconsommation), tout comme 172 GWh_{thermique} (Heneffe, 2020). Au niveau du photovoltaïque, la production actuelle totale par le secteur agricole wallon serait de l'ordre de 70 GWh, soit 252 TJ_{électrique} par an (Dereux, 2020).

4.1.5 Répartition par type de carburant et résultats généraux

Les postes des productions animales et végétales sont regroupés en cinq postes généraux regroupant les consommations totales du secteur. Ceux-ci sont présentés au Tableau 34 et le Tableau 19 permet de les transformer en type d'énergie. Les résultats sont présentés au Tableau 35. Celui-ci permet de comparer les consommations et productions d'énergie du secteur afin d'en calculer l'autonomie théorique.

Tableau 34 - Répartition du total des consommations du secteur agricole wallon par poste, 2019

Produits pétroliers [TJ]	Azote [TJ]	Électricité [TJ]	PPP [TJ]	Autres [TJ]
6 450	4 170	1 784	551	4 662

Tableau 35 - Répartition du total des consommations et des productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, 2019

Consommations, productions et autonomie	Pétrole et produits pétroliers	Gaz naturel	Électricité	Chaleur	Total
Consommations [TJ] (%)	7 342 (42)	5 846 (33)	3 010 (17)	1 459 (8)	17 657
Productions [TJ]	/	/	1 030	986	2 016
Autonomie théorique [%]	0	0	34	68	11,4

L'autonomie du secteur agricole wallon est de 11,4 % en 2019 grâce à ses productions d'électricité et de chaleur.

4.2 Scénario BAU

La consommation énergétique totale de l'agriculture calculée pour 2050 selon le scénario BAU est de 15 299 TJ qui se répartissent en 4 802 TJ liées aux productions végétales et 10 497 TJ liées aux productions animales, y compris la consommation des productions végétales wallonnes utilisées pour nourrir les animaux dont 511 TJ liées à la nourriture importée pour les animaux.

4.2.1 Productions végétales

Les consommations des productions végétales sont indiquées au Tableau 36, avec la ligne « autres catégories » qui reprend les résultats du Tableau 28 des catégories fixes. La répartition entre postes se trouve au Tableau 37.

Tableau 36 - Calcul de l'énergie des productions végétales, BAU

Catégorie	Culture	Surface [ha]	Postes [MJ/ha]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Carbu.	PPP	Azote	Autres	Total postes [MJ/ha]		
Céréales	Froment d'hiver	125 608	6 811	504	7 431	467	15 213	1 910,7	32
	Orge d'hiver	28 047	4 500	413	6 528	3 330	14 501	406,7	
	Triticale	4 035	3 013	148	3 441	2 392	8 994	36,3	
	Épeautre et aut.	27 154	4 801	410	3 441	1 530	10 182	276,5	
Pommes de terre		43 056	7 330	4 202	8 064	11 940	31 536	1 357,8	17
Légumes en plein air	Pois	8 865	4 801	536	0	1 530	6 867	60,9	4
	Haricots verts	3 315	4 801	563	2 367	1 530	9 261	30,7	
	Carottes	1 585	11 212	11 066	723	47 418	70 420	111,6	
	Oignons	1 235	8 901	1 651	3 187	48 688	62 427	77,1	
	Autres	3 201	4 801	630	2 998	1 530	9 959	31,9	
Prairies	Prairies perm.	309 180	3 121	11	2 873	1 000	7 005	2 165,8	30
	Prairies temp.	36 636	3 121	18	4 105	1 000	8 244	302,0	
Autres catégories		141 518	/	/	/	/	/	1 373,6	17
Total		733 435	/	/	/	/	/	8141,6	100

Les céréales restent la catégorie la plus consommatrice d'énergie, toujours suivie par les prairies et les pommes de terre. Au niveau des postes de consommation, le carburant devient le plus important (40 % de l'énergie consommée) devant les engrais azotés de synthèse (38 %).

Tableau 37 - Répartition de l'énergie totale des productions végétales par poste de consommation, BAU

Total énergie productions végétales [TJ]	Postes de consommation			
	Azote [TJ] (%)	Carburant [TJ] (%)	PPP [TJ] (%)	Autres [TJ] (%)
8 142	3 101 (38)	3 270 (40)	427 (5)	1 344 (17)

4.2.2 Productions animales

Les chiffres de consommations des différents postes pour les animaux et le total évalué de chaque cheptel pour le scénario BAU sont présentés au Tableau 38. Les bovins, dont le nombre et le poids calculé diminuent, sont responsables de 78 % de l'énergie utilisée pour les productions animales tandis que la part des porcs (14 %) augmente. Celle des poulets de chair reste la même et celle des poules pondeuses décroît avec leur nombre.

Tableau 38 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, BAU

Catégorie [unité]	Nombre	Poids calculé	Postes [MJ/unité]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Prod. pét.	Elec.	Alim. Anim.	Autres	Total		
Porcs [kg vv]	410 433	121 791 888	1,12	3,04	6,37	1,88	12,41	1511,2	14
Poules pondeuses [kg œufs]	1 088 451	22 110 489	0	0	4,94	4,12	9,06	200,2	2
Poulets de chair [kg vv]	4 730 933	71 813 198	1,335	0,552	5,06	1,54	8,48	609,3	6
Bovin lait [x1000L]	169 020	1 228 324	1115	858	969,38	1179	4121,4	5062,4	48
Bovin viande [kg vv]	183 295	75 4584 75	10,509	2,162	18,72	9,868	41,25	3113,0	30
Total	/	/	/	/	/	/	/	10 496,1	100

La consommation d'énergie baisse de 17,6 % par rapport à 2019, avec le poste de l'alimentation animale qui reste le plus important, mais dont la part diminue à 37 % du total (Tableau 39).

Tableau 39 - Répartition de l'énergie totale des productions animales par poste de consommation, BAU

Total énergie productions animales [TJ]	Postes de consommation			
	Alimentation animale [TJ] (%)	Produits pétroliers [TJ] (%)	Électricité [TJ] (%)	Autres [TJ] (%)
10 496	3 851 (37)	2 395 (23)	1 627 (15)	2 624 (25)

4.2.3 Total des consommations

Les consommations totales d'énergie du secteur baissent de 13,4 % par rapport à 2019, principalement parce que l'énergie consommée pour les productions importées baisse de moitié (-49,6 %), à 511 TJ et que celle liée aux productions végétales nourrissant les cheptels diminue de 17,2 %. L'énergie consommée pour les productions destinées à l'homme et à d'autres fins baisse quant à elle de 2,4 %.

Tableau 40 - Consommation totale du secteur agricole wallon et répartition entre productions animales et végétales, BAU

Productions végétales	Production animales			Consommation totale d'énergie [TJ]
Consommations productions végétales humaines et autres [TJ]	Consommations productions végétales wallonnes cheptels [TJ]	Consommations productions végétales étrangères cheptels [TJ]	Autres consommations cheptels [TJ]	
4 802	3 340	511	6 646	15 299

4.2.4 Potentiel de productions du secteur

L'un des travaux de Valbiom s'intéressant à la biométhanisation en Wallonie donne un potentiel de production de 15,6 TWh PCS⁹ au niveau belge dont 8,3 TWh, soit 29 880 TJ, au niveau wallon seul (Valbiom, 2022). Cette énergie serait à 80 % d'origine agricole et si l'on prend la même proportion électricité/chaleur que la proportion actuelle du biogaz en Wallonie, cela reviendrait à 10 537 TJ_{électrique} et 13 367 TJ_{thermique} (Heneffe, 2020).

Le mémoire cité dans au point 2.6 arrive à une production potentielle d'énergie du PV sur bâti agricole qui s'élève à environ 850 GWh/an, soit 3060 TJ_{électrique}/an (Dereux, 2020). Ce potentiel de production est de 4,4 GWh (ou 15,84 TJ_{électrique}) pour du PV au sol via l'installation sur des prairies pâturées par des ovins, soit un potentiel très limité.

4.2.5 Répartition par type de carburant et résultats généraux

Les produits pétroliers sont toujours le poste général le plus important dans le scénario BAU, suivi, comme en 2019, des postes généraux « autres » et engrais azotés de synthèse (Tableau 41).

Tableau 41 - Répartition du total des consommations du secteur agricole wallon par postes généraux, BAU

Produits pétroliers [TJ]	Azote [TJ]	Électricité [TJ]	PPP [TJ]	Autres [TJ]
5 882	3 241	450	1 627	4 099

⁹ Pouvoir Calorifique Supérieur = énergie dégagée par la combustion du charbon, du bois, du gaz, du fioul, du pétrole en récupérant la chaleur latente de la vapeur d'eau produite par la combustion.

Si l'on prend en compte les potentiels de productions d'énergie cités précédemment, le secteur agricole wallon a le potentiel de produire plus de deux fois l'énergie qu'il consomme (Tableau 42). Notons qu'au lieu d'être transformé en électricité et chaleur par cogénération, le biogaz produit pourrait aussi être directement injecté sur le réseau (moyennant des aménagements)(Association Solagro, 2016). Cela permettrait de fournir l'énergie nécessaire aux entreprises de production d'engrais azotés synthétiques dont il est la matière première.

Tableau 42 - Répartition du total des consommations et des productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, BAU

Consommations, productions et autonomie	Pétrole et produits pétroliers	Gaz naturel	Électricité	Chaleur	Total
Consommations [TJ]	6 597	4 702	2 722,5	1 277,5	15 299
Consommations [%]	43	31	18	8	100
Productions [TJ]	/	/	13 597	13 367	26 964
Autonomie théorique [%]	0	0	499	1 046	176

4.3 Scénarios de Transition 1 et 2

4.3.1 Productions végétales

Les nouvelles répartitions entre les modes de production (diminution des parts des modes de production intensifs) diminuent encore les consommations des catégories de productions céréales, pommes de terre et légumes en plein air, pour T1 et T2 (Tableau 43 et Tableau 45).

Tableau 43 - Calcul de l'énergie des productions végétales, T1

Catégorie	Culture	Surface [ha]	Postes [MJ/ha]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Carbu.	PPP	Azote	Autres	Total postes [MJ/ha]		
Céréales	Froment d'hiver	125 608	6 811	382	5 921	467	13 580	1 705,7	32
	Orge d'hiver	28 047	4 500	313	4 947	3330	13 090	367,1	
	Triticale	4 035	3 013	112	3 937	2392	9 454	38,2	
	Épeautre et aut.	27 154	4 801	310	3 937	1530	10 578	287,2	
Pommes de terre		43 056	7 330	3 438	7 250	11 940	29 958	1 289,9	16
Légumes en plein air	Pois	8 865	4 801	472	0	1530	6 803	60,3	4
	Haricots verts	3 315	4 801	496	2 269	1530	9 095	30,1	
	Carottes	1 585	11 212	9 745	756	47 418	69 131	109,6	
	Oignons	1 235	8 901	1 454	3 403	48 688	62 446	77,1	
	Autres	3 201	4 801	630	2 998	1 530	9 959	31,9	
Prairies	Prairies perm.	309 180	3 121	11	2 873	1 000	7 005	2 165,8	31
	Prairies temp.	36 636	3 121	18	4 105	1 000	8 244	302,0	
Autres catégories de cultures		141 518	/	/	/	/	/	1 373,6	17
Total		733 435	/	/	/	/	/	7 837,5	100

Comme précédemment, les scénarios ne touchant pas aux postes carburant et autres, les consommations en ces postes sont les mêmes pour tous les scénarios et leur part augmente ici, avec le poste carburant qui est le plus important et le poste engrais qui diminue (Tableau 44).

Tableau 44 - Répartition de l'énergie totale des productions végétales par poste de consommation, T1 et T2

Scénario	Total énergie productions végétales [TJ]	Répartition par poste de consommations			
		Azote	Carburant	PPP	Autres
T1 [TJ] (%)	7 838	2 855 (36)	3 270 (42)	369 (5)	1 344 (17)
T2 [TJ] (%)	7 451	2 527 (34)	3 270 (44)	311 (4)	1 344 (18)

Les diminutions des consommations des postes engrais et PPP sont plus importantes encore dans le scénario T2, avec les parts de l'AEI et de l'AB qui augmentent. Cela permet une baisse de consommation des productions végétales wallonnes de 16,8 % par rapport à 2019. Les prairies deviennent la catégorie la plus consommatrice en T2 (Tableau 45).

Tableau 45 - Calcul de l'énergie des productions végétales, T2

Catégorie	Culture	Surface [ha]	Postes [MJ/ha]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Carbu.	PPP	Azote	Autres	Total ateliers		
Céréales	Froment d'hiver	125 608	6 811	221	4 257	467	11 756	1476,6	28
	Orge d'hiver	28 047	4 500	181	3 363	3 330	11 374	319,0	
	Triticale	4 035	3 013	65	2 306	2 392	7 776	31,4	
	Épeautre et aut.	27 154	4 801	180	2 306	1 530	8 817	239,4	
Pommes de terre		43 056	7 330	2 722	6 791	11 940	28 783	1239,3	17
Légumes en plein air	Pois	8 865	4 801	448	0	1 530	6 779	60,1	4
	Haricots verts	3 315	4 801	470	1 611	1 530	8 413	27,9	
	Carottes	1 585	11 212	9 250	537	47 418	68 417	108,5	
	Oignons	1 235	8 901	1 380	2 417	48 688	61 386	75,8	
	Autres	3 201	4 801	630	2 998	1 530	9 959	31,9	
Prairies	Prairies perm.	309 180	3 121	11	2 873	1 000	7 005	2 165,8	33
	Prairies temp.	36 636	3 121	18	4 105	1 000	8 244	302,0	
Autres catégories de cult.		141 518	/	/	/	/	/	1 373,6	18
Total		733 435	/	/	/	/	/	7 451,3	100

4.3.2 Productions animales

Au niveau des cheptels porcins et avicoles, les productions sont les mêmes et les diminutions de consommations sont dues à l'alimentation animale, dont la diminution découle elle-même découle de la réduction des consommations des productions végétales (céréales) (Tableau 46 et Tableau 47).

Tableau 46 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, T1

Catégorie [unité du poids]	Nombre	Poids calculé	Postes [MJ/unité]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Prod. Pét.	Elec.	Alim. anim.	Autres	Total		
Porcs [kg vv]	410 433	121 791 888	1,12	3,04	6,16	1,88	12,20	1 486,2	14
Poules pondeuses [kg œufs]	1 088 451	22 110 489	0	0	4,85	4,12	8,97	198,3	2
Poulets de chair [kg vv]	4 730 933	71 813 198	1,335	0,552	4,91	1,54	8,34	598,9	6
Bovin lait [x1000L]	169 020	1 066 547	1115	858	1 231	1179	4 383	4 674,2	46
Bovin viande [kg vv]	183 295	71 722 925	10,509	2,162	22,97	9,868	45,51	3 263,8	32
Total	/	/	/	/	/	/	/	10 221,4	100

Pour les bovins, le passage vers des cheptels plus extensifs augmente le chiffre du poste alimentation animale par unité pour le même nombre d'animaux. Néanmoins, les consommations totales des bovins lait diminuent par rapport au scénario BAU, tout comme les productions associées. Pour les bovins viande, l'augmentation du poste alimentation animale fait que, pour une diminution de poids calculé, les consommations énergétiques totales augmentent.

Tableau 47 - Calcul et résultats de l'énergie consommée par les productions animales, T2

Catégorie [unité]	Nombre	Poids calculé	Postes [MJ/unité]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Prod. pét.	Elec.	Alim. anim.	Autres	Total		
Porcs [kg vv]	410 433	121 791 888	1,12	3,04	5,91	1,88	11,95	1 455,4	14
Poules pondeuses [kg œufs]	1 088 451	22 110 489	0	0	4,75	4,12	8,87	196,1	2
Poulets de chair [kg vv]	4 730 933	71 813 198	1,335	0,552	4,75	1,54	8,18	587,3	6
Bovin lait [x1000L]	169 020	1 066 547	1115	858	1 206	1179	4 358	4 648,0	46
Bovin viande [kg vv]	183 295	71 722 925	10,509	2,162	22,71	9,868	45,25	3 245,2	32
Total	/	/	/	/	/	/	/	10 132,0	100

On peut voir ici que l'énergie du poste alimentation animale est dans les deux scénarios plus élevée que pour le BAU (Tableau 48).

Tableau 48 - Répartition de l'énergie totale des productions animales par poste de consommation, T1 et T2

Scénario	Total énergie productions animales [TJ]	Postes de consommation			
		Alimentation animale	Produits pétroliers	Électricité	Autres
T1 [TJ] (%)	10 221	4 170 (41)	2 175 (21)	1 480 (15)	2 396 (23)
T2 [TJ] (%)	10 132	4 081 (40)	2 175 (21)	1 480 (15)	2 396 (24)

4.3.3 Total des consommations

Étant donné qu'au niveau des productions animales, seules les répartitions des cheptels bovins selon les différents modes d'élevage changent pour les deux scénarios par rapport au scénario BAU (et donc le poids des productions calculées qui en découle), les consommations liées aux « autres consommations » des cheptels et les consommations des productions importées sont les mêmes. Au niveau de l'énergie consommée pour les aliments importés, elle est la même que pour le scénario BAU étant donné que les besoins en aliments découlent principalement de l'utilisation de soja, qui elle-même découle des productions avicoles et porcines qui sont les mêmes entre les scénarios (Tableau 49).

Tableau 49 - Consommation totale du secteur agricole wallon et répartition entre productions animales et végétales, T1 et T2

Scénario	Productions végétales	Productions animales			Conso totale d'énergie [TJ]
	Consos productions végétales humaines et autres [TJ]	Consos productions végétales wallonnes cheptels [TJ]	Consos productions végétales étrangères cheptels [TJ]	Autres consos cheptels [TJ]	
T1	4 179	3 659	511	6 051	14 400
T2	3 882	3 570	511	6 051	14 014

4.3.4 Répartition par type de carburant et résultats généraux

La répartition entre postes change peu en fonction des scénarios. Les postes généraux « produits pétroliers », « autres » et « électricité » sont constants entre les deux scénarios (Tableau 50). L'autonomie théorique du secteur est alors de 187 % pour le scénario T1 (Tableau 51). Les résultats pour le scénario T2 sont présentés à l'Annexe C.

Tableau 50 - Répartition du total des consommations du secteur agricole wallon par postes généraux, T1 et T2

Scénario	Postes généraux de consommations				
	Produits pétroliers	Azote	PPP	Électricité	Autres
T1	5662	2995	392	1480	3872
T2	5662	2667	333	1480	3872

Tableau 51 - Répartition du total des consommations et des productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, T1

Consommations, productions et autonomie	Pétrole et produits pétroliers	Gaz naturel	Électricité	Chaleur	Total
Consommations [TJ]	6 340	4 348	2 512	1 200	14 400
Consommations [%]	44	30	17,5	8,5	100
Productions [TJ]	/	/	13 597	13 367	26 964
Autonomie théorique [%]	0	0	541	1 114	187

4.4 G1 et G2

4.4.1 Productions végétales

Les consommations d'énergie des productions végétales wallonnes des scénarios G1 et G2 sont les mêmes qu'au scénario T2, à la différence que pour le scénario G2, les fourrages sont supprimés étant donné qu'ils ne sont pas nécessaires au secteur, les cheptels étant nourri à partir de co-produits seulement. Dans ce cas-là, la SAU totale est alors de 671 311 ha et les consommations totales des productions végétales tombent à 6 982 TJ. La répartition par poste de consommation ne change pas beaucoup (Tableau 52), mais tous diminuent ici, ce qui n'est pas le cas pour les autres scénarios.

Tableau 52 - Répartition de l'énergie totale des productions végétales par poste de consommation, T2

Total énergie productions végétales [TJ]	Poste de consommations			
	Azote [TJ] (%)	Carburant [TJ] (%)	PPP [TJ] (%)	Autres [TJ] (%)
6 983	2 414 (35)	3 005 (43)	286 (4)	1 277 (18)

4.4.2 Productions animales

Au niveau des productions animales, l'énergie consommée pour les cheptels avicoles et porcins diminue fortement par rapport à 2019 : de 59,6 % pour les porcs, de 71,1 % pour les poules pondeuses et de 78,3 % pour les poulets de chair ; en même temps que leur nombre : diminution de 62,8 % du nombre de porcs, de 72,1 % du nombre de poules pondeuses et de 79,5 % pour les poulets de chair. La différence entre les pourcentages pour les productions et consommations vient de la répartition des cheptels selon les différents modes d'élevage ainsi que du poste alimentation animale par unité de poids qui est plus élevé qu'en 2019 pour les trois catégories (Tableau 53).

Tableau 53 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, G1

Catégorie [unité]	Nombre	Poids calculé	Postes [MJ/unité]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Prod. pét.	Elec.	Alim. anim	Autres	Total		
Porcs [kg vv]	140 513	42 153 900	1,12	3,04	7,40	1,88	12,40	566,8	6
Poules pondeuses [kg œufs]	498 096	9 969 441	0	0	5,49	4,12	8,61	95,8	1
Poulets de chair [kg vv]	1 153 108	13 946 841	1,335	0,552	8,12	1,54	10,03	161,0	1
Bovin lait [x1000L]	351 089	2 010 511	1115	858	1468	1179	4 620	9 288,8	92
Total	/	/	/	/	/	/	/	10 112,5	100

Les bovins laitiers consomment la quasi-totalité de l'énergie associée aux cheptels. Celle-ci augmente de plus de moitié par rapport à 2019 alors que la quantité de lait produite calculée augmente de 45 % seulement. La quantité de lait calculée réelle augmente elle de 59,6 % par rapport à 2019 (via l'augmentation de productivité). Les résultats de productions et de consommations d'énergie seront discutés dans la suite de ce travail.

Au niveau du scénario G2, la suppression de l'énergie liée à l'alimentation animale diminue de plus de moitié le facteur d'énergie totale des postes par unité de production des cheptels avicoles et porcins par rapport à 2019 (Tableau 54). Le passage des bovins laitiers à des modes d'élevage extensifs augmente l'énergie associée par milliers de L de lait du poste alimentation animale de près de 13 % par rapport à cette même année, alors que seules les prairies sont prises en compte dans le calcul étant donné que les autres aliments pour nourrir ce cheptel sont fournis par des co-produits qui ne coûtent virtuellement pas d'énergie. Le nombre d'individus des cheptels avicoles et porcins diminue encore par rapport au scénario G1.

Tableau 54 - Calcul et résultats de l'énergie consommée pour les productions animales, G2

Catégorie [unité]	Nombre	Poids calculé	Postes [MJ/unité]					TOTAL [TJ]	Part total [%]
			Prod. pét.	Elec.	Alim. anim.	Autres	Total		
Porcs [kg vv]	25 000	7 500 000	1,12	3,04	0,00	1,88	6,04	45,3	0,5
Poules pondeuses [kg œufs]	114 695	2 240 000	0	0	0,00	4,12	4,12	9,2	0,1
Poulets de chair [kg vv]	429 630	4 640 000	1,335	0,552	0,00	1,54	3,43	15,9	0,2
Bovin lait [x1000L]	351 089	2 010 511	1115	858	1227	1179	4379	8805,0	99,2
Total	/	/	/	/	/	/	/	8 875,4	100

La suppression des consommations du poste alimentation (sauf les prairies) ainsi que la baisse des cheptels avicoles et porcins permet de diminuer fortement les consommations d'énergie des productions animales du scénario G2 (-30,3 %). Le niveau de consommation du scénario G1 est, lui, comparable à celui du scénario T2 (Tableau 55).

Tableau 55 - Répartition de l'énergie totale des productions animales par poste de consommation, G1 et G2

Scénario	Total énergie productions animales [TJ]	Répartition par postes de consommation			
		Alimentation animale	Produits pétroliers	Électricité	Autres
G1 [TJ] (%)	10 112	3 432 (34)	2 308 (23)	1 861 (18)	2 512 (25)
G2 [TJ] (%)	8 875	2 468 (28)	2 256 (25)	1 750 (20)	2 401 (27)

4.4.3 Total des consommations

Le maintien des prairies et le nombre de vaches laitières associées, fait que la consommation d'énergie totale des scénarios G1 et G2 ne baisse pas énormément par rapport aux autres scénarios (de transition) (Tableau 56).

Tableau 56 - Consommation totale du secteur agricole wallon et répartition entre productions animales et végétales, G1 et G2

Scénario	Productions végétales	Productions animales			Consommation totale d'énergie [TJ]
	Consommations productions végétales humaines et autres [TJ]	Consommations productions végétales wallonnes cheptels [TJ]	Consommations productions végétales étrangères cheptels [TJ]	Autres consommations cheptels [TJ]	
G1	4 349	3 102	330	6 681	14 462
G2	4 514	2 468	0	6 408	13 390

4.4.4 Répartition par type de carburant et résultats généraux

La suppression des fourrages en G2 permet de diminuer les consommations liées aux engrais azotés synthétiques et aux PPP par rapport à G1. Elle permet également, avec la diminution des productions animales, de diminuer les postes généraux « autres », « électricité » et « produits pétroliers » (Tableau 57).

Tableau 57 - Répartition du total des consommations du secteur agricole wallon par poste, G1 et G2

Scénario	Postes généraux de consommations				
	Produits pétroliers	Azote	PPP	Électricité	Autres
G1 [TJ]	5 726	2 655	322	1 861	3 898
G2 [TJ]	5 261	2 414	287	1 750	3 678

Le scénario G2, étant celui où le moins d'énergie est consommée, est analysé par rapport aux productions potentielles du secteur. Les résultats pour le scénario G1 se trouvent à l'annexe C. L'autonomie en G2 augmente encore avec les potentiels de productions qui atteignent plus de deux fois les consommations du secteur (Tableau 58).

Tableau 58 - Consommations et productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, G2

Consommations, productions et autonomie	Pétrole et produits pétroliers	Gaz naturel	Électricité	Chaleur	Total [TJ]
Consommations [TJ]	5 754	3 892	2 630	1 113	13 390
Consommations [%]	43	29	20	8	100
Productions [TJ]	/	/	13 597	13 367	26 964
Autonomie théorique [%]	0	0	517	1 201	201

4.5 Résultats globaux

Tableau 59 - Résultats globaux du travail

Paramètres	Unité	2019	BAU	T1	T2	G1	G2
Productions végétales							
Céréales	kT	1 558	1 629	1 478	1 287	1 287	1 287
<i>Delta vs. 2019</i>	%		4,5	-5,1	-17,4	-17,4	-17,4
PDT	kT	2 068	2 359	2 283	2 244	2 244	2 244
<i>Delta vs. 2019</i>	%		14,1	10,4	8,5	8,5	8,5
Légumes	kT	284	271	271	259	259	259
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-4,6	-4,6	-8,8	-8,8	-8,8
Énergie productions végétales							
Céréales	TJ	3 079	2 630	2 398	2 066	2 066	2 066
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-14,6	-22,1	-32,9	-32,9	-32,9
PDT	TJ	1 441	1 358	1 290	1 239	1 239	1 239
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-5,8	-10,5	-14,0	-14,0	-14,0
Légumes	TJ	300	280	277	272	272	272
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-6,7	-7,7	-9,3	-9,3	-9,3
Productions animales							
Bovin lait	Mo L	1 386	1 351	1 173	1 173	2 212	2 212
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-2,5	-15,4	-15,4	59,6	59,6
Bovin viande	T _{vv}	98 099	75 458	71 723	71 723	0	0
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-23,1	-26,9	-26,9	-100	-100
Porc	T _{vv}	110 378	121 792	121 792	121 792	42 154	7 500
<i>Delta vs. 2019</i>	%		10,3	10,3	10,3	-61,8	-93,2
Poulets de chair	T _{vv}	85 787	71 813	71 813	71 813	13 947	4 640
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-16,3	-16,3	-16,3	-83,7	-94,6
Poules pondeuses	T _{œufs}	36 586	22 110	22 110	22 110	9 969	2 240
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-39,6	-39,6	-39,6	-72,8	-93,9
Énergie productions animales							
Bovin lait	TJ	5 739	5 062	4 674	4 648	9 289	8805
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-11,8	-18,6	-19,0	61,9	53,4
Bovin viande	TJ	3 664	3 113	3 264	3 245	0	0
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-15,0	-10,9	-11,4	-100	-100
Porc	TJ	1 175	1 511	1 486	1 455	567	45
<i>Delta vs. 2019</i>	%		28,6	26,5	23,8	-51,7	-96,2
Poulets de chair	TJ	530	609	599	587	161	16
<i>Delta vs. 2019</i>	%		14,9	13,0	10,8	-69,6	-97,0
Poules pondeuses	TJ	219	200	198	196	96	9
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-8,7	-9,6	-10,5	-56,2	-95,9
Énergie consommée							
Total	TJ	17 657	15 299	14 400	14 014	14 462	13 390
<i>Delta vs. 2019</i>	%		-13,4	-18,4	-20,6	-18,1	-24,2

5 Discussion

5.1 Comparaison des résultats avec d'autres sources de données

5.1.1 Comparaison avec les données de l'ICEDD

L'Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable (ICEDD), auquel est confiée l'investigation des productions et consommations en énergie, a calculé le bilan énergétique de la Wallonie pour l'année 2019. Celui-ci donne une consommation estimée de 1 270 GWh PCI pour l'agriculture, soit 4 568,4 TJ¹⁰ (Orsini *et al.*, 2022). Elle ne prend pas en compte les consommations indirectes de l'agriculture, à savoir les postes azote et PPP ainsi qu'une partie du poste de consommation « autres » (semences, électricité et autres) pour les productions végétales de ce travail. Les consommations des postes « alimentation animale », « produits pétroliers » et « autres » (bâtiments, matériels et autres) calculées dans ce travail pour les productions animales ne sont également pas prises en compte. En effet, les consommations estimées ne concernent que la consommation électrique des bâtiments de ferme, d'élevage ou de production horticole (serre etc.) ainsi que la consommation de mazout des engins de ferme (tracteurs, moissonneuses, etc.) et de certaines productions animales (poulets de chair et truies) pour l'exploitation agricole.

Ces consommations sont également réparties par type de carburant et le Tableau 60 permet de comparer les consommations énergétiques calculées avec notre outil (dont les consommations liées aux productions végétales importées ont été retirées), en prenant soin de retirer les postes non comptabilisés par l'ICEDD (le poste « autres » des productions végétales n'est pas pris en compte, car il ne différencie pas les différentes consommations par type de carburant). Au niveau de la consommation d'électricité par les cheptels, celle des bovins viande n'est pas évaluée dans le document de l'ICEDD et celle calculée via ce travail n'est donc pas prise en compte pour la comparaison. Notons que le type de carburant « énergies renouvelables » du SPW est ici comptabilisé comme de l'électricité (36 TJ).

Tableau 60 - Comparaison des consommations calculées (sans l'alimentation animale importée) et des données de l'ICEDD

Source des données	Type de carburant				Consommation totale [TJ]
	Pétrole et produits pétroliers	Gaz naturel	Électricité	Chaleur	
Consommations calculeur [TJ]	3 270	0	1 572	0	4 842
Consommations ICEDD [TJ]	4 309	0	259	0	4 568
Rapport ICEDD / calculeur [%]	132	/	16,5	/	94,3

¹⁰ 1 GWh = 3,6 TJ

Le rapport des consommations de l'ICEDD et du calculateur est de 94,4 %. Plusieurs considérations pourraient expliquer les différences de résultats entre les deux documents.

La première est que le calcul de la consommation électrique du logement n'est pas toujours clairement ventilé entre les secteurs résidentiels et de l'agriculture. Le mazout de chauffage n'est également pas toujours distinct du mazout pour les tracteurs. Ceci pourrait expliquer les grandes différences au niveau du type de carburant « électricité », qui est plus faible dans le document de l'ICEDD et qui serait comptabilisé dans le secteur résidentiel plutôt qu'agricole.

La seconde raison de la différence entre les documents est que les références utilisées pour le calcul des consommations sont totalement autres. Les postes pour les productions végétales sont exprimées en MJ/ha (ou en l/ha transformés en MJ/ha) dans les deux travaux, celui de l'ICEDD utilisant des valeurs plus élevées, amenant à une estimation totale plus grande de carburants, qu'on retrouve dans le type de carburant « produits pétroliers ». Au niveau des productions animales, les estimations sont réalisées en MJ/unité (kg de viande vive ou kg d'œufs ou milliers de litres de lait) dans le travail alors qu'elles le sont en MJ/tête avec l'ICEDD, amenant également des différences au niveau du calcul du type de carburant « électricité ».

5.1.2 Comparaison avec les références PLANETE 2010

Les références PLANETE 2010 dont certaines fiches ont été utilisées pour les calculs des consommations des cheptels, sont bâties sur base de 3 670 bilans d'énergie des exploitations agricoles à travers toute la France (Bochu et Al., 2010). Les résultats généraux de la base de données ainsi établie donnent une consommation moyenne d'énergie primaire de 23 650 MJ/ha de SAU qui prend en compte à la fois les productions végétales et animales. Multipliée par la SAU wallonne de 2019 comptabilisée dans les calculs de ce travail (soit 733 435 ha), cela donne une valeur de consommation d'énergie du secteur agricole de 17 346 TJ, une valeur 1,8 % inférieure au total calculé (17 657 TJ). Les deux totaux étant fort proches, cela conforte les résultats de ce travail, mais ils sont aussi liés au fait que ce sont les paramètres PLANETE 2010 qui ont été utilisés comme base de calcul.

5.1.3 Comparaison avec les données Eurostat

Comme indiqué au point 1.3, les données Eurostat indiquent une consommation de 27 800 MJ/ha de SAU pour la Belgique en 2019 (Eurostat, 2021). Calculée de la même manière que dans le point précédent, cela donne une valeur de consommations du secteur wallon de 20 390 TJ, soit une valeur 15,5 % supérieure au total calculé pour ce travail, qui rejoint encore une fois ses résultats. La différence de calcul pourrait être expliquée par le fait que les productions animales sont pour la plupart concentrées en Flandre, augmentant ainsi la moyenne belge.

5.2 Exploration du poste azote

Le poste « azote », dont découle l'énergie liée aux engrais azotés synthétiques, est le poste le plus important en termes de consommation pour les productions végétales en 2019 (43 % des consommations, Tableau 30).

Comme expliqué au point 2.3.4, celui-ci est calculé en multipliant la quantité d'azote synthétique appliqué aux différentes cultures par un facteur énergétique [MJ/kg]. Suivant la source et la valeur de ce facteur, l'énergie calculée peut être très différente. Par exemple, il a été choisi pour ce travail d'utiliser la valeur provenant de l'étude critique sur l'agriculture de plein champ en Europe qui est de 54,8 MJ/kg, et cela donne 3829 TJ pour le poste azote des productions végétales bilan du secteur en 2019 (Paris *et al.*, 2022). La valeur choisie aurait pu être celle du guide GES'TIM + qui est de 71,3 MJ/kg, ce qui aurait pu encore augmenter considérablement l'importance de ce poste « azote » (Arvalis, 2020). Le choix du paramètre de ce facteur est donc primordial pour permettre de calculer les consommations réelles liées à l'azote minéral utilisé dans les cultures wallonnes.

Pour vérifier l'estimation de la consommation de l'utilisation d'engrais azotés synthétiques, la valeur de consommation moyenne d'azote minérale par hectare de 2019 (89 kg/ha) est multipliée par la SAU wallonne pour cette même année (SPW, 2022). Cela donne une valeur de 65,28 kT, soit une valeur de 6,6 % inférieure à celle calculée à l'aide du calculateur azote (69,87). Les consommations d'énergie liées à l'azote synthétique étant multipliées par un facteur énergétique constant (voir ci-dessus), cela veut dire que le calculateur surestimerait les consommations liées à ce poste de 7 %.

5.3 Importance des scénarios

5.3.1 Productions végétales

Comme mentionné au point 4.1.1, les quatre catégories de cultures dont les consommations énergétiques changent en fonction des scénarios sont responsables de 85 % du total des consommations des productions végétales wallonnes en 2019, et couvrent 81 % de la SAU wallonne, ce qui confirme l'importance des changements en matière de fertilisation, traitements PPP et autres dans ces catégories, ainsi que les calculs d'énergie associée dans ce travail.

Au niveau des céréales, le scénario BAU (Business As Usual) montre une augmentation de leur quantité (T) tout en diminuant l'énergie consommée associée grâce aux hypothèses d'augmentation des rendements des différents modes de production associés à une diminution d'utilisation d'engrais azotés synthétiques et de PPP (Figure 14). La diminution d'énergie supplémentaire des scénarios T1 et T2 est proportionnelle à la diminution des productions, scénarios où ces productions sont plus faibles qu'en 2019.

Pour la filière des pommes de terre, les tendances sont les mêmes que pour les céréales, mais avec une diminution des consommations d'énergie plus grande proportionnellement à la diminution des productions. Dans les trois scénarios étudiés pour cette filière, les productions sont supérieures à l'année 2019. Cela est permis grâce à des hypothèses semblables que pour la filière céréales, mais sans diminution de l'utilisation de PPP par mode de production. C'est la répartition différente entre les différents modes de production qui explique une diminution de l'usage de PPP et de l'énergie associée (Figure 15).

Pour la filière légumière, les diminutions des consommations d'énergie sont dans tous les scénarios associées à des diminutions de productions, le scénario T1 permettant de diminuer un peu la consommation associée par rapport au BAU grâce à la diminution d'utilisation de PPP (Figure 15).

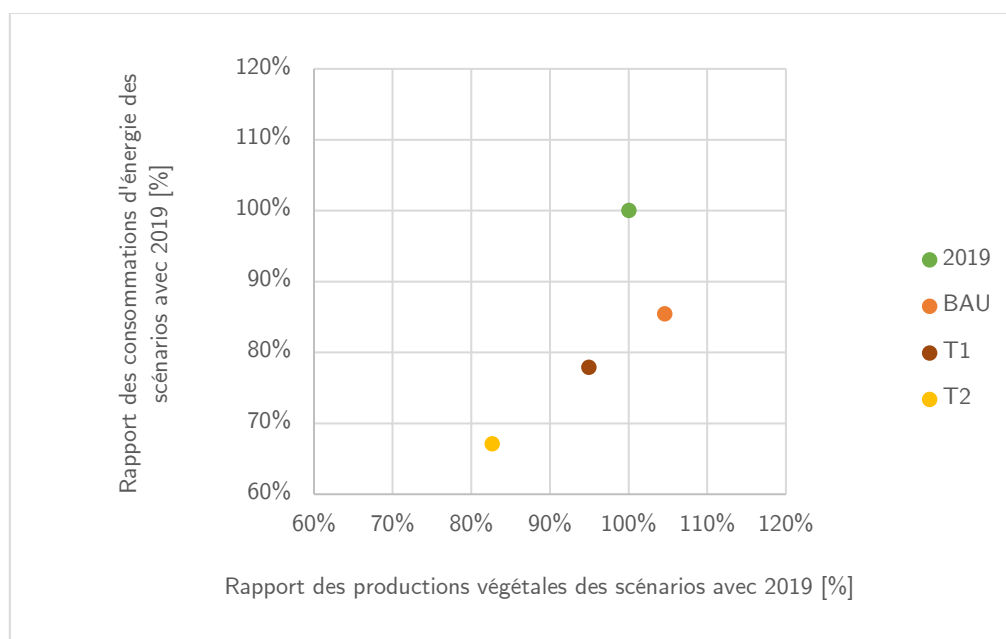


Figure 14 – Rapport des productions végétales et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019, filière céréales¹¹

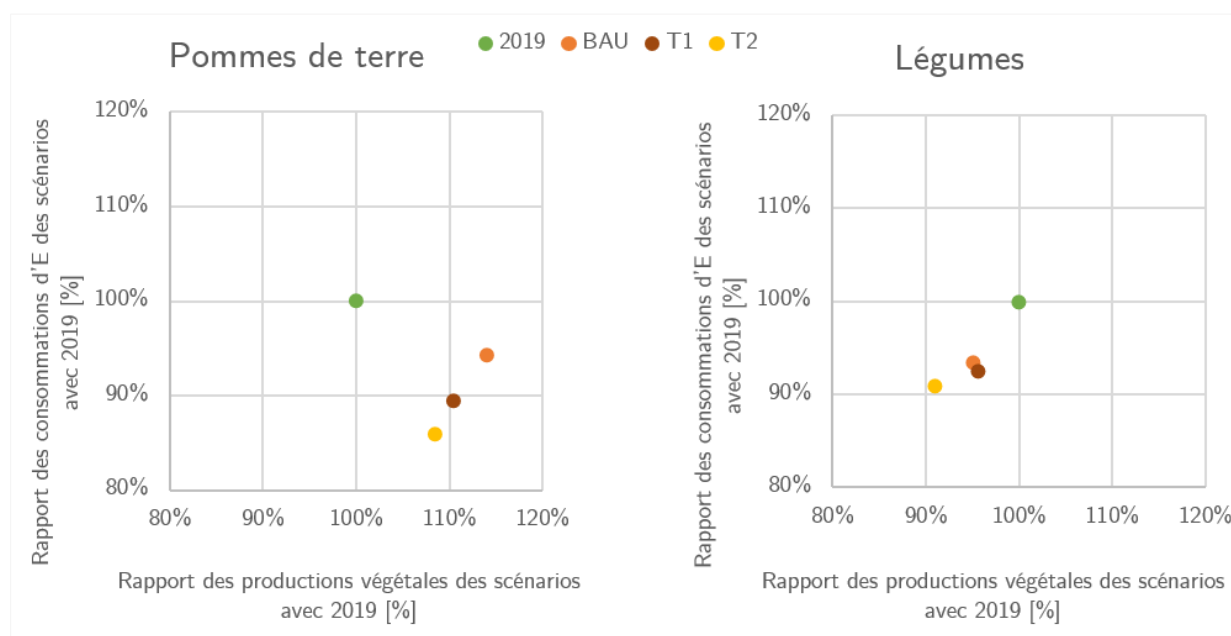


Figure 15 - Rapport des productions végétales et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019, filières pommes de terre et légumière

¹¹ Il faut faire attention aux axes des graphes : leur origine est la même, mais pas en « zéro ». Pour les lire : si la pente est plus grande que 1 entre les scénarios, cela veut dire que pour une diminution de production, la diminution de consommation d'énergie sera plus grande en proportion (de T1 à T2 pour les PDT par ex.)

La Figure 17 confirme que la diminution principale de l'intensité énergétique (en valeur d'énergie [J] par quantité de production [kg]) est réalisée grâce à la moindre fertilisation azotée, aux réductions d'utilisation des produits phytopharmaceutiques et à l'augmentation des rendements.

En effet, la diminution de l'intensité énergétique est observée seulement pour les céréales et les pommes de terre où les hypothèses évoquées ci-dessous sont appliquées (à partir du scénario BAU). L'augmentation de la part des modes de productions plus respectueux de l'environnement (AEI et AB) ne modifie pas cette intensité énergétique (à partir de BAU, pour T1 et T2), sauf dans le cas des légumes en T2 et des céréales en T1 où elle l'augmente légèrement.

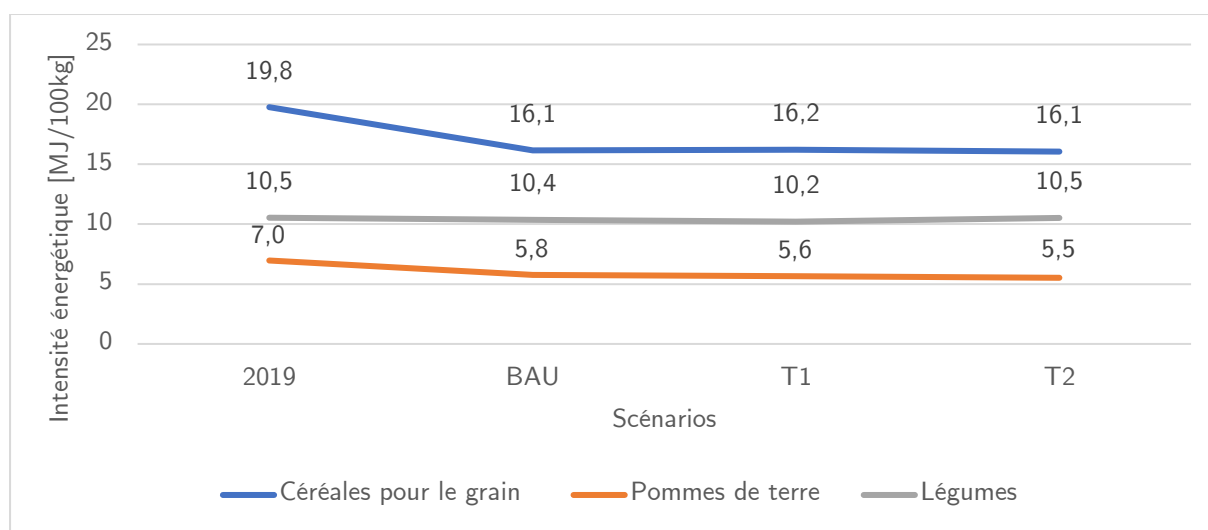


Figure 17 - Intensité énergétique des filières céréales, pommes de terre et légumière

D'un autre côté, nous pouvons noter l'importance de la betterave sucrière qui fait partie de la catégorie des cultures industrielles dont les changements ne sont pas modélisés et qui est, elle, responsable de 5,5 % de la consommation d'énergie totale des productions pour une part de superficie de 5 % du total (Tableau 28). Une étude de l'équipe Sytra concernant cette culture est en cours et les scénarios associés pourraient être ajoutés à ce travail par la suite. Les fourrages, eux, composés en grande partie de maïs fourragers (composant avec les fourrages verts annuels plus de 90 % de la surface de la catégorie), sont peu coûteux en énergie (5 % de la consommation des productions végétales pour 8,5 % du total des surfaces).

Enfin, il est important de souligner le fait que les postes carburants et autres des productions végétales ne sont pas changés entre les scénarios, et qu'ils représentent plus de 50 % de la consommation d'énergie de celle-ci. Des changements dans ces postes de consommation pourraient avoir un impact considérable sur l'énergie consommée et ainsi pousser plus loin les diminutions de consommation d'énergie. La conduite économe ou la substitution des carburants pétroliers des machines agricoles par de l'électricité ou du biogaz sont par exemple des améliorations envisageables (ADEME, 2019). Le poste de consommation PPP, décliné dans les scénarios, n'a finalement que peu d'impact sur la consommation d'énergie (4 à 5 % de l'énergie consommée par les productions végétales).

5.3.2 Productions animales et consommations totales

Les mêmes figures que pour les productions végétales peuvent être réalisées pour chaque type de cheptel. Les intensités énergétiques calculées sont exprimées en MJ/kg_{vv} ou œufs ou MJ/L de lait. Les courbes observées suivent les mêmes tendances pour les bovins lait et viande pour les scénarios 2019 à T2 (Figure 18, Figure 19). Les résultats des rapports entre les productions animales et les consommations d'énergie associées des scénarios sont montrés par production animale à l'Annexe D – Résultats rapport scénarios productions animales.

Cela doit trouver son origine dans la différence des répartitions entre les modes d'élevages ainsi que dans la diminution de l'amendement azoté et de l'utilisation de PPP pour les prairies et les céréales dont s'alimentent ces cheptels, ainsi que l'augmentation de productivité des vaches laitières. L'intensité énergétique n'est pas évaluée pour les bovins viande en G1 et G2, car ce cheptel n'existe pas dans ces scénarios.

Les consommations par unité des autres postes de consommations ne changent pas au cours des scénarios et il apparaîtrait alors intéressant de calculer les valeurs des postes de consommations « électricité », « produits pétroliers » et « autres » pour chaque mode d'élevage de ces cheptels pour pouvoir mieux cerner les consommations réelles de chaque mode et ainsi affiner les calculs de ce travail. Cela pourrait également être intéressant pour les cheptels avicoles et porcins.

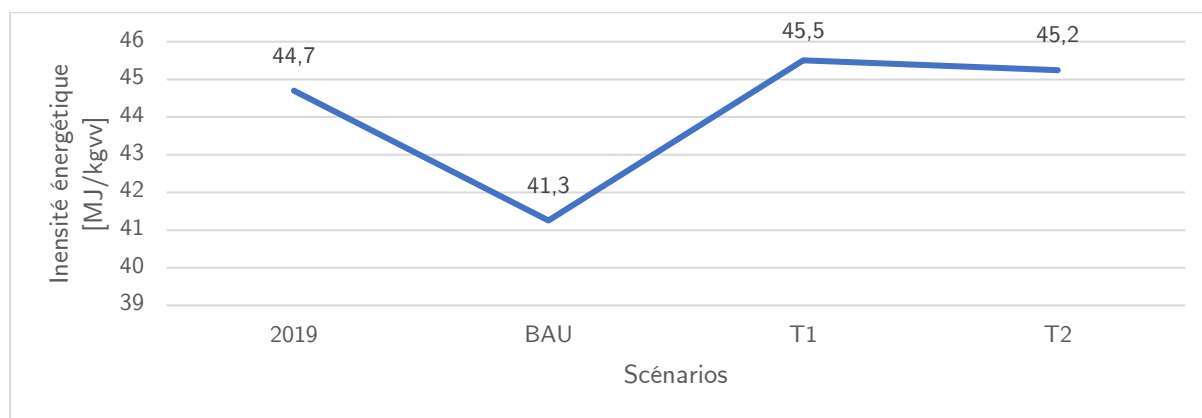


Figure 18 - Intensité énergétique des productions de viande bovine en fonction des scénarios

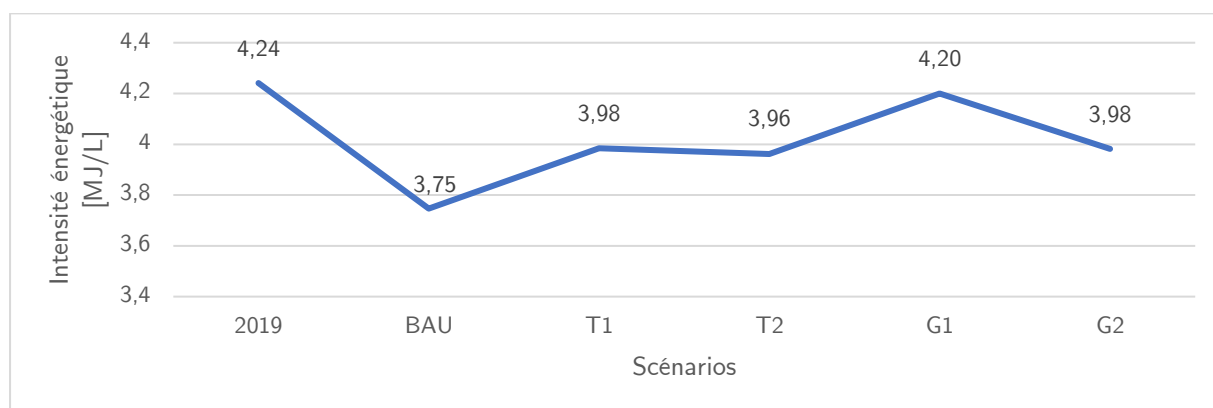


Figure 19 - Intensité énergétique des productions de lait bovin en fonction des scénarios

Les figures montrent également que les diminutions des consommations dans les productions végétales impactent peu les productions animales (comparaison des intensités de T1 et T2).

Les intensités au niveau des cheptels avicoles et porcins ne semblent, elles, que peu dépendre de leur alimentation, sauf avec la favorisation des modes d'élevage extensifs (G1 sur la Figure 20).

Les intensités pour le scénario G2 montrent bien que l'alimentation animale est le plus gros poste de consommations pour les productions animales, étant donné que l'énergie attribuée à celle-ci est nulle ici, car ils se nourrissent de co-produits et que les intensités chutent de plus de moitié pour les trois productions.

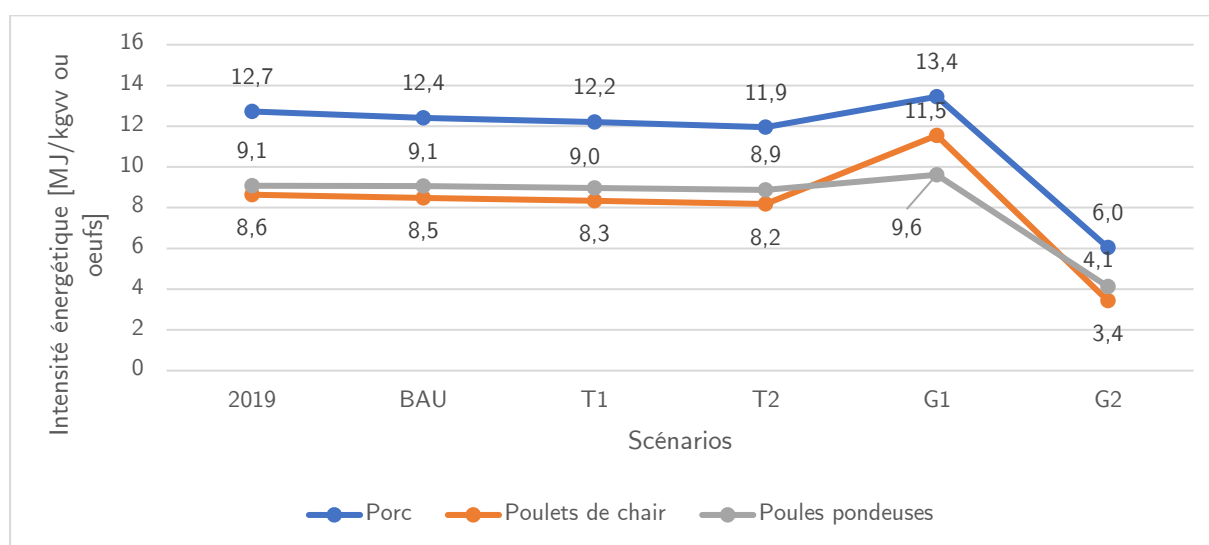


Figure 20 - Intensité énergétique des productions avicoles et porcines en fonction des scénarios

La part des productions animales dans le total des consommations du secteur agricole wallon oscille entre 66,3 % (G2) et 72,3 (T2) (Tableau 61). Autrement dit, environ 70 % des consommations du secteur sont dédiées aux productions animales (72,1 % en 2019). Ce qui fait que le régime alimentaire des populations a un impact énorme sur la consommation d'énergie en agriculture.

Le Tableau 61 permet également de voir dans quelle partie des productions la différence de consommations est la plus grande entre les scénarios. La partie « autres consommations cheptels » est directement proportionnelle aux productions animales et sa diminution indique une diminution générale des productions (sans différentier dans quel cheptel). La partie « consommations productions végétales wallonnes cheptel » est plus grande dans les scénarios T1 et T2 que dans le BAU en raison des changements dans les modes d'élevages des bovins qui amènent à une plus grande demande de prairies.

Pour le scénario G1, les productions importées sont des cultures protéagineuses et leur consommation d'énergie est inférieure de près de 70 % à celle de 2019, mais cela est à mettre en comparaison avec les productions des cheptels avicoles et porcins qui diminuent de plus de 90 % chacune.

De plus, le poste de l'alimentation animale (MJ/unité) est le plus élevé au niveau de ce scénario, ce qui montre que le remplacement du soja importé par des protéines d'origine européenne (et le passage vers des systèmes plus extensifs, comme expliqué ci-avant) augmente l'intensité énergétique de ce poste (Figure 20).

Pour le scénario G2, la quasi-totalité des productions végétales (sauf les prairies) est dédiée à l'alimentation humaine ou à d'autres buts et les scénarios de transition appliqués aux céréales, pommes de terre et légumes permettent de diminuer de 8,2 % leur coût énergétique.

Toutefois, le nombre de vaches laitières qui permet de conserver la superficie des prairies, maintient les consommations pour les productions animales élevées malgré l'absence d'énergie comptabilisée pour l'alimentation des cheptels avicoles et porcins, se nourrissant de co-produits.

Tableau 61 - Répartition des consommations entre productions végétales et animales selon les différents scénarios évalués

Scénarios, part des productions et différences avec la situation actuelle	Productions végétales [TJ]	Productions animales [TJ]			Conso totale d'énergie [TJ]
	Consos productions végétales humaines et autres	Consos productions végétales wallonnes cheptels	Consos productions végétales étrangères cheptels	Autres consos cheptels	
2019	4 918	4 036	1 013	7 690	17 657
Part des productions [%]	27,9	72,1			100
BAU	4 802	3 340	511	6 646	15 299
Part des productions [%]	31,4	68,6			100
Différence avec 2019 [TJ]	-116	-696	-502	-1 044	-2 358
Delta vs. 2019 [%]	-2,4	-17,2	-49,6	-13,6	-13,4
T1	4 179	3 659	511	6 051	14 400
Part des productions [%]	29	71			100
Différence avec 2019 [TJ]	-739	-377	-502	-1 639	-3 257
Delta vs. 2019 [%]	-15,0	-9,3	-49,6	-21,3	-18,4
T2	3 882	3 570	511	6 051	14 014
Part des productions [%]	27,7	72,3			100
Différence avec 2019 [TJ]	-1 036	-466	-502	-1 639	-3 643
Delta vs. 2019 [%]	-21,0	-11,5	-49,6	-21,3	-20,6
G1	4 349	3 102	330	6 681	14 462
Part des productions [%]	30	70			
Différence avec 2019 [TJ]	-569	-934	-683	-1 009	-3 195
Delta vs. 2019 [%]	-11,6	-23,1	-67,4	-13,1	-18,1
G2	4 514	2 468	0	6 408	13 390
Part des productions [%]	33,7	66,3			100
Différence avec 2019 [TJ]	-404	-1 586	-1 013	-1 282	-4 267
Delta vs. 2019 [%]	-8,2	-38,9	-100	-16,7	-24,2

Au niveau des bovins (lait et viande), ceux-ci sont responsables de près de 80 % des consommations d'énergie des productions animales dans tous les scénarios évalués, un nombre qui monte jusqu'à 99 % dans le scénario G2 (Tableau 62). En comparaison avec les consommations totales, ce pourcentage oscille entre 53 (scénario BAU) et 66 % (G2).

Cette part importante s'explique par leur alimentation via les prairies qui sont l'une des catégories de productions végétales dont la part dans le bilan énergétique est la plus importante, étant donné les surfaces couvertes par celles-ci (47 % de la SAU wallonne).

Dans le scénario G2, la totalité des céréales est allouée à la consommation humaine et les surfaces allouées aux fourrages ont disparu. Cela laisse une marge de manœuvre, car la surface dédiée pourrait être allouée à d'autres productions végétales, ce qui pourrait permettre à la Wallonie d'arriver à une autonomie alimentaire plus importante.

Tableau 62 - Importance des bovins dans les consommations des scénarios (%)

Part des bovins	2019	BAU	T1	T2	G1	G2
Dans les consommations animales du scénario [%]	81	78	78	78	92	99
Dans les consommations totales du scénario [%]	58	53	55	56	64	66

Il apparaît alors que des améliorations concernant la consommation d'énergie pour ces cheptels bovins sont les priorités à mettre en œuvre. Au niveau des bâtiments par exemple (qui font partie du poste « autres » des productions animales), plusieurs améliorations peuvent être réalisées en améliorant les machines de stockage et de transformation du lait. Le paillage peut également être automatisé, avec un potentiel de diminution de 40 % de l'énergie liée via son automatisation (ADEME, 2019).

La différence des consommations liées à l'alimentation animale des bovins entre les scénarios BAU et T1 permet de se rendre compte que le passage des cheptels vers des systèmes plus extensifs augmente la consommation d'énergie liée, principalement à cause du passage vers plus de prairies, qui consomment beaucoup d'énergie (voir explication ci-dessus). Ce qui est confirmé par la Figure 19 où l'intensité énergétique est supérieure aux autres scénarios (sauf la situation actuelle) et où les modes d'élevages extensifs sont utilisés. Une étude des consommations énergétiques liées à l'alimentation de chaque mode d'élevage, non réalisée dans ce travail, serait dès lors intéressante.

5.4 Comparaison des facteurs énergétiques pour l'alimentation animale avec la littérature

Les consommations énergétiques liées à l'alimentation permettent de retrouver les facteurs énergétiques ou énergies moyennes utilisées par unité de production animales pour ce poste [MJ/unité]. En 2019, il est de 1 089 MJ/1000 L de lait pour les bovins lait, 22,2 MJ/kg_{vv} pour les bovins viande, 6,7 MJ/kg_{vv} pour les porcs, 5,2 MJ/kg_{vv} pour les poulets de chair et 5,0 MJ/kg_{oeufs} pour les poules pondeuses.

Les postes « fertilisation » et « alimentation » des fiches utilisées peuvent être additionnés pour donner le poste alimentation animale de ces fiches pour la France et ainsi comparer les valeurs calculées pour vérifier les calculs effectués (Tableau 15).

Pour les bovins lait, la valeur des fiches est de 1 455 MJ/1000 L de lait, une valeur de 33 % supérieure à celle de ce travail, ce qui laisse penser que les consommations d'énergie associée à leur alimentation sont sous-estimées dans notre approche.

Pour les bovins viande, elle est de 14,4 MJ/kg_{vv}, une valeur inférieure de 35 % à celle du travail, ce qui donnerait l'effet inverse que pour les bovins lait. Les valeurs sont de 8,8 MJ/kg_{vv}, 8,5 MJ/kg_{vv} et 15,8 MJ/kg_{oeufs} pour les porcs, poulets de chair et poules pondeuses respectivement, des valeurs à chaque fois supérieures à celles calculées pour ce travail.

Les différences pourraient être en partie expliquées par le non-calcul de l'énergie associée à la production de vitamines, minéraux et autres destinés au cheptel, qui sont coûteux en énergie (Consultants, 2021). Elles pourraient également être attribuées aux différences des cheptels wallons et français en matière de modes d'élevage.

Les différences des valeurs semblent être absorbées par les valeurs des autres postes de consommation, car le calcul des consommations de l'énergie des productions avec les postes des fiches citées donnerait une valeur de 11 431 TJ, soit une valeur assez proche (de 8,9 % plus grande) de celle calculée pour le travail (10 496 TJ).

5.5 Utilisation d'énergie directe et indirecte

Pour estimer les proportions d'utilisation d'énergie directe ou indirecte du secteur agricole wallon, les postes généraux de consommation des différents scénarios peuvent être utilisés. Les postes généraux « azote », « PPP » et « autres » sont attribués à l'utilisation d'énergie indirecte tandis que les postes généraux « produits pétroliers » et « électricité » sont eux considérés comme des postes de consommation directe d'énergie.

Les parts des deux types d'utilisation d'énergie sont ainsi calculées, avec la totalité de l'énergie consommée pour les importations pour l'alimentation animale ajoutée au poste « autres », car ces importations sont des consommations d'énergie extérieures au système (Tableau 63). La part d'énergie indirecte est plus élevée que la directe en 2019 et la tendance s'inverse au cours des scénarios. L'explication se trouve dans la diminution des consommations dues aux PPP et à l'azote synthétique ainsi que la baisse des importations de nourriture pour animaux (jusqu'à zéro importation en G2).

Cela soulève également le fait que l'énergie utilisée de manière indirecte en agriculture a une part prépondérante dans le total des consommations et qu'il est important d'en prendre compte lorsque l'on calcule ce total pour le secteur agricole, car trop souvent, seule l'utilisation d'énergie directe est comptabilisée. À titre d'exemple, la part de consommation d'énergie dans l'ensemble de la Wallonie ne serait pas de 1 %, mais de 3,7 % (en retirant les importations)(Orsini *et al.*, 2022). Il est évidemment difficile de prendre en compte les consommations liées à la manufacture et à l'utilisation de PPP, d'engrais, de matériel... Ce qui complique le calcul des consommations réelles du secteur.

Tableau 63 - Répartition de l'énergie sous forme d'énergie directe et indirecte selon les scénarios

Scénario et énergie	Type d'énergie et postes généraux de consommations				
	Énergie directe		Énergie indirecte		
	Produits pétroliers	Électricité	Azote	PPP	Autres
2019 [TJ]	6 084	1 784	3 829	510	5 559
Part du type d'énergie [%]	44,6		55,4		
BAU [TJ]	5 665	1 627	3 101	427	4 479
Part du type d'énergie [%]	47,6		52,3		
T1 [TJ]	5 445	1 480	2 855	369	4 251
Part du type d'énergie [%]	48,1		51,9		
T2 [TJ]	5 445	1 480	2 527	310	4 251
Part du type d'énergie [%]	49,4		50,6		
G1 [TJ]	5 578	1 861	2 527	310	4 186
Part du type d'énergie [%]	51,4		48,6		
G2 [TJ]	5 261	1 750	2 414	287	3 678
Part du type d'énergie [%]	52,4		47,6		

5.6 Marge d'erreur sur les données utilisées

Les données sont présentées sans intervalles de confiance, car la grande majorité des études ACV sur l'utilisation de l'énergie en agriculture ne les fournissent pas pour leurs données. Il est important de souligner que c'est un réel inconvénient de cette étude et que cela conduit à une incertitude considérable pour les calculs effectués. Ce manque d'intervalles de confiance est un problème commun aux ACV et à l'incertitude des données sur l'utilisation de l'énergie en agriculture en général (Dalgaard, Halberg et Porter, 2001; Alluvione *et al.*, 2011; Goglio, Bonari et Mazzoncini, 2012; Achten et Van Acker, 2016; Martinho, 2016; Paris *et al.*, 2022).

Conclusion

La démarche de ce mémoire a été de tenter d'estimer le bilan énergétique du secteur agricole wallon pour l'année 2019 et d'explorer les variations qu'il pourrait connaître à l'horizon 2050 selon divers scénarios d'évolution du secteur. A cet effet, un outil, sous forme de tableur Excel, a été développé.

Les résultats de celui-ci montrent que le secteur consommerait 16 664 TJ en 2019 sans les importations de nourriture pour animaux, réparties en 4 918 TJ pour les productions végétales à destination de l'homme (et autres) et 11 726 TJ pour les productions animales. Cela représenterait alors 3,7 % de la consommation d'énergie finale de la Wallonie lors de la même année, soit un chiffre bien supérieur à celui estimé (de 1 à 2,7 %). L'énergie indirecte qui provient des engrais, PPP, machines et autres, serait responsable de plus de la moitié de la consommation. Les productions animales, quant à elles, occupent donc une part majoritaire dans cette utilisation d'énergie, avec plus de 70 % du total attribué, les bovins y étant grandement contributaires (81 % du total des consommations des productions animales leur est dû).

Les changements en termes de consommations d'énergie des différents scénarios (qui vont de -13,4 % à -24,2 % par rapport à 2019) sont mis en perspective avec les productions végétales et animales de ces mêmes scénarios. Les résultats indiquent que les potentielles productions d'énergie du secteur pourraient être plus de deux fois plus élevées que ses consommations dans le scénario le plus poussé.

Cette étude reste exploratoire vu le nombre d'incertitudes mais propose une première approche intégrant productions végétales et animales et tenant compte des coûts générés à l'extérieur de la Wallonie.

Ce travail pointe l'importance des calculs de consommation d'énergie associée à l'agriculture et plus particulièrement de l'utilisation indirecte d'énergie, ainsi que de la part de cette consommation attribuée aux animaux. Il soulève le fait que l'étude des coefficients énergétiques pour l'agriculture (en valeur d'énergie par unité de surface ou de production animale), qui varient d'une région à l'autre selon le mode d'agriculture utilisé et la région, est primordiale pour estimer les consommations des secteurs agricoles, celles-ci étant difficiles à calculer de manière réelle.

Bibliographie

Achten, W.M.J. et Van Acker, K. (2016) 'EU-Average Impacts of Wheat Production: A Meta-Analysis of Life Cycle Assessments', *Journal of Industrial Ecology*, 20(1), pp. 132–144. Available at: <https://doi.org/10.1111/jiec.12278>.

ADEME (2014) *L'outil ClimAgri – Ademe, Agence de la transition écologique*. Available at: <https://expertises.ademe.fr/agriculture-foret/production-agricole/passer-a-laction/dossier/levaluation-environnementale-agriculture/loutil-climagri> (Accessed: 11 May 2022).

ADEME (2019) *Agriculture et efficacité énergétique - La librairie ADEME*. Available at: <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/912-agriculture-et-efficacite-energetique.html> (Accessed: 19 August 2022).

ADEME (2022) *Recherche Agribalyse*. Available at: <https://agribalyse.ademe.fr/app> (Accessed: 9 June 2022).

Agreste (2021) *Recensement agricole 2020/Agreste, la statistique agricole*. Available at: <https://www.agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Pri2105/detail/> (Accessed: 27 February 2022).

Alluvione, F. et al. (2011) 'EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture', *Energy*, 36(7), pp. 4468–4481. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.075>.

Antier, C., Petel, T. et Baret, P. (2019a) 'État des lieux et scénarios à horizon 2050 de la filière des céréales en Région wallonne', p. 66.

Antier, C., Petel, T. et Baret, P. (2019b) 'État des lieux et scénarios à horizon 2050 de la filière des pommes de terre en Région wallonne', p. 62.

Antier, C., Riera, A. et Baret, P. (2019) 'Scenarios for the future of the livestock sector in Belgium', *Sytra*. Available at: <https://sytra.be/publication/scenarios-livestock-belgium/> (Accessed: 31 July 2022).

Arvalis (2020) *Guide GEST'TIM+ - Projet ARVALIS - Arvalis*. Available at: <https://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/guide-gest-tim--@/view-3081-arvstatiques.html> (Accessed: 9 June 2022).

Association Solagro (2016) *Le scénario, Afterres2050*. Available at: <https://afterres2050.solagro.org/decouvrir/scenario/> (Accessed: 28 July 2022).

Audsley, E. et al. (2009) *Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use*. Report. Available at: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/3913> (Accessed: 8 August 2022).

Bardi, U., El Asmar, T. et Lavacchi, A. (2013) 'Turning electricity into food: the role of renewable energy in the future of agriculture', *Journal of Cleaner Production*, 53, pp. 224–231. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.014>.

Baret, P. et Antier, C. (2019) 'Des scénarios pour une agriculture moins dépendante en intrants en Wallonie', *Sytra*. Available at: <https://sytra.be/fr/evenement/scenarios-agriculture-wallonie/> (Accessed: 28 February 2022).

Beudelot, A. et Mailleux, M. (2020) *Les Chiffres du Bio 2019, Biowallonie*. Available at: <https://www.biowallonie.com/les-chiffres-du-bio-2019/> (Accessed: 7 June 2022).

Bellayachi, A. et al. (2017) *Rapport sur l'état de l'environnement wallon 2017, Wallonie*. Available at: <http://etat.environnement.wallonie.be/files/Publications/REEW2016/DGRNE-16-16716-REEW%202016-sl-051217-prod2%20-%20basse%20r%c3%a9solution.pdf> (Accessed: 22 August 2022).

Bochu et Al. (2010) *Solagro: Synthèses Planète: généralités, Solagro*. Available at: <https://solagro.org/travaux-et-productions/publications/syntheses-planete-generalites> (Accessed: 13 June 2022).

Bochu et al. (2010) *Solagro: Valorisation des données capitalisées par la base de données PLANETE., Solagro*. Available at: <https://solagro.org/travaux-et-productions/references/references-planete-mieux-connaître-les-consommations-energetiques-des-exploitations-agricoles-francaises> (Accessed: 22 August 2022).

Compere Leroy, E. et Cornu, M.-A. (2021) *Ouvrir un débat sur la valorisation des systèmes d'intégration culture-élevage comme leviers pour une gestion durable des flux d'azote en Région wallonne*.

Consultants, B. (2012) 'The applicability of LCA guidelines to model the effects of feed additives on the environmental footprint of animal production', p. 178.

CORDER (2016) *Estimation quantitative des utilisations de produits phytopharmaceutiques par les différents secteurs d'activité (en cours) | CORDER ASBL*. Available at: <https://www.corder.be/fr/eqpp> (Accessed: 30 July 2022).

Corus, A. (2020) 'Présentation des chiffres 2019 : dossier de presse et revoir la conférence de presse', *Agence Bio*, 4 July. Available at: <https://www.agencebio.org/2020/07/04/conference-de-presse-9-juillet-a-9h-30-presentation-des-chiffres-2019-de-lagriculture-biologique/> (Accessed: 20 August 2022).

Dalgaard, T., Halberg, N. et Porter, J.R. (2001) 'A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(1), pp. 51–65. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00297-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00297-8).

Dereux, C. (2020) 'Production d'énergies renouvelables par les agriculteurs wallons: État de la situation et perspectives de développement', p. 92.

E. H. Sims, R. (2011) '*Energy-Smart' Food for People and Climate - Issue Paper*. Available at: <https://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/fr/c/266092/> (Accessed: 12 April 2022).

Ecoinvent (2019) 'ecoinvent v3.5', *ecoinvent*. Available at: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-5/> (Accessed: 11 June 2022).

Eglin, T. *et al.* (2016) 'Climagri®: un outil et une démarche pour co-construire des stratégies territoriales d'atténuation des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre d'origine agricole sur les territoires', *Polutions Atmosphériques - Climat, Santé, Société*, 229–230, p. 203. Available at: <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.5664>.

État belge (2019) *Le PNEC, c'est quoi?* Available at: <https://www.plannationalenergieclimat.be/fr/le-pnec-c-est-quoi> (Accessed: 28 July 2022).

Eurostat (2021) *Agri-environmental indicator - energy use*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_energy_use (Accessed: 6 June 2022).

FAO (2019) *FAOSTAT*. Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GN> (Accessed: 8 June 2022).

Goglio, P., Bonari, E. et Mazzoncini, M. (2012) 'LCA of cropping systems with different external input levels for energetic purposes', *Biomass and Bioenergy*, 42, pp. 33–42. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.021>.

Heneffe, C. (2020) *Panorama de la filière biométhanisation en Wallonie en 2019, Site énergie du Service public de Wallonie*. Available at: <https://energie.wallonie.be/fr/panorama-de-la-filiere-biomethanisation-en-wallonie-en-2019.html?IDC=9464&IDD=140807> (Accessed: 13 June 2022).

IPCC (2006) *Publications - IPCC-TFI*. Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (Accessed: 29 July 2022).

Martinho, V.J.P.D. (2016) 'Energy consumption across European Union farms: Efficiency in terms of farming output and utilized agricultural area', *Energy*, 103, pp. 543–556. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.017>.

Monforti-Ferrario, F. *et al.* (2015) *Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement, JRC Publications Repository*. Available at: <https://doi.org/10.2790/266295>.

Orsini, M. *et al.* (2022) *Bilan énergétique global 2019, Site énergie du Service public de Wallonie*. Available at: <https://energie.wallonie.be/fr/bilan-energetique-global-2019.html?IDC=6288&IDD=158398> (Accessed: 18 August 2022).

Paris, B. *et al.* (2022) 'Energy use in open-field agriculture in the EU: A critical review recommending energy efficiency measures and renewable energy sources adoption', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, p. 112098. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112098>.

Petel, T., Antier, C. et Baret, P. (2019a) 'État des lieux et scénarios à horizon 2050 de la filière lait en Région wallonne', p. 81.

Petel, T., Antier, C. et Baret, P. (2019b) 'État des lieux et scénarios à horizon 2050 de la filière viande bovine Région wallonne', p. 117.

Riera, A. *et al.* (2020) 'Cinq filières en Région wallonne: État des lieux et scénarios à horizon 2050', *Sytra*. Available at: <https://sytra.be/fr/publication/cinq-filieres-wallonie/> (Accessed: 14 June 2022).

Riera, A., Antier, C. et Baret, P. (2019) 'le secteur de l'élevage belge', p. 44.

Riera, A., Antier, C. et Baret, P. (2020) 'État des lieux et scénarios à horizon 2050 de la filière légumière en Région wallonne', p. 88.

Riera *et al.*, A. (2019) 'Scénarios pour la production animale en Belgique à l'horizon 2050 – Scenagri'. Available at: <https://scenagri.be/scenarios-pour-la-production-animale-en-belgique-a-lhorizon-2050/> (Accessed: 13 June 2022).

SPW (2022) *Consommation d'engrais en agriculture*. Available at: <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/AGRI%205.html> (Accessed: 18 August 2022).

SPW - Service Public de Wallonie (2022a) *Bilan énergétique global 2019, Site énergie du Service public de Wallonie*. Available at: <https://energie.wallonie.be/fr/bilan-energetique-global-2019.html?IDC=6288&IDD=158398> (Accessed: 13 April 2022).

SPW - Service Public de Wallonie (2022b) *Utilisation de produits phytopharmaceutiques*. Available at: <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/AGRI%206.html> (Accessed: 30 July 2022).

SPW Agriculture (2021) *Agriculture wallonne en chiffres - Portail de l'agriculture wallonne*. Available at: <https://agriculture.wallonie.be/agriculture-wallonne-en-chiffres> (Accessed: 27 February 2022).

Statbel (2022) *Exploitations agricoles et horticoles* | Statbel. Available at: <https://statbel.fgov.be/fr/themes/agriculture-peche/exploitations-agricoles-et-horticoles#figures> (Accessed: 27 February 2022).

Sytra (2020) 'Notre équipe de recherche - Sytra, transition of food systems', Sytra. Available at: <https://sytra.be/fr/equipe/> (Accessed: 28 February 2022).

Timmermans, I. et Van Bellegem, L. (2020) *De biologische landbouw in Vlaanderen: stand van zaken 2019 (Biorapport 2019)*. Available at: <https://www.kenniswest.be/publicatie/de-biologische-landbouw-in-vlaanderen-stand-van-zaken-2019-biorapport-2019/104133> (Accessed: 7 June 2022).

Valbiom (2022) *ValBiom - présentation*. Available at: <http://www.valbiom.be/a-propos/presentation.htm> (Accessed: 7 March 2022).

Van Stappen, F. (2021) *DECiDE 2.0., un outil de bilans gaz à effet de serre, énergie et ammoniac des exploitations agricoles*, CRA-W | Centre wallon de Recherches agronomiques. Available at: <https://www.cra.wallonie.be/fr/decide-20-un-outil-de-bilans-gaz-a-effet-de-serre-energie-et-ammoniac-des-exploitations-agricoles-1> (Accessed: 12 June 2022).

Zalewski, A. (2020) *Petroleum in Real Life: Food, Fertilizer and Fuel - Context Magazine* by CAPP, <https://context.capp.ca/>. Available at: <https://context.capp.ca/articles/2020/pirl-fertilizers/> (Accessed: 15 June 2022).

Annexes

A - Calculateurs d'émissions de GES par l'agriculture

Tableau 64 - Principaux calculateurs d'émissions de GES par l'agriculture et la forêt classés par pays, adapté de la revue des calculateurs GES pour l'agriculture et la forêt, 2012

Pays d'utilisation (initial)	Principaux calculateurs territoriaux identifiés	Nombre total calculateurs identifiés
Australie	FullCam; Farmgas; Farming Enterprise GHG Calculator; nombreux calculateurs filières spécifiques	>10
Canada	Holos	1
Chili	Seulement des calculateurs filières	3
France	Climagri®, Dia'terre	3
Nouvelle Zélande	Carbon Calculator for New Zealand Agriculture and Horticulture; Carbon Farming calculator	2
Afrique du Sud	Spécifique au vin	1
Royaume uni	CALM; Cplan; CFF Carbon Calculator	4
USA	IFSC, principalement calculateurs filières (cultures, élevage, forêt etc.)	>10
Monde	EX-ACT; Cool Farm tool; calculateur AFD; CBP simple assessment; ALU	5
Pays en voie de Développement	USAID FCC	1

B – Données et références utilisées pour les calculs des productions végétales

Les références suivantes, de trois sources différentes, sont utilisées pour les calculs.

Tableau 65 - Correspondance des données utilisées pour les calculs avec les différentes références, tous scénarios confondus

Catégorie	Culture	Postes [MJ/ha]			Références
		Carbu.	PPP	Autres	
Céréales	Froment d'hiver				Tableau 66
	Orge d'hiver				Tableau 66
	Triticale				Tableau 67
	Épeautre et autres				Tableau 68
Cultures industrielles	Betteraves sucrières				Tableau 66
	Lin				Tableau 68
	Colza et navette				Tableau 66
	Chicorée				Tableau 68
	Autres cultures industrielles				Tableau 68
Pommes de terre					Tableau 66
Légumineuses récoltées en grains secs					Tableau 68
Légumes de plein air	Pois				Tableau 68
	Haricots verts				Tableau 68
	Carottes				Tableau 67
	Oignons				Tableau 67
	Autres				Tableau 68
Fourrages	Maïs fourrager + fourrage vert annuel				Tableau 66
	Betteraves fourragères + autres plantes sarclées				Tableau 68
	Légumineuses fourragères				Tableau 68
Cultures permanentes	Vergers et petits fruits (sauf pommes et vignes)				Tableau 68
	Dont vignes				Tableau 66
	Dont pommes				Tableau 66
	Autres cultures permanentes				Tableau 68
Prairies	Prairies permanentes				Tableau 68
	Prairies temporaires				Tableau 68
Terres arables non productives	Jachères et tournières enherbées				Tableau 68
	Cultures sous serre				Tableau 68
Autres	Cultures ornementales plein air				Tableau 68
	Semences et plants horticoles plein air				Tableau 68

Pour certaines cultures (cases foncées du tableau), les $\bar{E}_i$ pour les PPP sont calculées de manière indépendante, ce qui explique l'absence de valeur dans les tableaux. L'explication de cette particularité se trouve au point 2.3.5..

Tableau 66 - Références des valeurs disponibles des $\bar{E}_i$ par atelier Paris et AI, 2022 [MJ/ha]

Culture \ Atelier	Carburant	PPP	Engrais azotés	Autres (semences, équipement, transport matériaux)
Froment d'hiver ¹²	0,73	/	/	0,05
Maïs fourrager	4 222,5	/	/	1 042,5
Pomme de terre	7 330	/	/	11 940
Orge	4 500	/	/	3 330
Betterave sucrière	5 400	/	/	185
Colza	2 150	850	/	10
Pomme	0,57	0,25	/	0,13
Vignes	7 570	3 330	/	640 (irrigation)

Tableau 67 - Références des valeurs disponibles des $\bar{E}_i$ par atelier, référentiel GEST'IM [MJ/ha]

Culture \ Atelier	Carburant	PPP	Engrais azotés	Autres (semences, équipement, transport matériaux)
Triticale	3 013	224	/	2392
Carottes ¹³	11 212	16 517	/	47 418
Oignons	8 901	2 464	/	48 688

Dans le cas des cultures pour lesquelles les données ne sont pas disponibles (cultures considérées pour l'étude autres que celles du Tableau 66 et du Tableau 67), le Tableau 68, provenant du guide méthodologique de l'outil ClimAgri, permet d'estimer les consommations d'énergie dédiées. Notons que 1 GJ = 1000 MJ et que l'énergie pour les données en carburant est de 48,01 MJ/l (Eglin *et al.*, 2016; Ecoinvent, 2019).

¹² Pour ces deux catégories, les données sont exprimées en MJ/kg, transformés à l'aide des rendements en MJ/ha

¹³ L'irrigation, comprise dans l'atelier « autres », vaut pour 30 343 et 31 020 dans le cas des carottes et oignons, soit une part significative de l'utilisation d'énergie.

Tableau 68 - Valeurs de consommations énergétiques par atelier et catégorie de culture, guide méthodologique ClimAgri, France (ADEME, 2014)

Catégorie de cultures	Cultures concernées	Carburant (l/ha)	PPP (GJ/ha)	Électricité (GJ/ha)	Matériel (GJ/ha)
Cultures annuelles	Maïs, maraîchage, horticulture, prairies artificielles, ...	100	0,63	0	1,53
Prairies temporaires	Prairie temporaire, jachère de 5 ans	65	0,54	0	1
Prairies naturelles productives	//	65	0	0	1
Prairies naturelles peu productives, parcours	//	5	0	0	0,35
Cultures permanentes	Vergers	190	3,88	0	2,3
CIPAN	Couverts	15	0,16	0	0,38

C - Résultats de consommations énergétiques par type de carburant pour T2 et G1

Tableau 69 - Consommations et productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, T2

Consommations, productions et autonomie	Pétrole et produits pétroliers	Gaz naturel	Électricité	Chaleur	Total
Consommations [TJ]	6 322	4 011	2 494	1 188	14 014
Consommations [%]	45	29	18	8	100
Productions [TJ]	/	/	13 597	13 367	26 964
Autonomie théorique [%]	0	0	545	1 125	192

Tableau 70 - Consommations et productions énergétiques du secteur agricole wallon par type de carburant, G1

Consommations, productions et autonomie	Pétrole et produits pétroliers	Gaz naturel	Électricité	Chaleur	Total [TJ]
Consommations [TJ]	6 286	4 167	2 823	1 186	14 462
Consommations [%]	43	29	20	8	100
Productions [TJ]	/	/	13 597	13 367	26 964
Autonomie théorique [%]	0	0	482	1 127	187

D – Résultats rapport scénarios productions animales et consommations

Les figures suivantes exposent les comparaisons des résultats des calculs des productions animales avec les consommations en énergie associées.

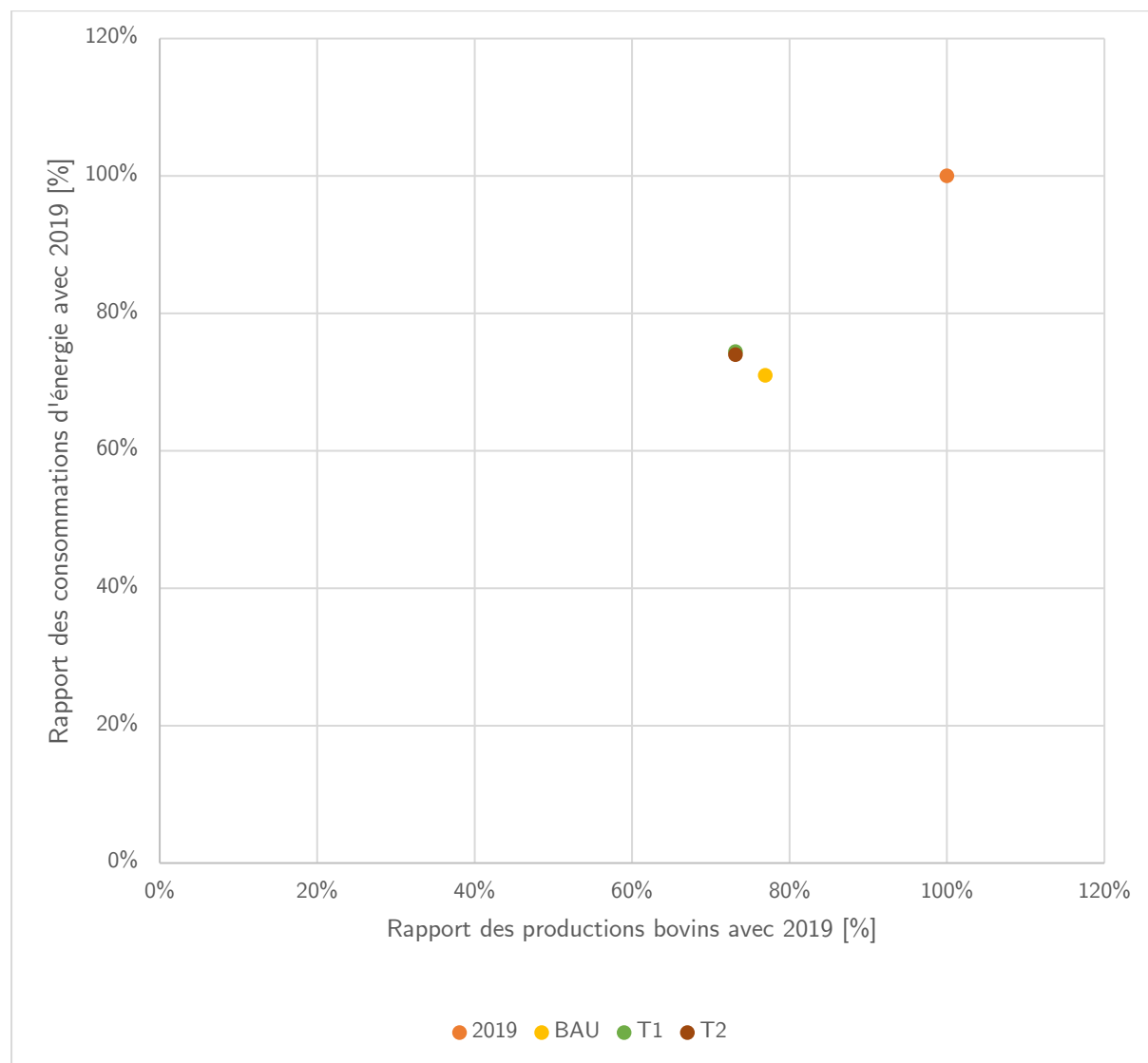


Figure 21 - Rapport des productions bovines viandeuses et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019

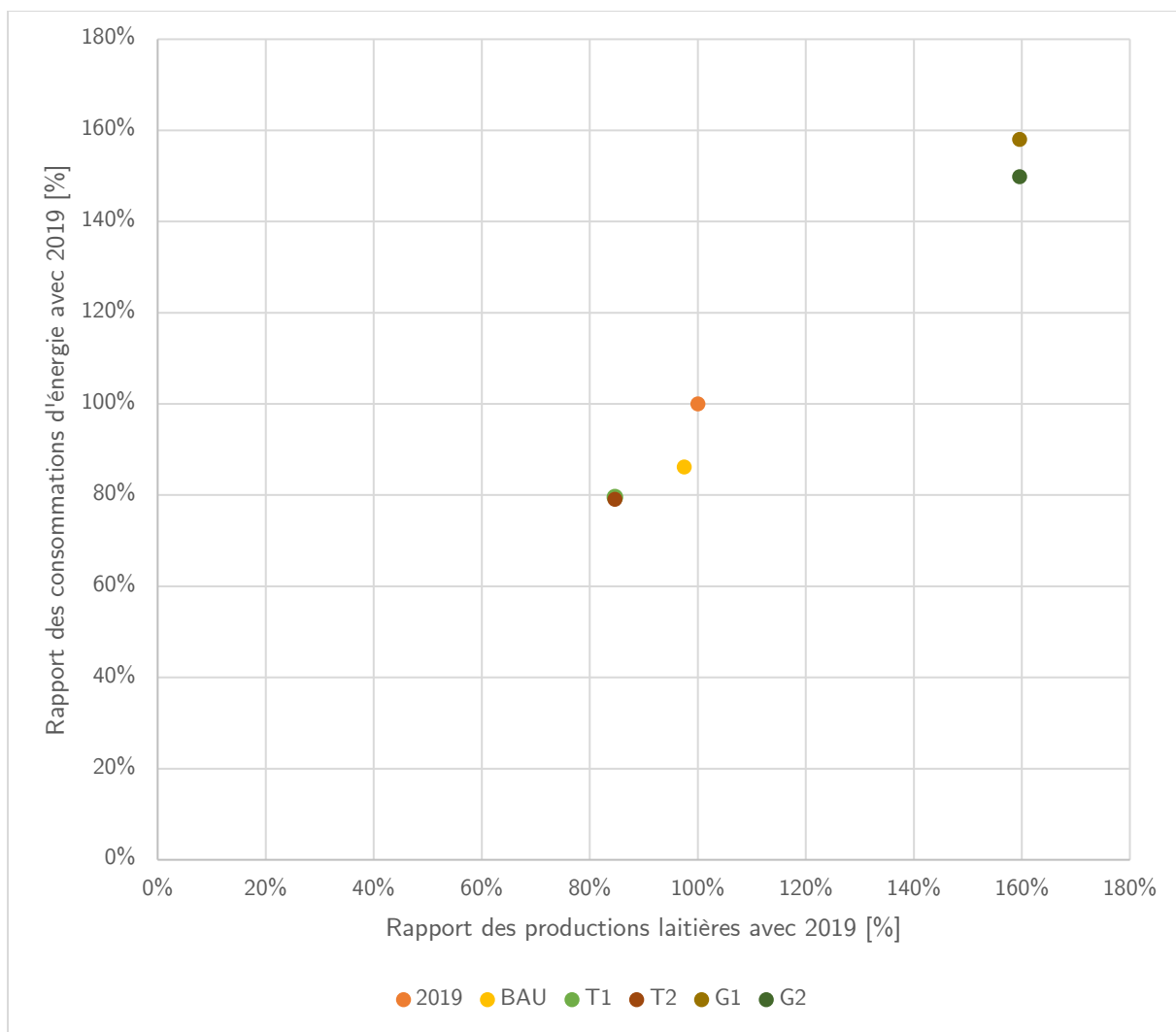


Figure 22 - Rapport des productions bovines laitières et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019

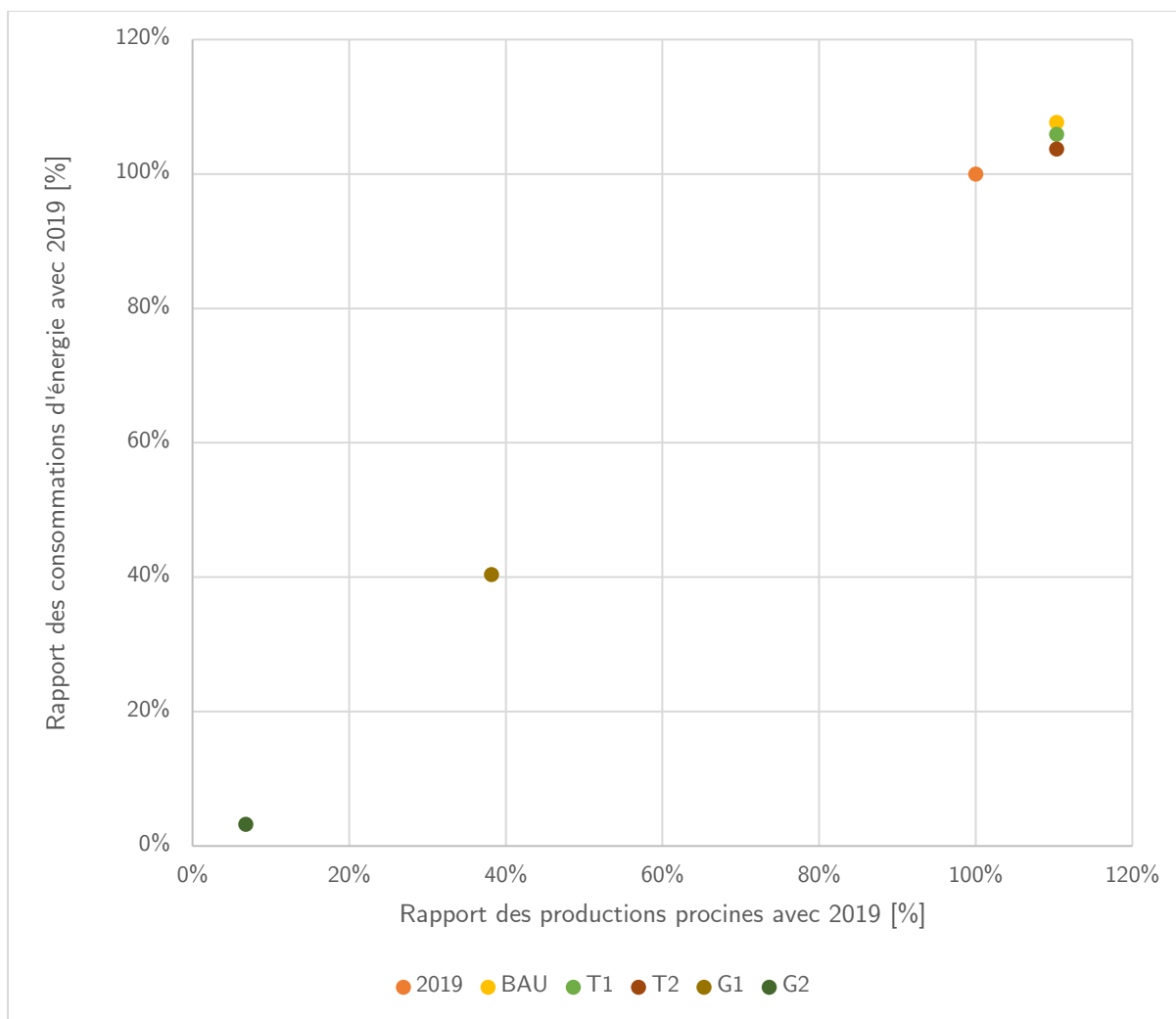


Figure 23 - Rapport des productions bovines porcines et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019

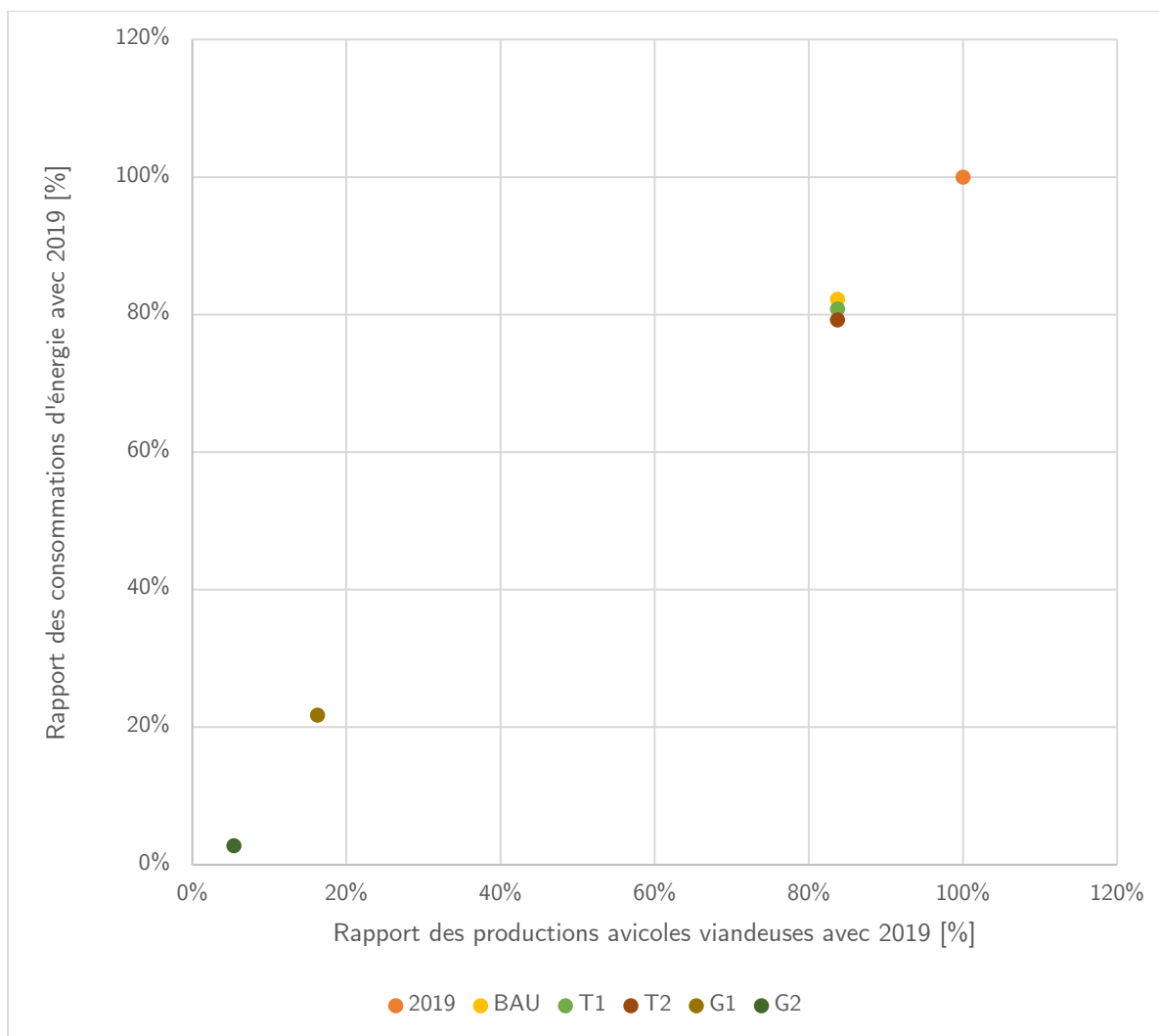


Figure 24 - Rapport des productions avicoles viandeuses (poulets de chair) et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019

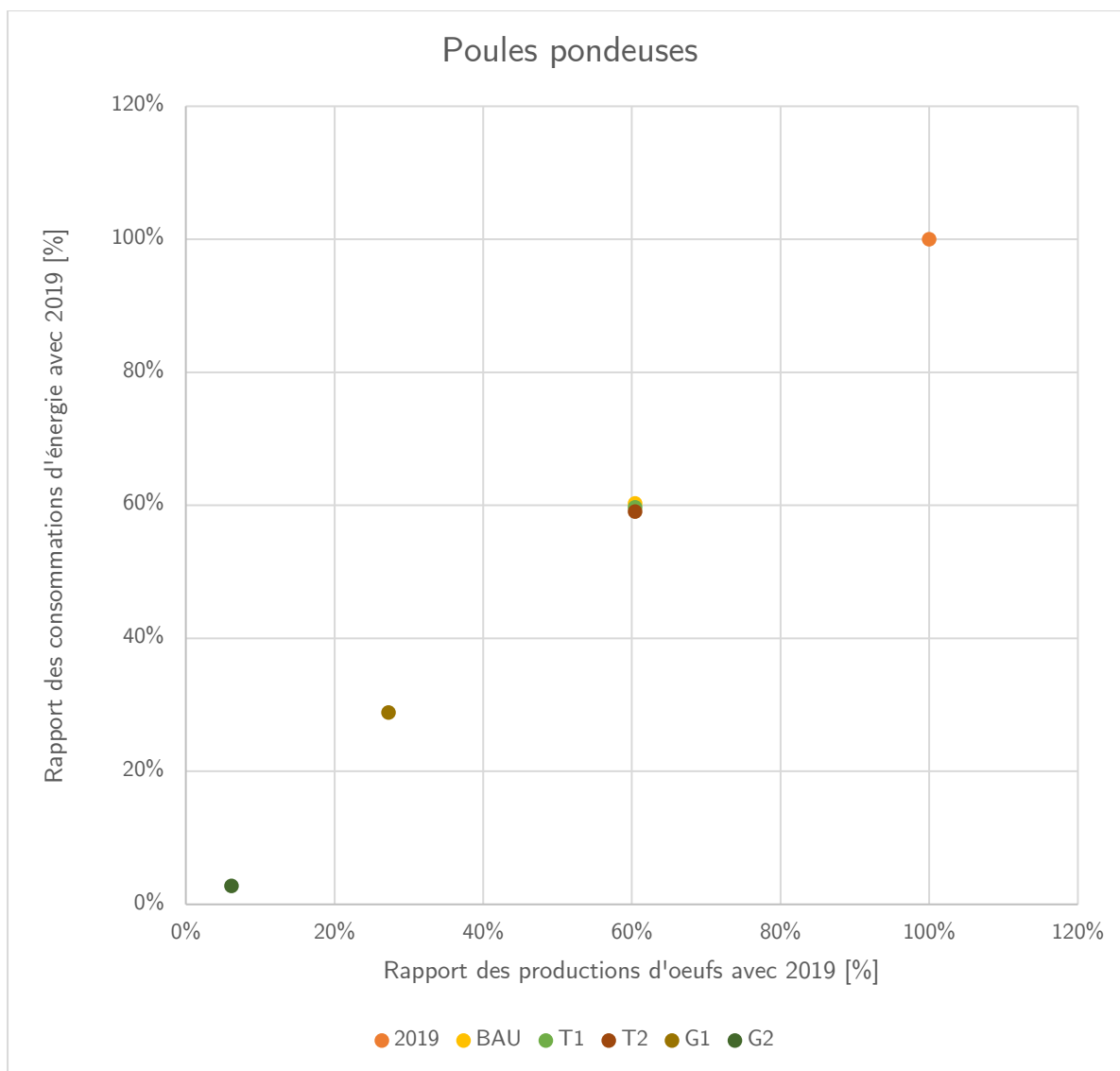


Figure 25 - Rapport des productions d'œufs par les poules pondeuses et consommations d'énergie liées des scénarios avec 2019

Bilan énergétique du secteur agricole wallon : estimation pour 2019 et analyse prospective à l'horizon 2050

Présentée par Hugo Baufoy

RÉSUMÉ

L'utilisation de machines et d'engrais minéraux a permis d'augmenter la productivité agricole et d'améliorer les rendements et l'approvisionnement en nourriture dans le monde. Cependant, l'agriculture, en tant que consommatrice d'énergie, contribue à l'épuisement des ressources énergétiques non renouvelables et au réchauffement climatique par le biais des émissions liées à l'énergie.

La part de l'énergie consommée par l'agriculture est généralement faible par rapport à la consommation finale totale des pays. Dans l'UE, cette part ne représentait que 3,3 % de la consommation finale en 2019. Ce chiffre serait plus bas pour la Belgique (entre 1 et 2,7 %). Les études des consommations énergétiques liées à l'agriculture sont généralement axées sur les consommations énergétiques directes (carburant, électricité) à la ferme et ne comprennent pas de données sur les apports énergétiques indirects (engrais, pesticides, matériels et bâtiments). Lorsque celles-ci sont incluses, la proportion estimée de l'utilisation de l'énergie en agriculture augmente de manière significative.

L'objectif de ce mémoire est de tenter d'estimer au mieux ces consommations d'énergie directes et indirectes pour le secteur agricole wallon. Pour cela, un outil qui prend la forme d'un calculateur Excel est développé. Cet outil prend en compte les productions végétales et animales du secteur ainsi que les interactions qui existent entre ces deux entités. Des scénarios d'évolution de plusieurs filières du secteur, réalisés par l'équipe de recherche Sytra, sont agrégés et évalués dans le calculateur pour comparer les potentielles diminutions de consommations du secteur par rapport à l'année 2019. Le potentiel de productions d'énergies du secteur via la biométhanisation et le photovoltaïque est également exploré.

Les résultats montrent que le secteur consommerait 16 664 TJ en 2019 sans les importations de nourriture pour animaux, réparties en 4 918 TJ pour les productions végétales à destination de l'homme (et autres) et 11 726 TJ pour les productions animales, ce qui représente 3,7 % de la consommation d'énergie finale de la Wallonie lors de la même année, soit un chiffre bien supérieur à celui estimé précédemment. L'énergie indirecte serait responsable de plus de la moitié de la consommation. Les productions animales occupent une importance majoritaire dans cette consommation, avec plus de 70 % du total attribué, les bovins y étant grandement contributeurs. Les changements en termes de consommations d'énergie des différents scénarios sont mis en perspective avec les productions végétales et animales de ces mêmes scénarios. Les potentielles productions d'énergie du secteur pourraient être plus de deux fois plus élevées que ses consommations dans l'un d'entre eux.

Ce travail pointe l'importance des calculs de consommation d'énergie associée à l'agriculture et plus particulièrement de l'utilisation indirecte d'énergie, ainsi que de la part de cette consommation attribuée aux animaux. L'enjeu de l'énergie pour et par l'agriculture est primordial et mérite l'importance croissante qui y est portée.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN

Faculté des bioingénieurs

Croix du Sud, 2 bte L7.05.01, 1348 Louvain-La-Neuve, Belgique | www.uclouvain.be/agro