

Conception et optimisation d'un système de micro-fermes travaillant en collaboration : cas du Domaine de Graux



Directeur : Marjolein Visser
Promoteur : Alain Peeters

Mémoire de fin d'études présenté en vue de
l'obtention du diplôme de Master en
bioingénieur : sciences agronomiques par
Manuel Lambert

Ecologie du paysage et systèmes
de production végétale

Année académique 2014-2015



Remerciements

Ce mémoire a été pour moi une expédition fascinante.

Ce fut une expédition car ce travail m'a mené à beaucoup d'endroits et à la rencontre de beaucoup de personnages. Et ce fut fascinant par la quantité et la qualité de l'information que j'ai pu y trouver.

Je souhaite donc tout d'abord remercier les trois personnes sans qui je n'aurais pas pu construire cette expérience : Marjolein Visser, Alain Peeters et Elisabeth Simon.

Je remercie également tous ceux qui m'ont aidé dans ma démarche : Edouard Reding, Patrick et Vanessa Feller, Dany Dubois, Benoit Frison, Benoit Cossée de Maulde, Jean-Philippe Vercaigne, Catherine Piette, José Wavreille, Walter Vandepitte, Pierre Vandaele, Bernard Convié et Stéphanie Manderon.

Enfin, je remercie mon entourage pour m'avoir supporté dans l'insupportable.

Résumé

Parallèlement à un système de production alimentaire global et dominant, des initiatives agroécologiques se développent chez des agriculteurs convaincus d'un système de production alternatif. A travers le développement d'innovations locales, des pratiques plus autonomes et plus écologiques sont mises en place à l'initiative des producteurs. Ceux-ci se tournent aussi vers des moyens de commercialisation plus directs leur assurant un revenu stable. L répondant ainsi directement aux besoins des consommateurs. Il est alors intéressant de composer ces paniers de manière saine et locale.

Dans le cadre de ce travail, nous développons des paniers alimentaires complets et nous modélisons un système de micro-fermes pour les produire de manière agroécologique. Les paniers alimentaires doivent fournir tous les aliments nécessaires à une personne, tout au long de l'année. Deux paniers alimentaire sont présentés : (1) un panier alimentaire adapté des habitudes de consommation des belges et (2) un panier alimentaire sain basé sur le régime paléolithique. Les deux paniers répondent aux besoins énergétiques et protéiques d'un individu moyen.

Chacune des unités de production nécessaire à la production de chacun de ces aliments (excepté pour le poisson) a été modélisée et dimensionnée. Les productions végétales ont été modélisées à partir de la littérature, les productions animales ont été modélisées sur la base de cas réels. Toutes les surfaces nécessaires à une personne ont alors été rassemblées et analysées. Un cas concret de système de micro-fermes a été conçu et optimisé : le cas du Domaine de Graux. Ainsi, les quantités d'intrants ont été minimisées et les flux entre les micro-fermes et le domaine ont été dimensionnés.

Les surfaces nécessaires à la constitution des paniers belges et paléolithiques sont respectivement de 2520 et 1790 m². Ce panier est constitué de 2106 kcal par jour. Les paniers paléolithiques sont plus sains et sont plus en adéquation avec les connaissances scientifiques en nutrition. Selon ce régime, 358 paniers peuvent être produits sur les 83 ha du domaine.

Le résultat de ce travail est également un tableur programmable pouvant faciliter la conception de systèmes visant la production agroécologique de paniers alimentaires.

Abstract

Agroecological initiatives are being developed by farmers convinced of the need for a different system of production. Through local novelties, autonomous practices and ecological solutions are being acquired. Farmers also make use of direct selling of food baskets. They then directly fulfill the consumer's needs. It is therefore interesting to compose such baskets in a local and healthy way.

In this study, we develop whole food baskets and we model a system of micro farms to produce all the food it includes, in an agroecological way. The baskets supply all the food for one person, all year long. Two baskets have been differentiated: (1) one basket adapted from the consumption patterns of Belgians, and (2) one healthy basket base on the paleo diet. Both baskets present energy and protein levels needed for an average individual.

Each of the production units needed to produce those foods (except for fish) has been modelled and dimensioned. Plant production have been modelled based on literature and animal productions have been modelled on the basis of real cases. All the surfaces needed for one individual have been put together and analyzed. One practical case of the system of micro farms modelled has been designed and optimized: the Graux Estate. Therefore, inputs quantities have been minimized and the fluxes between micro farms and the Estate have been dimensioned.

The needed surfaces to produce one basket of Belgian or paleo diets are respectively 2520 and 1790 square meters. These diets contain 2106 kcal/day. The paleo baskets have shown to be healthier in regards to scientific knowledge in nutrition. According to this diet, 358 baskets could be produced on the 83 ha of the Estate.

The result of this work is also a programmable spreadsheet which can facilitate the design of systems aimed at producing such baskets in an agroecological way.

Table des matières

CHAPITRE I. INTRODUCTION.....	1
1. L'agriculture au centre de nos besoins alimentaires	1
1.1. Contextualisation	1
1.2. Alternatives au modèle dominant	2
1.2.1. Vente directe.....	2
1.2.2. Pratiques et information	2
2. Une alimentation au service de notre santé	3
2.1. Un problème de santé publique ?	3
2.2. Le régime occidental	4
2.3. Les pyramides alimentaires remises en question	4
2.4. Les lipides.....	5
2.4.1. Prise de poids et maladies cardiovasculaires.....	5
2.4.2. Les différents types de graisses et leurs impacts.....	6
2.4.3. Recommandations officielles.....	7
2.5. Les glucides	7
2.5.1. L'indice glycémique	8
2.5.2. Les glucides remis en question	9
2.5.3. Recommandations officielles.....	9
2.6. Les protéines.....	10
2.6.1. Risques liés à la consommation de viande	10
2.6.2. Recommandations officielles.....	10
2.7. Le régime paléolithique.....	11
3. La santé à travers les pratiques agricoles	12
3.1. Les pesticides synthétiques	12
3.2. Les antibiotiques	13
3.3. Les qualités intrinsèques des aliments	13
4. Le Domaine de Gaux.....	14
5. Vue d'ensemble	15
CHAPITRE II. OBJECTIFS DU MEMOIRE	16

CHAPITRE III. MATERIEL ET METHODES	17
1. Constitution d'un panier alimentaire complet	17
1.1. Catégories d'aliments	18
1.2. Identification des aliments productibles sur le domaine et saisonnalité de production ...	18
1.3. Calcul des quantités d'aliments	20
1.3.1. Calcul des quantités hebdomadaires pour chaque catégorie.....	22
1.3.2. Calcul des valeurs de pondération de chaque aliment	24
1.4. Analyse nutritionnelle des paniers alimentaires	26
2. Calcul des quantités de matières premières nécessaires	26
2.1. Aliments simples	26
2.2. Aliments transformés	27
3. Calcul des surfaces nécessaires	28
4. Conception et optimisation du système de micro-fermes	40
4.1. Optimisation du système : étude des flux.....	40
4.2. Description du système de micro-fermes général	41
4.3. Cas du domaine de Graux	41
4.3.1. Description des micro-fermes	42
4.3.2. Optimisation des flux de matière	44
4.3.3. Optimisation de la rotation.....	44
CHAPITRE IV : RESULTATS	45
1. Constitution d'un panier alimentaire.....	45
1.1. Saisonnalité de production.....	46
1.2. Quantité nécessaire de chaque aliment	47
1.3. Composition nutritionnelle des régimes établis.....	48
2. Matières premières – coefficients de transformation.....	52
3. Surfaces nécessaires	54
3.1. Rendements de chaque atelier de production et comparaison	55
3.2. Rendements annuels en grande culture	55
3.3. Détail des élevages modélisés	56
3.3.1. Elevage bovin laitier	56
3.3.2. Elevage caprin laitier	58
3.3.3. Elevage bovin allaitant	59
3.3.4. Elevage ovin allaitant	60
3.3.5. Elevage porcin.....	62
3.3.6. Elevage avicole.....	63

4. Le système de micro-fermes : cas du Domaine de Graux	66
4.1. Détail des surfaces constituant le système de micro-fermes	66
4.2. Assolement	69
4.3. Flux de matière	69
4.4. Rotation en grandes cultures	70
5. Un outil de conception	71
 CHAPITRE V. DISCUSSION	 72
1. Le panier alimentaire	72
1.1. Les données	72
1.2. Analyse des paniers alimentaires établis	72
1.2.1. Quantités et densité calorique	72
1.2.2. Qualités nutritives	72
1.2.3. Validité de la comparaison	Error! Bookmark not defined.
2. Les techniques de production	74
2.1. Le maraîchage	74
2.2. Les élevages	74
3. Les surfaces nécessaires	75
4. Application à un cas concret et perspectives	76
 CHAPITRE VI. CONCLUSION	 76
 CHAPITRE VI. REFERENCES	 78
 TABLE DES FIGURES	 86
 ANNEXES.....	

Abréviations

AA

AB

AG

AG-*trans*

AGMI

AGPI

AGS

MCV

UE

UE AVI VIAN

UE AVI OEUF

UE BOV LAIT

UE BOV VIAN

UE CAP LAIT

UE OVI VIAN

UE POR VIAN

Acide aminé

Agriculture biologique

Acide gras

Acide gras-*trans*

Acide gras monoinsaturé

Acide gras polyinsaturé

Acide gras saturé

Maladie cardiovasculaire

Unité d'élevage

Unité d'élevage avicole viande

Unité d'élevage avicole œuf

Unité d'élevage bovin laitier

Unité d'élevage bovin viandeux

Unité d'élevage caprin laitier

Unité d'élevage ovin viandeux

Unité d'élevage porcin viandeux

Chapitre I. Introduction

1. L'agriculture au centre de nos besoins alimentaires

1.1. Contextualisation

Le Néolithique a vu l'agriculture et la domestication des animaux d'élevage mettre fin à un mode d'alimentation pratiqué depuis des millions d'années. Jusque là, l'homme se nourrissait exclusivement de chasse, de pêche et de cueillette. Son impact sur les écosystèmes avait déjà pris une ampleur conséquente avec l'évolution des techniques de chasse et de récolte des produits végétaux. Désormais, il aménage son environnement pour survenir à ses besoins alimentaires. L'homme prend le contrôle des écosystèmes qu'il habite en semant les plantes et en domestiquant les animaux destinés à sa nourriture.

L'augmentation de la productivité du travail humain amenée par l'agriculture permet une différenciation sociale des populations. Les systèmes agricoles évoluant, ils vont progressivement permettre à la population agricole la production de surplus, lesquels peuvent assurer l'alimentation d'une population non-agricole. La part de la population agricole baisse et les agriculteurs cultivent des surfaces de plus en plus importantes grâce à l'amélioration des techniques. La civilisation occidentale (Europe de l'Ouest et Amérique du Nord) constitue actuellement le cas le plus poussé de cette tendance avec moins de 5 % de population agricole, chiffre qui continue de diminuer année après année (Mazoyer et Roudart, 2002). En effet, en 2013, l'effectif de main d'œuvre agricole en Belgique était de 74 510 personnes soit 0.66% de la population (Waeyaert, 2015).

Cette évolution s'est accompagnée d'un exode rural massif. En Belgique, 98% de la population est urbaine (vivant dans des agglomérations de plus de 1000 habitants (Guay, 2015)). Pour alimenter cette population, ce qui est devenu un « food-system » (Sobal *et al.*, 1998) est organisé en filières agroalimentaires spécialisées par catégories de produits (viande, lait, céréales, fruits et légumes). Cette organisation entraîne une augmentation du nombre d'intermédiaires entre le producteur et le consommateur. En effet, les aliments passent par différentes étapes de transformation et de commercialisation avant d'être principalement distribués dans les grandes et moyennes surfaces. Celles-ci représentent en France 90% des ventes de produits laitiers, 80% de la viande bovine, 75% des fruits et légumes (Bergot, 2010)).

Soutenue par les avancées techniques très rapides, la maximisation des économies d'échelle a transformé le paysage agricole. Parallèlement, la maximisation des avantages comparatifs a structuré la production agricole au niveau mondial, notamment grâce à des coûts de transport très bas. Présentant de nombreux avantages dans un premier temps, ce modèle est

maintenant remis en question à cause de ses risques et coûts sociétaux (Decamp, 2013 ; Servigne, s.d.).

1.2. Alternatives au modèle dominant

En réaction à ce système ne leur convenant plus, certains agriculteurs prennent leurs distances face au régime socio-technique dominant. En adaptant leur système de production et/ou de commercialisation, ils se rendent indépendants du système économique global, autant à l'amont qu'à l'aval. Ce sont donc souvent une autonomie à la production et/ou une autonomie à la commercialisation qui sont mises en place (Delobel, 2014). Ces projets intègrent régulièrement une composante écologique dans leur conception et leur gestion. On parle alors de pratiques agroécologiques (Altieri, 1987).

Pour permettre ces pratiques et assurer leur pérennité, les agriculteurs innovent de manière bien différente que le fait le régime socio-technique dominant. Bien différentes des nouvelles technologies développées dans le cadre de ce dernier, leurs nouveautés peuvent être qualifiées d'innovations de niche (Delobel, 2014 ; Geels, 2002). Celles-ci peuvent (1) accompagner un projet de diversification, (2) améliorer l'efficacité du travail ou l'utilisation des facteurs de production, ou encore (3) réconcilier l'exploitation avec son environnement et dynamiser les services écosystémiques disponibles.

Ces projets alternatifs sont souvent rendus économiquement viables à l'aide de deux moyens. Premièrement, une fusion verticale de la filière permet à l'agriculteur d'augmenter sa marge sur ses produits. Ceci est fait par une prise en charge des activités de transformation et/ou de commercialisation des produits. Deuxièmement, des critères de qualité peuvent être avancés et permettre une hausse du prix de vente, ce qui peut être permis par un ou plusieurs labels.

1.2.1. Vente directe

C'est ainsi que s'explique le développement de nouveaux modèles économiques caractérisés par une relocalisation et la limitation du nombre d'intermédiaires. Une des premières initiatives du genre est la « Community-Supported Agriculture » (CSA ; Cone et Myrhe, 2000), qui associe un groupe de consommateurs et un ou plusieurs producteurs. Le but de ce groupe est la vente d'aliments en circuit court, le plus souvent des légumes et fruits (Merle et Piotrowski, 2012). Ces nouvelles filières commerciales répondent à une demande des consommateurs. Ceux-ci sont effectivement à la recherche d'authenticité, de responsabilité sociale et environnementale, de cohérence ainsi que de qualité (Decamp 2013). Elles assurent au producteur la vente de ses produits de manière équitable en garantissant un revenu stable et en les protégeant de la volatilité des prix du marché.

1.2.2. Pratiques et information

En réaction au système de production conventionnel, plusieurs labels sont également apparus dans le but de garantir aux consommateurs une qualité différenciée de production et/ou de

produit. Le label bio européen en est un bel exemple. Le mouvement de l'agriculture biologique (AB) apparaît dans les années 1920 et est organisé à l'échelle mondiale en 1972 avec la création de l'IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movement). Ce système de production interdit l'utilisation de produits de synthèse et adopte des techniques plus respectueuses de l'environnement. Il voit son volume de ventes augmenter chaque année en Belgique (Biowallonie, 2014).

D'autres signes de qualité européens ont été mis en place pour favoriser la diversification de la production agricole, proposer au consommateur une information claire sur l'origine des produits et mettre en valeur des savoir-faire de production et de transformation liés à un terroir (Conseil de l'Union européenne, 2006). Il s'agit des appellations d'origine protégée (AOP), des indications géographiques protégées (IGP) ainsi que des spécialités traditionnelles garanties (STG).

Un dernier exemple est le Label Rouge, en France (VFC Relations Publiques: Label Rouge, 2010), qui assure des produits de qualité supérieure.

On voit donc un « food-system » global et majoritaire dans la société occidentale. En marge de ce système, des moyens de production, de distribution et de consommation alternatifs sont proposés et développés. La consommation de produits labellisés selon des critères plus stricts que la législation se développe. Ceci montre l'intention d'une partie de la population de s'impliquer et de se responsabiliser sur le plan de la consommation alimentaire.

2. Une alimentation au service de notre santé

2.1. Un problème de santé publique ?

Causes de 79% de la mortalité dans les pays développés, les maladies chroniques et cardio-vasculaires sont de plus en plus reconnues comme un déterminant clef de la santé publique (WHO/FAO Expert Consultation, 2003).

Effectivement, les deux principales causes de décès dans les pays occidentaux sont les maladies cardiovasculaires (MCV) et le cancer (respectivement 41% et 29% aux USA, 35% et 33 % en Espagne, 42% et 33% en Grande Bretagne (World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research, 2007)). Les problèmes de santé sont particulièrement graves aux Etats-Unis : le surpoids y touche plus de 65% des adultes et l'obésité cause près de 300.000 décès chaque année ; les maladies cardio-vasculaires touchent 64 millions de personnes, l'hypertension 50 millions, et les diabètes de type II 11 millions ; près de 10% de la population présente un taux de cholestérol à risque ; les femmes ménopausées sont largement touchées par l'ostéoporose ainsi que l'ostéopénie.

Or, les effets de l'alimentation sur la santé sont de plus en plus reconnus. Le Fond Mondial de Recherche contre le Cancer (World Cancer Research Fund, WCRF) estime que chez les personnes non-fumeuses un régime alimentaire sain réduit les risques de maladies cardiaques

de 80% et le risque d'accident vasculaire cérébral ainsi que de certains cancers de 70% (2007). Certains parlent de maladies de civilisation (Cordain *et al.*, 2005) et affirment que toutes ces maladies peuvent être partiellement expliquées par de mauvaises habitudes alimentaires, notamment telles que pratiquées dans la civilisation occidentale.

2.2. Le régime occidental

Le régime alimentaire occidental est issu du « food-system » industriel apparu d'abord en Europe de l'Ouest puis aux Etats-Unis. Ce régime est caractérisé par une densité calorique élevée et une consommation importante d'aliments ayant subi un procédé agroalimentaire (processed foods). Ainsi, la viande et les produits laitiers sont consommées en grandes quantités, de même que les produits transformés, riches en sucres et en graisses. La consommation de fruits et légumes est elle trop limitée (Cordain *et al.*, 2005 ; World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research 2007). Un tel régime est associé par le WCRF (2007) à des problèmes de surpoids et d'obésité, à des diabètes de type II, à des maladies cardiovasculaires, à des accidents vasculaires cérébraux, à certains cancers ainsi qu'à d'autres maladies chroniques. L'OMS explique l'obésité par plusieurs des caractéristiques du régime occidental (WHO/FAO Expert Consultation, 2003).

Conséquemment, une attention croissante est accordée à l'aspect sanitaire des choix alimentaires. Les consommateurs sont actuellement exposés à un très grand nombre d'informations concernant les habitudes alimentaires souhaitables. Ces sources d'informations catégorisent rapidement des aliments comme bons ou mauvais. Une quantité importante de livres publiée chaque année présente des régimes miracles, mettant en avant des sources et conclusions scientifiques parfois douteuses et mal utilisées (Verburgh, 2012). Parmi cet ensemble d'informations variées et parfois contradictoires, deux critiques aux recommandations officielles apparaissent toutefois de manière récurrente. Premièrement, l'impact négatif des graisses sur la santé est remis en question (Lustig, 2012). Deuxièmement, la distinction entre sucres simples et complexes est discutée (Verburgh, 2012). Ces deux éléments sont à la base d'une critique des recommandations nutritionnelles officielles publiées en Europe et aux Etats-Unis ces 20 dernières années.

2.3. Les pyramides alimentaires remises en question

Un grand nombre d'ouvrages et de publications remet en question les pyramides alimentaires officielles, notamment aux USA (Nestle, 2002 ; Willett et Stampfer, 2003 ; Campbell et Campbell, 2005 ; Minger, 2014). Ces travaux dénoncent un manque de correspondance entre les connaissances scientifiques et les recommandations officielles. Il est également avancé que ces incohérences ont pour cause des pressions venant des industries agroalimentaires. Il est donc intéressant de se pencher sur les connaissances scientifiques actuelles concernant les trois principales sources d'énergie constituant notre régime : les lipides, les glucides et les protéines. Ceci permet de les comparer aux recommandations nutritionnelles belges (Figure 1) et de définir un régime alimentaire sain.

2.4. Les lipides

2.4.1. Prise de poids et maladies cardiovasculaires

La graisse possède un contenu énergétique de 9 kcal/g, contrairement aux glucides et protéines qui possèdent un contenu énergétique de 4kcal/g. Il est souvent avancé que l'apport calorique plus important apporté par des aliments gras favorise le surpoids et l'obésité. De même, l'absorption directe de graisses pourrait avoir une efficacité plus importante que la transformation du sucre en graisse dans l'accumulation de tissus gras. Enfin, la consommation de lipides est associée à l'augmentation de cholestérol dans le sang, et donc à un risque plus élevé de MCV. Ces affirmations ont été à la base des recommandations alimentaires officielles encourageant à diminuer tant que possible l'ingestion de graisses (Willett et Stampfer, 2003). Ces notions sur lesquelles s'appuient les recommandations n'auraient pas été scientifiquement établi et elles sont fort remises en question actuellement, comme le montrent les études analysées ci-dessous.



Figure 1. Pyramide alimentaire des recommandations officielles belges (Devriese, 2006)

La consommation régionale de lipides et la prévalence d'obésité ne montrent pas de corrélation positive dans des régions de niveau économique similaire (Willett, 1998). Lors d'une étude réalisée sur deux ans, 277 participants ont été soumis à trois régimes différents. Une perte de poids moins importante a été montrée pour un régime limité en graisses comparé à un régime limité en glucides et un régime méditerranéen (Shai *et al.*, 2008).

Il est également imputé aux graisses de déclencher et de favoriser les MCV. Celles-ci sont effectivement corrélées à la présence de cholestérol dans le sang, mais le lien direct avec la consommation de graisses n'est lui pas établi. Ainsi, une méta-analyse rassemblant près de

350.000 sujets n'a pas permis d'établir de lien significatif entre un risque plus élevé de MCV et la consommation de graisses saturées (Siri-Tarino *et al.*, 2010).

Il est en fait avéré que les concepts d'acides gras et de cholestérol n'étaient pas assez précis pour expliquer l'impact des graisses sur la santé (Mattson et Grundy, 1985 ; Mensink et Katan, 1989).

2.4.2. Les différents types de graisses et leurs impacts

Il convient effectivement de différencier les acides gras (AG). Trois catégories sont utilisées, elles décrivent la structure des molécules considérées : acides gras saturés (AGS), acides gras monoinsaturés (AGMI) et acides gras polyinsaturés (AGPI).

Une distinction a également été ajoutée entre deux types de cholestérol : les lipoprotéines de basse densité (LDL) et les lipoprotéines de haute densité (HDL). Ils sont souvent désignés comme mauvais et bon cholestérol, ayant des impacts différents sur le métabolisme. Ainsi, le rapport de cholestérols LDL/HDL dans le sang serait un bon outil pour évaluer le risque de MCV (Fernandez et Webb, 2008, Mensink *et al.*, 2003). Il a effectivement été montré que les quantités totales de cholestérol dans le sang n'ont pas d'impact significatif sur les risques de maladies cardiaques tant qu'il reste dans certaines limites.

Le rapport LDL/HDL est diminué en augmentant la consommation de graisses mono- et polyinsaturées relativement aux graisses saturées. Une étude a précisé cela en montrant des effets différents suivant le profil en AG consommé. Ainsi, la longueur des chaînes d'AG aurait son importance, de même que l'emplacement et le type des insaturations présentes au sein des chaînes carbonées (Kris-Etherton et Yu, 1997).

Les acides gras *trans* (AG-*trans*), nommés ainsi par la caractéristique de leur(s) insaturation(s), ont montré un lien avec un risque plus élevé de MCV. Différents mécanismes expliquent cela (Hu *et al.*, 2001). Premièrement, ces acides gras ont pour effet d'augmenter les niveaux de cholestérol LDL et de diminuer le niveau de cholestérol HDL par rapport aux acides-gras *cis* correspondants, multipliant par deux le rapport du cholestérol total sur HDL. Deuxièmement, les AG-*trans* élèvent les niveaux de lipoprotéines en général ce qui accentue le premier effet. Troisièmement, les AG-*trans* induisent une augmentation le niveau sanguin en triglycérides, connus pour accroître les risques de MCV. Enfin, ils favorisent les phénomènes de résistances à l'insuline.

Les AG-*trans* sont générés lors de la transformation des huiles. On les trouve donc dans les margarines, dans les produits de boulangerie et de pâtisserie ainsi que dans les produits frits d'alimentation rapide. L'utilisation des graisses trans a très vite été limitée par la législation en Europe. Ce processus prend plus de temps aux Etats-Unis (Hu *et al.*, 2001).

Il est également question de la consommation d'oméga-3 et d'oméga-6, deux types d'acides gras essentiels dont les proportions ont beaucoup changé ces dernières décennies, au profit des oméga-6. Le régime occidental n'assure pas un apport suffisant en oméga-3, alors que

ceux-ci offrent une protection supplémentaire contre les maladies cardiovasculaires, les états dépressifs et les maladies inflammatoires (Simopoulos, 2002).

2.4.3. Recommandations officielles

En Belgique, une couverture des besoins énergétiques de 30 à 35% de l'apport énergétique total (AET) est conseillée pour les lipides (Conseil Supérieur de la Santé, 2009). L'attention est portée sur les types de lipides, dont les AGS sont acceptés pour maximum 10% de l'AET. Les effets positifs des AGMI et AGPI sont soulignés, avec un accent mis sur les AGPI de la famille des oméga-3. Il est également fait état des AG-trans, dont il faut limiter la consommation au maximum, à l'exception de l'acide linoléique conjugué (CLA), présent naturellement dans les viandes et les produits laitiers, et déclaré bon pour la santé (Talbot et Hughes, 2007). Cet AG a effectivement montré des propriétés anti-cancérogènes ; sa consommation réduit l'athérosclérose, l'initiation de diabète et la masse de graisse du corps (Belury, 2002).

2.5. Les glucides

Les glucides sont formés de saccharides organisés en chaînes plus ou moins longues. Les monosaccharides tels que le glucose ne sont constitués que d'un saccharide tandis que les polysaccharides tels que l'amidon peuvent former de très longues chaînes.

Les glucides ont longtemps été classés en sucres lents et sucres rapides pour spécifier la vitesse à laquelle ils peuvent être absorbés dans l'intestin, présumant que la longueur des chaînes de saccharides influençait la vitesse à laquelle ceux-ci étaient absorbés (Allen, 1920). Cette notion apparue au début du siècle a pourtant été très vite discutée. L'étude réalisée par Wahlqvist (1978) montre que les concentrations de glucose, d'insuline et d'acides gras dans le sang réagissent de manière similaire à l'ingestion de monosaccharides, de penta-saccharides ou de polysaccharides – de l'amidon. La longueur des chaînes n'est donc pas un facteur suffisant pour différencier les glucides.

Appuyant cette thèse, Jenkins et son équipe (1976) montrent que l'addition de fibres à une quantité définie de glucides diminue significativement leur absorption. Il fut également montré que l'extraction de fibres d'un aliment ainsi que son broyage peuvent faciliter l'ingestion, réduire l'impression de satiété et modifier la libération d'insuline (Haber *et al.*, 1977). Ainsi, les effets différents sur le glucose et l'insuline du plasma sanguin selon la source de glucose ingérée (dextrose, riz, pomme de terre, maïs et pain) suggèrent l'intervention de co-facteurs. Ces observations ont mené à la création d'un nouvel outil de mesure de l'effet de l'ingestion de produits contenant des glucides : l'indice glycémique.

2.5.1. L'indice glycémique

L'indice glycémique (IG) est une notion inventée en 1981 (Jenkins *et al.*, 1981). Il s'agit d'une mesure relative du potentiel des glucides contenus dans un aliment à augmenter le taux de sucre dans le sang. Cette mesure est effectuée en comparaison à la réaction à une quantité identique de glucides sous la forme de glucose pur. Cet outil permet une approche plus juste des effets physiologiques des glucides contenus dans les aliments. Les différences d'indice glycémique sont expliquées par la forme de l'aliment, sa teneur en fibres et la nature des glucides qu'il contient. Une relation négative significative de l'IG a également été trouvée avec le contenu lipidique et le contenu protéique de l'aliment considéré (Jenkins *et al.*, 1981). Un aspect intéressant de cet indice est le fait qu'il remet en question le concept de sucres lents et rapides. Effectivement, des aliments issus de farines raffinées ou des pommes de terre montrent des indices et charges glycémiques très élevées – la charge glycémique est obtenue en multipliant l'IG par la quantité de glucides présent dans une portion de l'aliment. Ces aliments, qualifiés de sources de sucres lents, peuvent donc avoir un effet similaire à la consommation de sucres dits rapides (Tableau 1). Ces réactions métaboliques étant mauvaises pour la santé, la consommation de ces aliments devrait être réduite. Or, ce sont des aliments qui se trouvent souvent à la base des pyramides alimentaires officielles. Il est également intéressant de remarquer que les différentes formes d'un même aliment ont des IG fort variables.

Aliment	IG
Glucose	103
Pain, blanc	75
Pain, farine complète	74
Spaghetti, blanc	49
Spaghetti, farine complète	48
Pomme	36
Banane	51
Jus de pomme	41
Pomme de terre, bouillie	78
Pomme de terre, purée inst.	87
Pomme de terre, frites	63
Carotte, crue	16
Carotte, bouillie	39
Lait entier	39

Tableau 1. Valeurs moyennes d'IG de quelques aliments. Adapté de Atkinson *et al.*, 2008.

Une méta-étude étudiant l'efficacité de cet indicateur a montré les effets négatifs sur la santé que peuvent constituer la consommation habituelle d'aliments à IG élevé (Ludwig, 2002).

Une hyperglycémie chronique et une hyperinsulinémie pourraient être à la base de changements hormonaux et physiologiques favorisant l'apparition de résistance à l'insuline.

Ce phénomène serait ainsi à la base d'une série de maladies telles que l'obésité, les maladies coronariennes du cœur, les diabètes de type II, l'hypertension et la dyslipidémie (Liu et Willett, 2002). Les avis et études convergent donc sur la nécessité de limiter la consommation d'aliments à IG élevé en vue de limiter les risques de maladies cardio-vasculaires de manière générale.

La notion d'IG est également critiquée pour plusieurs raisons. Ce sont principalement les grandes variations présentes dans les mesures d'IG pour un même aliment qui posent problème. Beaucoup de facteurs entrent effectivement en compte, notamment la cuisson. De plus, le mélange de différents aliments lors d'un repas affecterait aussi beaucoup les concentrations sanguines de glucose (Wylie-Rosett *et al.*, 2004).

2.5.2. Les glucides remis en question

Plusieurs régimes conseillent une réduction des glucides totaux. C'est le cas du régime Atkins, du régime cétogène ainsi que du régime paléolithique. Ces régimes sont particulièrement étudiés dans le cadre de programmes de pertes de poids et dans les cas d'obésité (Grieb *et al.*, 2008). Ces régimes ont montré de meilleurs résultats que ceux limitant l'apport énergétique dans le cas de sujets obèses, sans impact négatif sur les fonctions cardiaques (Foster *et al.*, 2003 ; Stern *et al.*, 2004).

Il a été montré qu'un régime limitant les glucides (>70% de l'apport calorique provenant de la consommation de lipides, <15% de l'apport calorique provenant de la consommation de glucides) n'était pas néfaste à la santé d'individus sains sur le long terme (Grieb, *et al.* 2008). Toutefois, les bénéfices d'un régime limitant les glucides – niveaux de cholestérol HDL plus élevés et niveaux de triglycérides plus faibles (Hu *et al.*, 2012) – peuvent être dûs à la suppression des aliments à haut IG, dont les sucres. Les régimes favorisant les aliments à bas IG ont effectivement montré des diminutions des triglycérides et des augmentations de cholestérol HDL (Pawlak *et al.*, 2002).

Une limitation de la quantité totale de glucides peut donc être utile dans un programme de perte de poids, mais aucune étude ne permet de l'encourager à long terme.

2.5.3. Recommandations officielles

Les recommandations officielles belges concernant la consommation de glucides ont récemment été revues à la hausse. Le dernier rapport du Conseil Supérieur de la Santé (2009) conseille une couverture de 55% de l'AET par les glucides, en spécifiant que la plupart de ceux-ci devront être des glucides complexes. Les effets néfastes des glucides simples sur la santé tels que décrits plus tôt sont abordés, de même que la notion d'index glycémique. Ce concept est toutefois remis en question. En effet, un consensus scientifique n'est toujours pas atteint quant aux bienfaits d'un régime principalement basé sur ce critère. L'apport en sucres ajoutés doit être limité à 10% de l'AET.

L'apport en fibres est également abordé. Ce sont minimum 30g/jour qui sont recommandés chez l'adulte pour assurer de bonnes fonctions intestinales ainsi qu'une réduction des risques de pathologies cardiovasculaires, d'obésité, de certains cancers ainsi que d'infections et pathologies inflammatoires. Les recommandations sont donc très cohérentes avec les études recensées ci-dessus.

2.6. Les protéines

2.6.1. Risques liés à la consommation de viande

La consommation de protéines répond aux besoins en acides aminés (AA) de notre organisme. Une partie des AA sont dits essentiels, ne pouvant pas être synthétisés par le corps humain. Une étude menée en 1974 sur des rats montre une relation entre la part de protéines dans l'alimentation et les cas de maladies cardiaques, rénales, prostatiques et de cancers (Ross et Bras, 1974). La question est donc posée de l'impact sur la santé de la consommation excessive de protéines.

Concernant les produits animaux, la consommation de viande rouge et de viande transformée est associée à un risque plus élevé de cancers, notamment du côlon, du poumon, du foie et de l'œsophage (Cross *et al.*, 2007). Particulièrement pour le cancer du côlon, ces effets seraient dus à un apport élevé en graisses, et à l'action de différents facteurs cancérigènes dont une partie peut être contrôlée en modifiant la cuisson de la viande (Santarelli *et al.*, 2008 ; Cho *et al.*, 2006). La consommation de viande pourrait également être associée à des risques accrus de MCV, particulièrement la viande rouge (Kontogianni *et al.*, 2008). Enfin, un apport élevé en protéines animales élèverait l'acidité du sang et donc le risque d'ostéoporose (Walford, 2000 ; Sellmeyer *et al.*, 2001), ainsi que le risque de diabète (Sluijs *et al.*, 2010).

Aucune étude n'a montré d'effets négatifs de la consommation de protéines végétales. Les apports en AA essentiels doivent toutefois être assurés. Une méta-étude a montré que le remplacement de protéines animales par des protéines issues de soja réduisait les concentrations sanguines de cholestérol total, de cholestérol LDL, ainsi que de triglycérides (Anderson *et al.*, 1995).

2.6.2. Recommandations officielles

Les besoins en protéines indiqués par le Conseil Supérieur de la Santé sont entre 9 et 11% de l'apport énergétique. Une augmentation de l'acidité du corps peut être causée par un apport trop élevé en protéines, mais aucun effet dommageable pour la santé n'est constaté en dessous de 25% de l'apport calorique.

2.7. Le régime paléolithique

L'arrivée de l'agriculture et la domestication des animaux constituent de profonds chamboulements de l'environnement de l'homme, notamment à travers son régime et son style de vie. L'alimentation a été particulièrement modifiée avec le développement de l'agriculture et depuis la révolution industrielle (Eaton et Konner, 1985 ; Williams et Nesse, 1991). À une échelle évolutive, ce changement est très récent pour avoir permis une adaptation de notre génome à ces nouvelles conditions. La discordance existant entre notre mode de vie – nutrition, activités – et notre biologie génétique pourrait être à la source du développement de « maladies de civilisation » (Cordain *et al.*, 2005).

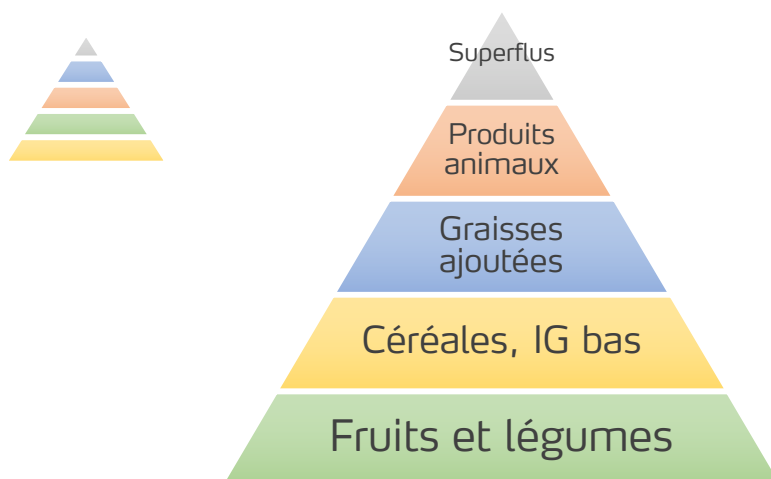


Figure 2. Pyramide alimentaire proposée par Houlbert (2008). Pyramide alimentaire des recommandations alimentaires belges reprise en haut à gauche.

Ce modèle est la base du régime paléolithique, dont le but est de retrouver le profil alimentaire de nos ancêtres chasseurs-cueilleurs. Les études considèrent un apport en poids de 65% en végétaux et de 35% en viande, en moyenne. Les habitudes alimentaires variaient effectivement très fort en fonction des ressources localement disponibles. De manière générale, les morceaux de viande consommés étaient beaucoup moins gras que la viande actuellement issue de l'élevage. La composition en acides gras était également différente ; chaque gramme de viande contenait 5 fois plus d'AGPI que la viande actuellement issue de l'élevage. Les végétaux composant ce régime étaient des racines, des graines, des noix, quelques tubercules, des feuilles et des fruits. La contribution de grains était vraisemblablement très faible, ce qui contraste fort avec habitudes alimentaires occidentales, pour lesquelles les céréales forment la base (Eaton et Konner, 1985). En particulier, ce sont 7 caractéristiques nutritionnelles qui ont été altérées :

- La charge glycémique
- La composition en AG
- La composition en macronutriments
- La densité en micronutriments
- La balance acide-base
- Le rapport sodium/potassium
- La quantité de fibres

Ainsi, il conviendrait de rétablir ces caractéristiques pour retrouver un régime sain et adéquat à notre biologie génétique. C'est ce que propose le livre « La meilleure façon de manger » d'Houlbert (2008). La plupart des conseils donnés par cet ouvrage correspondent aux connaissances scientifiques développées aux sections 2.4, 2.5 et 2.6. Il ne s'agit toutefois pas d'un régime paléolithique strict pour lequel les céréales, les légumineuses, les produits laitiers et les aliments transformés sont exclus (Figure 2).

3. La santé à travers les pratiques agricoles

Le choix des types d'aliments a certainement un impact sur la santé du consommateur. Il semble que le choix de leur mode de production puisse également avoir son importance

3.1. Les pesticides synthétiques

L'augmentation des rendements lors de la deuxième moitié du XXème siècle a été effectuée en partie grâce à l'utilisation de la chimie. L'usage de tels produits est régulé en Europe par l'EFSA, qui fixe des limites maximales de résidus (LMR) : les « niveaux supérieurs de concentration de résidus de pesticides autorisés légalement dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux » (Parlement européen et Conseil de l'Union européenne 2005). Cette même autorité doit autoriser les produits avant qu'ils puissent être utilisés en agriculture.

La sécurité des limites fixées par les organismes régulateurs est toutefois remise en question (Levine, 2007 ; Leu, 2014). Notamment, les méthodes utilisées pour fixer ces limites ne seraient pas valables, et les effets de la combinaison de différents produits serait démultipliée (Kortenkamp, 2007). Aucune étude épidémiologique n'a à ce jour pu montrer d'effets des niveaux d'exposition actuels des consommateurs sur les risques de cancer (World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research 2007).

L'agriculture biologique constitue un mode de production permettant de limiter les expositions aux résidus de pesticides. Les aliments biologiques en contiennent toutefois : un tiers des concentrations trouvées dans les aliments conventionnels. La probabilité de contenir plusieurs types de résidus de pesticides est beaucoup plus faible pour les aliments biologiques (Baker *et al.*, 2002).

3.2. Les antibiotiques

Les élevages industriels nécessitent l'utilisation constante de médicaments antibiotiques pour prévenir ou traiter les maladies infectieuses. Des résidus d'antibiotiques sont donc présents dans les aliments et boissons, généralement dans les limites maximales recommandées par les organismes de régulation (World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research 2007).

Deux inquiétudes se présentent face à l'utilisation de ces antibiotiques. D'une part, leurs résidus dans les aliments pourraient être à la base de réactions allergiques, de tels effets ayant été montrés avec l'utilisation de pénicilline (Dewdney *et al.*, 1991). D'autre part, l'utilisation massive d'antibiotiques dans les élevages risque d'être à la source de souches de bactéries multi-résistantes, ces bactéries pouvant être transmises à l'homme au moyen des aliments (Landers *et al.*, 2012).

3.3. Les qualités intrinsèques des aliments

Une problématique est également apparue ces dernières décennies concernant l'apport en vitamines et en minéraux. Effectivement, alors que le régime occidental est généralement accompagné d'une suralimentation, il n'assure pas toujours l'apport de ces nutriments en quantités suffisantes (Halweil, 2007). Or, des déficiences en nutriments ont montré des effets négatifs sur la santé physique et mentale (Thomas, 2007). Notamment, de telles carences peuvent augmenter les risques de cancers en détériorant l'ADN (Ames et Wakimoto, 2002). Les études analysant l'évolution des teneurs en nutriments dans les aliments ces dernières décennies montrent des détériorations des densités nutritionnelles (Thomas, 2007 ; Davis *et al.*, 2013). Celles-ci sont probablement le résultat des critères de choix et de développement des variétés végétales ainsi que de l'appauvrissement des sols en micronutriments. (1) Les principales variétés cultivées ont notamment été développées dans le but d'augmenter les rendements, sans que la densité nutritionnelle ne soit un critère de sélection. Des effets de dilution ont ainsi été observés avec l'augmentation des rendements (Jarrell et Beverly, 1982). (2) L'appauvrissement des sols serait notamment dû à la fertilisation chimique. Celle-ci, en se

focalisant sur trois principaux nutriments – azote, phosphore, potassium –, crée des déficiences pour les autres nombreux nutriments (Halweil, 2007). Ces deux éléments sont des arguments en faveur du mode de production biologique, qui cultive généralement des variétés moins productives et utilise principalement des fertilisants organiques.

De nombreuses études ont comparé les qualités nutritionnelles des produits conventionnels et biologiques. Les deux dernières « reviews » publiées (Dangour, et al. 2009 ; Smith-Spangler *et al.*, 2012) concluent toutes deux qu'il n'y a pas de différence nutritionnelle significative entre les deux catégories d'aliments. Seules les teneurs nulles ou plus faibles en pesticides et antibiotiques des aliments biologiques font une différence entre les deux types de produits.

Hors de la distinction entre produits biologiques et conventionnels, il a été montré que les aliments des animaux d'élevages influençaient les profils d'AG présents dans la viande. Ainsi, du bœuf nourri principalement à l'herbe montre des concentrations en AG fonctionnels (oméga-3, CLA) plus importantes ainsi que des teneurs d'AG-trans plus faibles par rapport à du bœuf nourri principalement avec des céréales (Ponnampalam *et al.*, 2006 ; Daley *et al.*, 2010). Des précurseurs de vitamine A et E ainsi que des antioxydants sont trouvés en quantités plus élevées chez les bœufs élevés à l'herbe. Une teneur en AGS présumée plus faible chez les bœufs nourris aux céréales est discutée (Daley *et al.*, 2010).

4. Le Domaine de Graux

Le Domaine de Graux est une ferme située dans le Hainaut occidental à proximité de Tournai, en région limoneuse sur sols lourds. Le domaine fait 120 ha dont 83 de superficie agricole utile disponible, le reste étant principalement dédié à la biodiversité ou loué à d'autres agriculteurs. Conventionnelle il y a 10 ans, la ferme est maintenant certifiée biologique et continue sa transition.

Une série de pratiques agroécologiques ont été adoptées. Tout d'abord, le labour a été abandonné en vue d'améliorer la vie du sol et les services qu'elle procure. Les adventices sont limitées grâce à l'installation d'engrais verts entre les cultures. Ces engrais verts améliorent également la structure et la fertilité du sol ; les cultures suivant l'engrais vert sont semées sous-couvert. La biodiversité est également favorisée par l'installation de bandes herbeuses longeant et traversant toutes les surfaces arables.

L'évolution continue du domaine passe également par une diversification des productions. Deux troupeaux de races rustiques ont déjà été installés : un troupeau de bovins allaitants de race « Aberdeen Angus » ainsi qu'un troupeau de chèvres laitières de la race « Poitevine ». Ces troupeaux sont nourris grâce à un pâturage tournant optimisant la valorisation de l'herbe. Les éventuels suppléments en céréales sont fournis par le domaine. Un atelier de transformation est également envisagé.

L'objectif est de produire des paniers alimentaires complets reprenant tous les aliments nécessaires à un régime sain basé sur les recommandations du régime paléolithique. La

diversification de la production se fait par l'installation de nouvelles micro-fermes sur le domaine (Annexe 1 ; Lambert, et al. 2014). Un groupement d'intérêt économique et écologique a pour cela été mis en place. Des droits d'emphytéose comprenant des servitudes environnementales ont été développés pour servir de base à l'installation des micro-fermes. Enfin, toutes ces innovations sont développées et mises en place grâce à une démarche participative incluant des agriculteurs voisins.

5. Vue d'ensemble

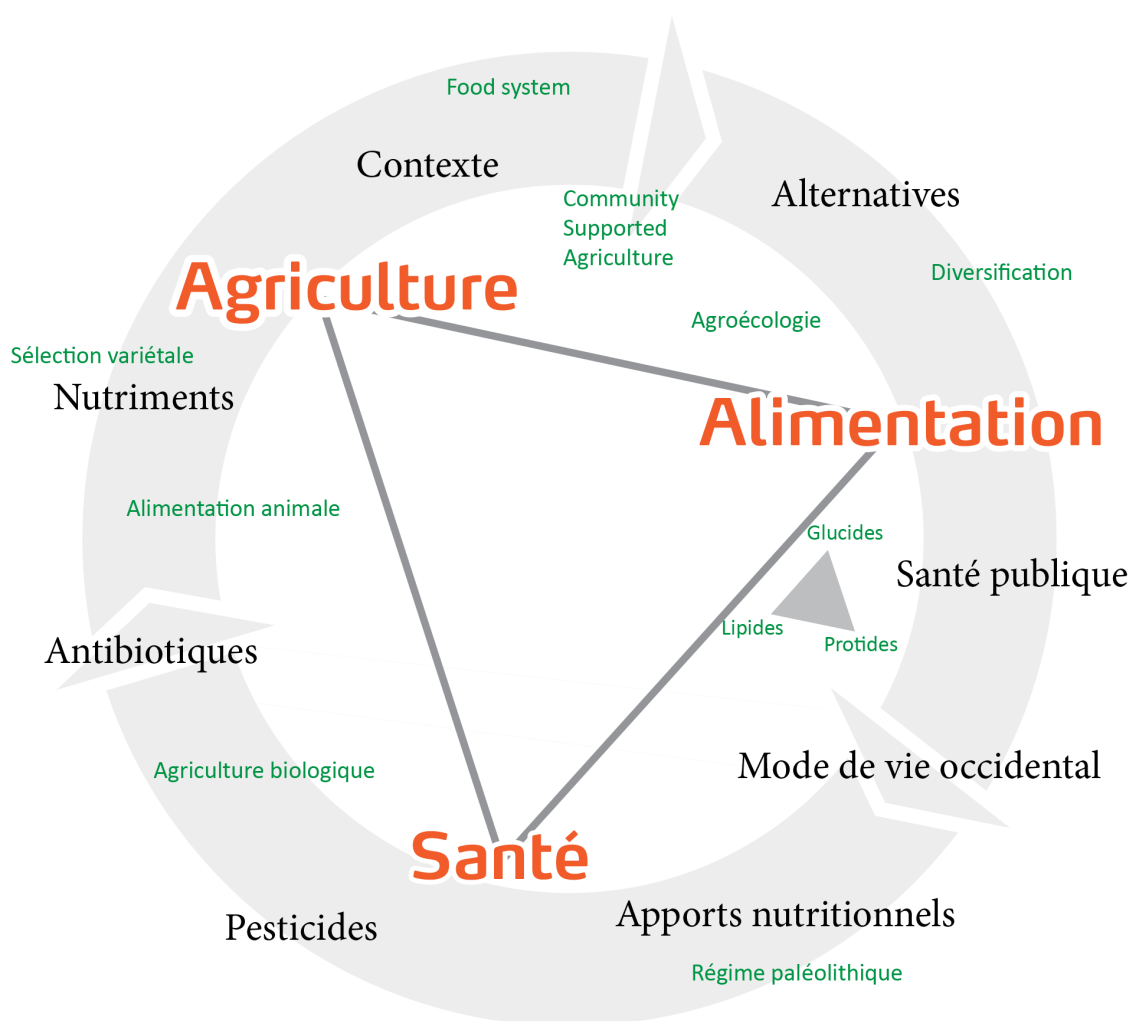


Figure 3. Schéma de synthèse de l'introduction

Une vue d'ensemble de cette introduction est proposée en Figure 3. Celle-ci met en évidence les liens existant entre l'agriculture, l'alimentation et la santé qui ont été développés lors de cette introduction. Cette analyse est loin d'être exhaustive mais les concepts abordés permettent d'établir les fondements de ce travail.

Chapitre II. Objectifs du mémoire

L'objectif de ce mémoire est la conception et l'optimisation d'un système de micro-fermes travaillant en collaboration avec un domaine agricole à la production de paniers alimentaires annuels sains et nutritionnellement complets destinés aux populations avoisinantes. Ce système doit être autonome et agroécologique (Altieri 1987).

La première étape permet la détermination des aliments à produire. Le but du système de micro-fermes est de produire en fonction des besoins des populations avoisinantes. Nous cherchons donc à déterminer un régime alimentaire complet reprenant tous les aliments nécessaires et disponibles à la production en Belgique. Pour cela, un régime alimentaire de référence est établi sur la base de l'enquête de consommation alimentaire belge de 2004 (Devriese, et al. 2006). Ce régime est comparé à un régime proche du paléolithique selon les bases définies par Houlbert (2008). Ces deux régimes sont soumis à une analyse nutritionnelle. Ceci permet d'égaliser leurs contenus caloriques et d'assurer qu'ils sont nutritionnellement complets.

La deuxième étape concerne le calcul des quantités de matières premières nécessaires à la production des aliments. Les aliments dits simples sont consommés tels quels, les quantités de matières premières correspondent donc aux quantités de l'aliment considéré. Les autres aliments nécessitent une transformation. Les processus de transformation de chacun d'eux sont étudiés de manière à déterminer des coefficients de transformation. Ceux-ci permettent le calcul des quantités de matières premières nécessaires à leur production.

Une fois les quantités de chaque aliment et matière première établies pour chacun des deux régimes, les surfaces nécessaires à leur production sont calculées. Il s'agit de la troisième étape. Des données de rendement principalement issues de la bibliographie sont utilisées pour les productions végétales. Les surfaces nécessaires aux produits issus de l'élevage ont demandé la modélisation d'élevages basés sur des cas réels correspondant aux critères d'autonomie et d'intensivité écologique. Les données nécessaires sont issues d'entretiens avec des producteurs ainsi que de la bibliographie, principalement de fiches techniques.

La dernière étape consiste en la conception du système de micro-fermes du domaine de Graux. Elle commence par le calcul du nombre de personnes qu'il est possible de nourrir sur une surface donnée. Le parcellaire est alors établi et analysé, les installations nécessaires aux élevages, à la transformation et à la conservation d'aliments sont dimensionnées. Les intrants et sous-produits de chaque production sont listés et quantifiés. Leurs quantités nécessaires et produites sont comparées. Les pratiques d'élevage notamment sont alors adaptées en vue de limiter au maximum les quantités d'intrants importées et d'assurer une valorisation des sous-produits.

Le produit final de ce travail de fin d'études est une description quantifiée de chaque micro-ferme et du domaine ainsi que leurs interactions avec l'extérieur.

Chapitre III. Matériel et méthodes

La réalisation de ce travail est divisée en quatre étapes justifiées dans le chapitre précédent. Ces quatre étapes ainsi que les couleurs s'y référant sont représentées en Figure 4. Le rassemblement de toutes les données et tous les calculs les compilant ont été effectués sur le tableur Excel.

	Constitution d'un panier alimentaire complet	Calcul des matières premières nécessaires	Calcul des surfaces nécessaires	Conception du système de micro-fermes	
	Régime alimentaire belge actuel Régime alimentaire « paléolithique »	Aliments simples Aliments transformés	Productions végétales Productions animales	Analyse du parcellaire Analyse des matières	

Figure 4. Organigramme de la démarche générale adoptée pour la réalisation de ce travail.

1. Constitution d'un panier alimentaire complet

Un panier alimentaire est défini dans le cadre de ce mémoire comme l'ensemble des aliments constituant l'alimentation d'une personne pendant un an. Cette personne correspond à la moyenne de la population belge de plus de 15 ans (Devriese et al., 2006). Les aliments constituant cette ration doivent respecter deux conditions : on doit pouvoir les produire en Belgique et leur consommation doit respecter les contraintes de saisonnalité et de conservation les caractérisant.

Le système de micro-fermes se voulant généralisable à d'autres situations que le Domaine de Graux, c'est tout d'abord un panier alimentaire basé sur l'observation des habitudes alimentaires en Belgique qui a été constitué. Ce panier est appelé « Panier belge » dans le cadre de ce mémoire. Ce panier se différencie de la consommation réelle des belges car il ne tient compte que d'aliments pouvant être produits localement sans installations trop importantes ou énergivores.

Le panier alimentaire basé sur le régime paléolithique a également été développé. Le guide alimentaire rédigé sous la direction d'Houlbert (2008) est la source principale utilisée pour constituer ce panier. Celui-ci est appelé « Panier paléolithique » dans le cadre de ce mémoire.

Catégories		Définitions	
	Légumes	Légumes au sens culinaire, exceptée famille des Fabacées	
	Légumineuses	Légumes de la famille des Fabacées	
	Fruits	Fruits au sens culinaire	
	Aliments céréaliers	Aliments non sucrés principalement constitués de céréales	
	Oléagineux	Noix et graines oléagineuses, non-transformées	
	Laitages	Lait et aliments fabriqués à partir de lait, excepté beurre	
	Oeufs	Oeufs	
	Poissons	Aliments issus de poissons et fruits de mer	
	Viandes	Aliments non transformés issus de l'élevage d'animaux abattus, excepté poissons	
	Charcuteries	Aliments transformés issus d'animaux abattus	
	Graisses	Aliments à contenu en lipides > 80%	
	Aliments sucrés	Aliments produits au moins en partie à partir de sucre	

Tableau 2. Définition des catégories d'aliments utilisées

1.1. Catégories d'aliments

Les aliments constituant ces deux paniers ont été regroupés en différentes catégories tirées et adaptées du même guide (Tableau 2). Les légumineuses ont été séparées des légumes en raison de leur statut nutritionnel particulier : leur contenu élevé en protéines.

1.2. Identification des aliments productibles sur le domaine et saisonnalité de production

Pour chaque catégorie, tous les aliments productibles en Belgique et répondant aux besoins nutritionnels de la population ont été répertoriés sur la base des publications d'Houlbert (2008) et de l'IBGE (2010). Plusieurs aliments, principalement des légumes, ont été ajoutés ultérieurement pour compléter la liste et améliorer son exhaustivité. Certains aliments consommés frais ne sont disponibles que pendant une période restreinte de l'année. Cette période dépend de leur saison de récolte.

Des techniques culturales peuvent permettre d'allonger la saison de récolte de certains fruits et légumes. De manière générale, ce sont la température et la luminosité qui sont contrôlées par divers processus telles que des serres parfois chauffées ou éclairées artificiellement. Dans le but de limiter les infrastructures nécessaires ainsi que la consommation énergétique, l'usage de ces techniques est limité à des serres non chauffées pour la culture maraîchère. Celles-ci permettent de garantir une production pendant l'hiver et d'accroître la diversité de légumes. Différents moyens de conservation permettent également d'allonger la période de consommation des produits. Le séchage, la réfrigération et la mise en pots sont considérés.

Pour tenir compte des périodes de disponibilité des aliments dans l'établissement des rations alimentaires, leur consommation a dû être différenciée en fonction de la période de l'année.

Légumes

Au vu de la saisonnalité des légumes et de l'état frais dans lequel ils sont généralement consommés, leur disponibilité a été spécifiée pour chaque mois de l'année.

Le document utilisé pour déterminer les périodes de disponibilité des fruits et légumes est une publication de l'IBGE-BIM (2010). Ces données ont été complétées et validées par d'autres publications (Thorez en Lapouge-Déjean 2009) (Argouarc'h 2005) lors de l'étude de la production des légumes. Priorité a été donnée aux valeurs disponibles dans la publication de l'IBGE (2010), ces informations étant spécifiques à la Belgique.

Légumineuses

Les légumes de la famille des fabacées ont été listés. Seules les espèces cultivables sous nos climats ont été gardées. La même publication que pour les légumes a été utilisée (IBGE 2010). Les haricots verts ont été transférés dans la catégorie « légumes ». Leur contenu en protéines est effectivement beaucoup plus faible que les autres légumineuses à cause de leur stade précoce à la récolte et de la faible proportion que forment les grains dans la partie comestible (U.S. Department of Agriculture 2015). La production n'a pas été spécifiée pour les différentes saisons de l'année. Les légumineuses restantes sont effectivement consommées tout au long de l'année en étant séchées ou mises en conserve.

Fruits

Au vu de la saisonnalité des fruits et de l'état frais dans lequel ils sont généralement consommés, leur disponibilité a été spécifiée pour chaque mois de l'année. La même publication que pour les légumes a été utilisée (IBGE 2010). La diversité de fruits est très limitée en hiver et au printemps. La disponibilité de certains d'entre eux a donc été rallongée de manière à garantir un minimum de 5 fruits différents disponibles tout au long de l'année. Leur conservation est alors assurée par séchage ou mise en pot.

Aliments céréaliers

Le froment et l'épeautre ont été considérées comme panifiables. L'orge, la triticales et l'avoine peuvent également être produits en Belgique. Des pâtes à l'épeautre ainsi que des nouilles au froment peuvent constituer des alternatives aux pâtes au blé dur.

L'avoine peut être consommée sous forme de flocons.

Oléagineux

Deux aliments appartenant à cette catégorie sont indiqués dans la publication de l'IBGE (2010) : les cerneaux de noix ainsi que les noisettes. Les graines de lin et les pépins de courge ont été ajoutés à la liste.

Graisses

Les aliments cités dans la publication d'Houlbert (2008) ont été restreints au beurre et aux huiles productibles en Belgique. Seules les huiles de colza, de lin et de noix ont été gardées.

Leurs profils en acides gras étant fort variés, ces graisses doivent permettre un apport équilibré en acides gras (Houlbert, 2008).

Laitages

Le lait de deux types d'animaux a été retenu : le lait de vache et le lait de chèvre. Il peut être consommé tel quel ou être transformé en yaourt, en crème, en fromage et en beurre. Le lait consommé tel quel est du lait demi-écrémé. Différents types de fromages existent, correspondant à différents modes de fabrication. Quatre d'entre eux ont été distingués comme suit (Le guide 2007 des fromages au lait cru, 2006): les fromages caillés lactiques, les fromages à pâte pressée non-cuite, les fromages à pâte pressée mi-cuite, les fromages à pâte pressée cuite. Seul le lait de vache est écrémé pour être consommé sous cette forme ou pour être transformé en yaourt. De par sa teneur en lipides, le beurre a été transféré dans la catégorie « graisses ».

Le lait de chèvre est valorisé uniquement pour la production de fromages.

Viandes

Concernant les viandes, seul l'animal concerné est spécifié. Les différents morceaux constituant la carcasse ne sont pas détaillés. Les viandes de lapin et de gibier n'ont pas été considérées, leur consommation étant très marginale en Belgique (Institut Scientifique de la Santé Publique 2004). Il reste donc la viande bovine, la viande porcine, la viande ovine, ainsi que les volailles.

Œufs

Seuls les œufs de poule sont considérés.

Poissons

Seule la truite est considérée.

Charcuteries

Les charcuteries proposées sont limitées aux produits de valorisation des abats d'animaux. Seuls les abats autorisés par la législation européenne à l'alimentation humaine ont été considérés. Ils sont listés et quantifiés dans un document publié par FranceAgriMer (Blezat Consulting 2013). Les différents produits ne sont pas précisés. Seul est précisé le type d'animal utilisé.

Aliments sucrés

Deux types d'aliments ont été considérés: les sucres et confiseries d'une part, les gâteaux et biscuits d'autre part.

1.3. Calcul des quantités d'aliments

Les quantités d'aliments sont définies et calculées en kg pour la plupart d'entre eux. Exception est faite pour les laitages pour lesquels l'unité utilisée est l'équivalent lait. Effectivement, les produits laitiers sont des produits dont les valeurs nutritionnelles varient beaucoup en fonction du produit considéré. Des produits transformés tels que les fromages sont beaucoup plus

riches que le lait, ou le yaourt. Ceci s'explique par le fait que plusieurs litres de lait sont nécessaires à la production de ces produits. De ce fait, la quantité de produits laitiers à manger pour un même apport nutritionnel variera beaucoup en fonction des types de produits consommés. Pour remédier à cela, des équivalents lait ont été utilisés. Ces équivalents sont utilisés en statistique pour comparer des quantités de produits laitiers entre elles (Meyer en Duteurtre 1998). Ils se basent sur la composition des produits laitiers ou sur l'efficacité des modes de fabrication. Ce sont ici des coefficients basés sur le taux de matière sèche des produits qui seront utilisés. Ce choix est fait car les sous-produits ne sont pas intégrés directement dans le panier alimentaire.

Les œufs sont comptés par pièce.

Les contraintes suivantes ont déterminé la méthode de calcul des quantités d'aliments :

- Les données disponibles concernant les habitudes de consommation alimentaire en Belgique indiquent les quantités consommées pour différentes catégories d'aliments, et parfois pour certains aliments spécifiques ;
- L'ouvrage utilisé pour l'établissement du régime paléolithique n'indique pas les quantités relatives des aliments devant composer le régime. Seul est indiqué un nombre de portions par catégorie pour une semaine ou une journée. À une portion est associée un poids spécifique pour certains aliments représentatifs de la catégorie.

Pour chacun des régimes, il est donc possible de déterminer la quantité nécessaire pour chaque catégorie d'aliments mais les informations disponibles sont insuffisantes pour déterminer la quantité de chaque aliment. Une valeur de pondération a donc été déterminée pour chaque aliment au sein de sa catégorie.

La multiplication des valeurs de pondération – celles-ci ont été ramenées à 1 au sein de chaque catégorie – à la quantité nécessaire par catégorie est égale à la quantité nécessaire de l'aliment considéré. Ce calcul est illustré dans le Tableau 3.

	Catégorie d'aliment	Quantité par catégorie	Aliment	Valeur de pond.	Quantité d'aliment	
	Catégorie Y	C_y	Aliment x, cat. y.	$P_{x,y}$	$A_{x,y} = C_y \cdot P_{x,y} / \sum P_y$	
	Catégorie 1					
		C_1	Aliment 1	P_1	$A_{1,1} = C_1 \cdot P_1 / (P_1 + P_2 + P_3)$	

		C ₁	Aliment 2	P ₂	$A_{2,1} = C_1 \cdot P_2 / (P_1 + P_2 + P_3)$	
		C ₁	Aliment 3	P ₃	$A_{3,1} = C_1 \cdot P_3 / (P_1 + P_2 + P_3)$	
	Catégorie 2					
		C ₂	Aliment 4	P ₄	$A_{4,2} = C_2 \cdot P_4 / (P_4 + P_5 + P_6)$	
		C ₂	Aliment 5	P ₅	$A_{5,2} = C_2 \cdot P_5 / (P_4 + P_5 + P_6)$	
		C ₂	Aliment 6	P ₆	$A_{6,2} = C_2 \cdot P_6 / (P_4 + P_5 + P_6)$	
	Catégorie 3					
		C ₃	Aliment 7	P ₇	$A_{7,3} = C_3 \cdot P_7 / (P_7 + P_8 + P_9)$	
		C ₃	Aliment 8	P ₈	$A_{8,3} = C_3 \cdot P_8 / (P_7 + P_8 + P_9)$	
		C ₃	Aliment 9	P ₉	$A_{9,3} = C_3 \cdot P_9 / (P_7 + P_8 + P_9)$	

Tableau 3. Méthode de calcul des aliments au sein de leur catégorie. *C* désigne une catégorie, *A* désigne un aliment, *P* désigne une valeur de pondération. Les indices *x* et *y* désignent respectivement l'aliment et la catégorie considérées.

La détermination de la valeur de pondération est faite en fonction des informations disponibles. Elle est spécifiée pour chaque catégorie (Annexe 1). Les valeurs de pondération sont identiques pour les deux régimes. Deux exceptions ont été faites à ce traitement.

D'une part, les pommes de terres ont une place prépondérante dans les habitudes alimentaires des belges. Leur consommation est peu recommandée et doit être limitée dans le cadre d'un régime paléolithique.

D'autre part, les graisses ont été différenciées, les quantités consommées observées étant fort différentes des recommandations d'un régime paléolithique.

1.3.1. Calcul des quantités hebdomadaires pour chaque catégorie

Panier belge

Les quantités ont été obtenues sur la base de l'enquête de consommation alimentaire Belge de 2004 (Devriese, et al. 2006). Les quantités pour les aliments et groupes d'aliments présentés dans les différentes parties de cette étude ont été additionnées pour correspondre aux catégories définies dans la section 1.1. Plus précisément :

- La séparation entre légumineuses et légumes s'est faite sur la base des observations de consommation en France (Cavaillès 2009). Cette valeur a été additionnée à la consommation d'aliments surgelés et en conserve multipliée par la part de légumineuses dans la production industrielle de légumes (Interprofession des légumes en conserve et surgelés 2011).
- Les équivalents entre légumes conservés et secs ont été calculés grâce à des coefficients basés sur les taux de matière sèche provenant de la littérature (Meyer en Duteurtre 1998).
- Les jus de fruits ont été intégrés dans la catégorie « fruits », de même que les potages et jus de légumes ont été intégrés dans la catégorie « légumes ». Un kilo de fruits est considéré nécessaire pour un litre de jus ; un demi kilo de légumes est considéré nécessaire pour un litre de soupe.

- Les produits « à base de viande » et « de substitution de la viande » de l'enquête de consommation ont été intégrés dans les catégories « charcuterie » et « viande », respectivement.

Panier paléolithique

La référence utilisée (Houlbert, La meilleure façon de manger 2008) recommande pour chaque catégorie un intervalle de portions à consommer chaque semaine. Un poids moyen par portion pour chaque catégorie a été calculé à partir des données disponibles dans le livre. Pour chaque catégorie, une moyenne pondérée à la quantité de chaque aliment a été effectuée. Les valeurs utilisées pour cela sont les mêmes que celles utilisées pour la détermination des pondérations (voir section 1.3.2). Ainsi, le poids par portion des aliments les plus consommés ont plus d'importance dans cette moyenne. En particulier, la quantité de fruits conseillée par Houlbert (2008) serait trop importante (Entretien avec Catherine Piette, spécialiste en nutrition et rapports alimentation-santé, 2015), une partie de cette catégorie d'aliment a été transférée vers les légumes de manière à obtenir un ratio légumes/fruits 2 :1.

L'intervalle de portions a été transformé en une valeur fixe. L'intervalle proposé constitue une opportunité pour égaliser le contenu calorique des deux paniers constitués. Ceci permet effectivement de les prétendre comme équivalents selon le critère énergétique. Pour déterminer où se placer dans les intervalles de chaque catégorie, l'équation suivante a été établie et utilisée :

$$P = p_{\min} + (p_{\max} - p_{\min}) \cdot x$$

$0 < x < 1$

Eq. 1

C'est donc la valeur de x , commune à toutes les catégories, qui détermine la valeur de P en fonction de l'intervalle recommandé $[p_{\min}, p_{\max}]$. La valeur de X a été déterminée par approximation de proche en proche jusqu'à ce que le nombre total de calories de chaque panier soit égal. Le calcul du contenu calorique des paniers est détaillé en page. Un exemple pour deux catégories fictives est présenté en Figure 5.

Catégorie 1		$p_{\min}$	P	$p_{\max}$	
Nb de portions	0	1	4	7	10
Valeur de X		0	0,5	1	
Catégorie 2		$p_{\min}$	P	$p_{\max}$	
Nb de portions	0	4	6	8	10
Valeur de X		0	0,5	1	

Figure 5. Exemple de calcul du nombre de portions sur la base de l'intervalle recommandé par Houlbert (2008).

Les proportions des catégories « légumes » et « légumineuses » sont les mêmes que pour le régime belge.

1.3.2. Calcul des valeurs de pondération de chaque aliment

La méthode utilisée pour cette étape varie pour chaque catégorie d'aliments. Effectivement, la disponibilité des données varie et l'obtention des quantités doit être adaptée à chaque fois.

Légumes

Quarante-huit légumes différents ont été répertoriés. La détermination des pondérations pour plus de la moitié (27 sur 48) des légumes s'est faite sur la base des habitudes de consommation en frais des ménages français. Ces données ont été trouvées sur un site internet édité par INTERFEL, l'association interprofessionnelle des Fruits et Légumes Frais (2013). Tous les légumes susceptibles d'être consommés en Belgique n'étaient cependant pas répertoriés. Une valeur standard de consommation de 400g par an a été adoptée pour ces légumes, il s'agit de la quantité des légumes les moins consommés.

La valeur de pondération de la pomme de terre a été modifiée pour le régime paléolithique. Elle a été ramenée à la moyenne des autres légumes.

Légumineuses

Les données de consommation n'étant disponibles pour aucune des légumineuses, des valeurs de pondération identiques ont été déterminées pour chacune d'elles. Les quantités pour ce groupe sont exprimées en matière sèche.

Fruits

La même stratégie que pour les légumes a été adoptée. Des données étaient indisponibles pour sept des quinze fruits disponibles, surtout des petits fruits. La quantité choisie pour les aliments non référencés est de 500g par an, c'est la quantité du fruit le moins consommé.

Aliments céréaliers

Les données disponibles pour la Belgique divisent les céréales en trois grands groupes : le pain (1), les pâtes et le riz (2) ainsi que les céréales de petit déjeuner (3). Le riz n'étant pas productible en Belgique, la pondération pour les pâtes et riz a été divisée par deux. La quantité de céréales de petit déjeuner a été totalement affectée à la consommation de flocons d'avoine. Les quantités cumulées des différents groupes d'aliments céréaliers soustraites à la quantité totale d'aliments céréaliers consommés a été assignée à une consommation de farine servant à la fabrication de biscuits, pâtisseries, pâtes à tarte, etc...

Au sein des différents groupes de céréales, la consommation des différents produits est considérée comme égale.

Oléagineux

Les noix et les noisettes sont considérées comme consommées en quantités égales.

Graisses

Les données pour cette catégorie d'aliments ont été différenciées pour les deux paniers. La composition en huiles végétales et en beurre est calculée pour répondre aux apports en acides gras recommandés (Houlbert, 2008). Ces valeurs sont conservées pour le panier paléolithique.

Concernant le panier belge, la valeur de pondération du beurre est modifiée pour correspondre à la consommation réelle (Institut Scientifique de la Santé Publique, 2004). Le reste est considéré comme provenant d'huiles végétales. Le rapport entre les différentes huiles est identique à celui utilisé pour le panier paléolithique.

Laitages

Les proportions des différents types de produits laitiers consommés par les belges indiquée par l'enquête alimentaire de 2004 (Devriese *et al.*, 2006) ont été respectées. Les quantités de crème n'étant pas spécifiées dans cette étude. En vue de la valoriser de manière optimale, il a été décidé d'ajuster ses proportions aux quantités de crème produites lors de l'écémage du lait – lors de la production de lait demi-écémé par exemple. Un bilan sur la matière grasse a pour cela été effectué (Equation 2), en considérant du lait à taux butyreux de 0,040 g/l, une crème contenant 35% de matière grasse et un lait demi-écémé à 1,6% de matière grasse.

$$P_1.T_{b,1} = (P_1 - x).T_{b,2} + x.T_{b,3}$$

$T_{b,y}$: taux butyreux du produit y

P_1 : poids du produit 1

$(P_1 - x)$: poids du produit 2

x : poids du produit 3

Eq. 2

Le rapport de lait de chèvre et de lait de vache pour la production de fromages reflète les données de consommation belge (Filière Wallonne Lait et Produits Laitiers, 2011).

Viandes

La proportion des différents types de viandes consommées par les belges est indiquée par l'enquête alimentaire de 2004 (Devriese *et al.*, 2006). Cette proportion a été respectée. L'hypothèse est faite que le consommateur mange les différentes pièces de viande dans les proportions présentes dans la carcasse.

Œufs

Seuls des œufs de poule étant produits, aucune pondération n'est nécessaire.

Charcuteries

La pondération entre les différents types de charcuterie respecte les productions d'abats pour chaque type de viande. La pondération se plie donc ici aux contraintes de production.

Aliments sucrés

Les valeurs de pondérations sont issues de la bibliographie (Devriese et al., 2006), elles correspondent aux quantités consommées en Belgique.

Une fois les quantités hebdomadaires pour chaque catégorie multipliée aux pondérations relatives de chaque aliment, les quantités de chacun d'eux sont obtenues. Elles sont multipliées par le nombre de semaines par an pour obtenir les quantités annuelles.

1.4. Analyse nutritionnelle des paniers alimentaires

En vue d'analyser la composition nutritionnelle des régimes réalisés, les variables suivantes ont été rassemblées pour chacun des aliments :

- Teneur calorique (kcal/100g)
- Teneur en protéines (g/100g)
- Teneur en lipides (g/100g)
- Teneur en glucides (g/100g)
- Teneur en matières grasses saturées (g/100g)
- Teneur en sucre (g/100g)

Un bilan a alors pu être réalisé pour chaque panier. Ce bilan permet de s'assurer de la validité nutritionnelle du régime paléolithique. Il permet également la comparaison des deux régimes entre eux et avec les apports recommandés par l'Institut Scientifique de la Santé Publique (Devriese, et al. 2006).

2. Calcul des quantités de matières premières nécessaires

Concernant les aliments non-transformés, la matière première est directement consommée et seul un ratio de perte doit être pris en compte. Pour les produits transformés, un facteur de transformation spécifique à chaque produit doit s'ajouter au ratio de pertes.

Pour quantifier les pertes, les pourcentages en poids des pertes et gaspillages alimentaires pour chaque catégorie de produit en Europe ont été divisés par deux (Gustavsson, et al. 2011).

2.1. Aliments simples

Les aliments dits simples sont consommés tels qu'ils sont présentés à la récolte ou après avoir été séchés. Leurs qualités nutritionnelles sont considérées comme non modifiées après la récolte. Bien qu'un séchage concentre les nutriments dans l'aliment, les quantités en matière sèche restent identiques. Un coefficient de transformation ne doit donc pas être appliqué.

2.2. Aliments transformés

Les aliments appartenant aux catégories des céréales, des laitages, des viandes, des charcuteries, des graisses et des aliments sucrés sont transformés.

Les grains de céréales sont transformés en pain, en pâtes et en flocons. Le coefficient de transformation du blé en pain est celui de Boutroux (1897). Ce coefficient est composé de deux données : le coefficient de transformation de blé en farine (taux d'extraction) et le coefficient de transformation de la farine en pain. Seul le rendement de transformation de blé en farine a été utilisé pour la fabrication de pâtes. Une faible quantité d'œufs peut être utilisée comme ingrédient de cet aliment mais elle est considérée comme négligeable. Un rendement de 1,00 est utilisé pour les flocons d'avoine.

Les laitages comprennent une large variété de produits. Chaque produit est caractérisé par un rendement de transformation spécifique. On parle de rendements fromagers pour les fromages. Une valeur de rendement a été utilisée par type de fromage pour chaque type de lait. Ces valeurs ont été rassemblées grâce à un entretien avec Jean-Philippe Vercaigne (Entretien avec Jean-Philippe Vercaigne, Ir fromager à la Fromagerie de la Ferme Expérimentale et Pédagogique CARAH Asbl 2015). Le rendement de transformation du yaourt est égal à 1,00 (Centre National d'Information de l'Économie laitière 2008).

Les rendements fromagers utilisés sont basés sur des taux butyreux communs. Le lait brut pouvant avoir un taux butyreux plus élevé que ces valeurs, des rendements de transformation du lait brut en lait entier et en lait demi-écrémé ont été calculées. Un écrémage fictif est ainsi considéré pour la production de crème et de beurre. Les valeurs de rendement ont été calculées grâce à des bilans en graisse.

Les viandes sont transformées par les opérations d'abattage et de découpe. Ce sont les rendements carcasse et rendement en viande qui caractérisent ces traitements sauf pour les volailles. Ces données ont été obtenues lors des visites d'exploitation décrites dans la section 3. Les données de rendement concernant les volailles proviennent de Ricard (1964). Ce sont dans ce cas des rendements en filets, en pilons et cuisses, ainsi qu'en ailes qui sont utilisés. Concernant les charcuteries, les quantités d'abats valorisables dans l'alimentaire ont été calculées pour chaque type d'animal. Cette quantité d'abats ne peut pas être directement convertie en quantité de charcuterie, la viande étant régulièrement séchée et cuite. Il est compliqué de déterminer une quantité d'abats nécessaires par kilo de charcuterie à produire, les abats étant très diversifiés, de même que les charcuteries. L'hypothèse est faite que la quantité d'abats disponibles est suffisante pour produire la charcuterie nécessaire. Cette hypothèse sera discutée en comparant les quantités d'abats disponibles à la quantité de charcuterie nécessaire.

Deux types de transformation permettent la production de graisses. D'une part, le beurre est produit par écrémage et barattage du lait de vache. Le rendement de transformation est calculé à l'aide d'un bilan sur les matières grasses présentes dans le lait et dans le beurre. Les taux de matières grasses considérés proviennent de la littérature (Favier, 1985). La

transformation du lait en beurre engendre la production de lait écrémé. Les quantités générées ont été calculées en établissant un bilan volumique. D'autre part, les huiles végétales sont elles produites à partir de la trituration de graines oléagineuses. Un rendement en huile par rapport à la quantité de graines est utilisé. Ce rendement en huile est égal au rendement d'extraction d'huile (part de l'huile qui est extraite) multiplié au contenu en huile de la graine, il est exprimé en litres par tonne. Les données concernant le lin proviennent de Hammermeister *et al.*, 2006 ; Rombaut, 2013). Les données concernant le colza et les noix ont été déterminées grâce à des entretiens avec des producteurs et transformateurs (Entretien avec Benoit Cossée de Maulde, notamment producteur et transformateur de colza dans le Hainaut, 2015 ; Entretien avec Elisabeth Simon, propriétaire du domaine de Graux, 2015). Les données de rendements de production de noix proviennent de la littérature (Anonyme, 2012). La matière solide résultant du pressage des graines est le tourteau. Les quantités de tourteaux produites ont été établies sur la base d'un bilan massique, en comptant une densité de 0,92 pour toutes les huiles.

Les ingrédients considérés pour les aliments sucrés (gâteaux et pâtisseries, sucres et confiseries) se limitent à de la farine de froment et du sucre de betterave. Les quantités nécessaires de sucre ont été déterminées sur la base des teneurs en sucres des produits. Les quantités nécessaires de farine ont été déterminées à partir des teneurs en glucides auxquelles ont été soustraites les sucres (U.S. Department of Agriculture 2015).

3. Calcul des surfaces nécessaires

Douze types de production différents permettent l'obtention des aliments et matières premières à produire (Tableau 4). Un type de production est spécifié pour chacun d'eux. À chaque type de production a été assigné une unité. La quantité d'unités correspondant à chaque type de production doit être calculée.

Le système de micro-fermes modélisé doit être agroécologique, et basé sur les prescriptions du cahier des charges biologique (Conseil de l'Union Européenne 2007 ; Commission des communautés européennes 2008).

Des données de rendement par unité permettent de déterminer les surfaces nécessaires pour les productions végétales. Le cas échéant, les unités sont converties en surfaces. Concernant les productions animales, les données bibliographiques trouvées ne suffisant pas à l'obtention des surfaces nécessaires aux productions selon les critères établis, les élevages ont été modélisés sur la base de données récoltées chez des éleveurs wallons. Ces éleveurs ont été choisis selon les critères suivants de manière à répondre aux conditions décrites plus tôt :

- Autonomie fourragère et alimentaire si possible,
- Valorisation de l'herbe dans les rations alimentaires des animaux,
- Choix d'une race **robuste/rustique** valorisant bien l'herbe et adaptée à l'agriculture biologique.

Type de production		Unité de production	
	Productions végétales		
	Maraîchage	m ²	
	Ligne de petits fruits	m	
	Verger	Arbre – espacement	
	Pré-verger	Arbre – espacement	
	Grande culture	m ²	
	Productions animales	Unité d'élevage (UE)	
	Elevage bovin lait	Vache et sa suite	
	Elevage caprin lait	Chèvre et sa suite	
	Elevage bovin viande	Vache et sa suite	
	Elevage porcin viande	Truie et sa suite	
	Elevage ovin viande	Brebis et sa suite	
	Elevage avicole chair	Poulet/poularde	
	Elevage avicole œufs	Poule pondeuse	
	Surfaces par unité d'élevage	Pâture/parcours herbeux (m ²)	
		Prairie de fauche (le cas échéant) (m ²)	
		Parcours bâtiment (le cas échéant) (m ²)	
		Aire d'exercice (le cas échéant) (m ²)	
		Cultures - production d'aliments (m ²)	

Tableau 4. Types de productions nécessaires à l'obtention des aliments constituant les paniers alimentaires

Une série de données a été rassemblée pour chaque type d'élevage de manière à pouvoir le modéliser pour une unité d'élevage (UE) pendant un an. Ce modèle s'est appuyé sur trois sections regroupant des données les caractérisant : dynamique du troupeau, apports à la production et exports de la production. Ces données sont représentées dans le Tableau 6. Après avoir été rassemblées, elles ont permis le calcul des apports et des exports pour une unité d'élevage. Les surfaces nécessaires à la culture des apports pouvant être produits localement ont été calculées à l'aide de données de rendements provenant de la littérature. Ces surfaces additionnées aux superficies de pâture adéquates résultent en la surface nécessaire à une unité d'élevage. Un taux de perte de 20% a été appliqué aux productions d'herbe.

Les calculs concernant la dynamique du troupeau sont présentés en ; les calculs concernant les apports, les exports ainsi que les surfaces nécessaires pour une UE ont été organisés comme représenté en .

Quantité de mères	= 1,00
Quantité de mâles	= 1 / Mpf
Quantité de jeunes femelles	= $P_m \cdot (1 - T_{pj}) / 2 - TR_m$
Quantité de jeunes mâles	= $P_m \cdot (1 - T_{pj}) / 2$
Quantité de femelles de remplacement	= TR_m

Elevage X								
Stade de croissance / sexe	Aliment 1	Aliment 2	...	Production de viande	Production de lait	Quantité de litière	Production de fumier	Surface de parcours
Mère	x	x		x	x	x	x	x
Père	x	x		x		x	x	x
Jeune mâle	x	x		x		x	x	x
Jeune femelle	x	x		x		x	x	x
Remplacement	x	x				x	x	x
Total (UE)				$P_{UE, viande}$	$P_{UE, lait}$			S_p
Rendement								
Surface (UE)	$S_{c,1}$	$S_{c,2}$					$S_{UE} = S_p + \sum S_c$	

Tableau 5. Représentation des calculs tels qu'organisés dans le tableur utilisé dans le cadre de ce mémoire

Les totaux pour une UE sont obtenus par la somme des produits du nombre d'individus de chaque stade/sexe et du produit considéré (aliment, production, litière, fumier, ...).

La production de viande est obtenue par la multiplication du poids vif, du rendement de carcasse et du rendement en viande.

Un rendement R_{UE} est défini pour chaque unité d'élevage comme la production primaire P_{UE} par UE. Il ne s'agit donc pas d'un rendement par unité de surface. La quantité d'unités nécessaires pour un panier alimentaire $Q_{UE,1}$ pour chaque type de production a été calculée en divisant la quantité nécessaire de matière première nécessaire pour ce panier (Q_{mp}) par le rendement R_{UE} (Eq. 2).

$$Q_{UE,1} = Q_{mp} / R_{UE}$$

Eq. 2

La multiplication de la quantité d'unités d'élevage à la surface par unité d'élevage S_{UE} donne la surface totale nécessaire par panier pour chaque élevage $S_{UE,1}$ (Eq. 2).

$$S_{UE,1} = Q_{UE,1} \cdot S_{UE}$$

Eq. 3

Une fois les surfaces par unité d'élevage et les surfaces nécessaires aux arbres connues (voir page 34), elles ont été additionnées aux surfaces des autres types de production, résultant en la surface totale nécessaire à la production d'un panier alimentaire $S_{tot,1}$. La surface nécessaire aux prés-vergers est intégrée à la surface de pâtures.

Nom de l'agriculteur
Type d'élevage
Race choisie
Dynamique du troupeau
Prolificité des mères
Taux de réforme des mères
Âge de première saillie
Âge de première mise à bas
Âge à l'abattage des jeunes mâles
Âge à l'abattage des jeunes femelles
Quantité de femelles par mâle
Années de service des mâles
Apports à l'unité d'élevage
Charge animale au pâturage/parcours herbeux
Surface de parcours extérieur
Surface de parcours intérieur
Durée d'alimentation hivernale
Composition de l'aliment hivernal (selon le sexe et le stade de croissance)
Quantité d'aliment hivernal (selon le sexe et le stade de croissance)
Stades avec complémentation
Durées de complémentation
Composition du complément (selon le sexe et le stade de croissance)
Quantité de complément (selon le sexe et le stade de croissance)
Type de litière utilisé
Quantité de litière nécessaire
Exports de l'unité d'élevage
Pour chaque sexe et chacun des stades
Poids vif à l'abattage
Rendement d'abattage
Rendement en viande de la carcasse
Forme de l'effluent d'élevage
Quantité d'effluents d'élevage

Tableau 6. Liste des données récoltées chez les éleveurs et nécessaires à la modélisation des élevages.

Légumes

Deux modes de production caractérisent les légumes. D'une part, les grandes cultures permettent de produire certains d'entre eux en grandes quantités. Cette production, également appelée culture en plein champ, est caractérisée par une mécanisation plus avancée, et donc un temps de travail réduit. Ces cultures sont généralement monospécifiques, et un seul légume par parcelle est récolté sur l'année. D'autre part, il est possible de produire des légumes sur de bien plus petites surfaces. Les techniques adoptées dans le cadre de ce travail se basent sur celles de Jean-Martin Fortier au Canada, Eliot Coleman aux Etats-Unis (Coleman 2009 ; Fortier 2012), ou la ferme du bec Hellouin en Haute Normandie (Guégan *et al.*, 2014). Ces méthodes permettent la production de grandes quantités de légumes sur de petites surfaces, notamment grâce à une multiplication des récoltes par an (jusqu'à 9) sur une parcelle ainsi qu'à un apport massif de matière organique. Une quantité de main d'œuvre importante est apportée au système de production.

Le calcul de surfaces nécessaires selon ce second mode de production est beaucoup plus complexe à modéliser que le premier. Effectivement, sa conception demande de prendre en compte un grand nombre de facteurs pour assurer une bonne performance. Le design d'une rotation tel qu'expliqué dans le livre de Fortier (2012) devrait être effectué pour modéliser un tel système. Seulement, la production de quantités imposées pour chaque légume dans les deux régimes alimentaires considérés empêche la constitution des groupes nécessaires à la constitution d'une rotation. Les contraintes de quantités à produire entrent en conflit avec les contraintes d'une rotation aussi complexe, même en jouant sur des transferts partiels de production de légumes en plein champ. Le choix a donc été fait de considérer un système pour lequel seulement deux récoltes par an sont faites sur chaque parcelle. Ceci permet de s'assurer de la plausibilité du système modélisé tout en maintenant un certain niveau d'intensivité. La somme des surfaces pour chaque légume produit en maraîchage a donc été divisée par deux. Le calcul des surfaces nécessaires s'est fait grâce aux données de rendement en maraîchage biologique rassemblées pour chaque légume (Argouarc'h 2005 ; Thorez en Lapouge-Déjean 2009)(Annexe). Lorsque deux valeurs étaient disponibles, la moyenne des deux a été utilisée. Des surfaces consacrées aux chemins longeant les planches et à la circulation et la manœuvre de machines en bout de planches ont été prises en compte. La surface de planches a pour cela été majorée de 30% (Weill en Duval 2009). Le besoin en serres des légumes a été déterminé grâce à la littérature (Argouarc'h 2005). La surface de serres nécessaire par panier a été obtenue en additionnant les surfaces nécessaires à la production de chacun des légumes concernés.

Pour permettre une rotation équilibrée et un système diversifié, les quelques légumes demandant des surfaces fort importantes par rapport aux autres ont été transférés vers le système de production en plein champ. Ce choix a été fait pour l'ail, la carotte, le chicon, l'oignon, le poireau et la pomme de terre. Les légumes issus de plantes vivaces ont également

été intégrés à la production en grande culture ; il s'agit de l'asperge, l'artichaut et la rhubarbe. Les données de rendement correspondant au mode de culture en plein champ proviennent de la littérature (Filière des plantes médicinales biologiques du Québec 2010 ; Euvrard sd ; Perret 2011 ; Vannetzel 2013 ; Fleurance 2013 ; GAB/FRAB 2010 ; GAB/FRAB 2014 ; Rioux 2009). Les champignons blancs et les pleurotes sont produits de manière totalement différente. Des bottes de paille sont humidifiées et puis inoculées. Les rendements proviennent de la littérature (Adisco, sd).

Légumineuses

Toutes les légumineuses sont produites en grandes cultures. Les données de rendement (Annexe 7) proviennent de Lampkin et al. (2014) et Chambres d'agriculture Bretagne (2003). Les quantités de légumineuses à produire étant données en poids sec, les rendements ont été adaptés en conséquence en multipliant les valeurs trouvées par le rapport des teneurs en eau du grain sec et du grain à la récolte (U.S. Department of Agriculture 2015).

Fruits

Trois modes de production ont été considérés. Les gros fruits tels que les pommes et les poires sont produits dans des prés verges. Les données nécessaires au calcul des surfaces sont la production par arbre ainsi que la surface nécessaire à l'arbre (Service Romand de Vulgarisation Agricole 2000) (Evreinoff 1970). C'est généralement la distance nécessaire entre les arbres qui est indiquée. Ceux-ci sont organisés en lignes en quinconce. Cette organisation permet d'optimiser l'espace nécessaire à l'arbre tout en facilitant le passage de machines. La surface nécessaire à ces arbres a été calculée selon ce plan, illustré en Figure 6.

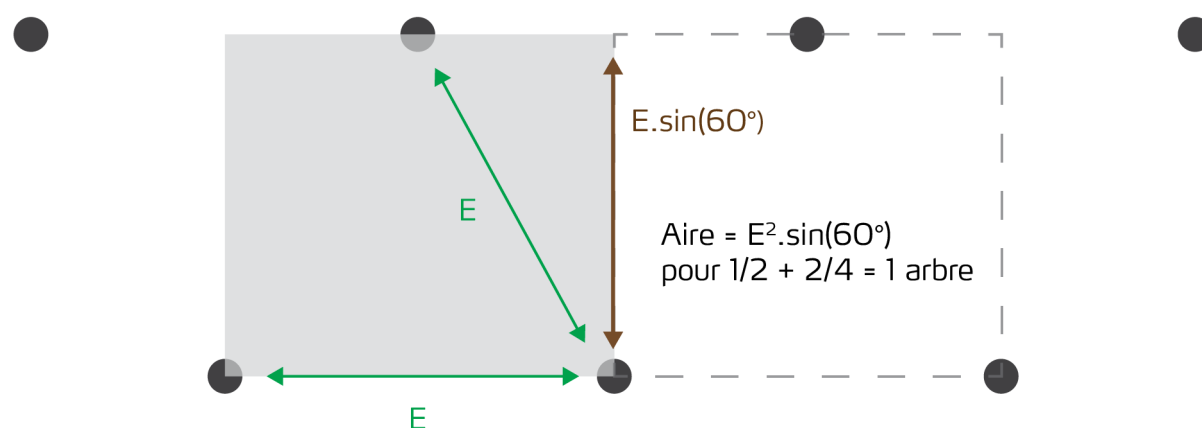


Figure 6. Calcul de la surface nécessaire par arbre en fonction de l'espacement (E) en pré verger.

Le deuxième mode de production concerne les petits fruits excepté la fraise. Ces petits fruits poussent sur des arbustes mesurant jusqu'à 2m de haut. Ces arbustes sont généralement organisés en haies. Les données nécessaires au calcul des surfaces nécessaires sont la

production par arbuste ainsi que l'espacement entre arbustes (Thorez en Lapouge-Déjean 2009).

Le troisième mode de production concerne les fraises, qui sont produites sur butte et sous serre. Seul le rendement par m² est nécessaire (Duval 2003).

Les rendements utilisés pour ces trois systèmes de production sont repris en annexe.

Aliments céréaliers

Les céréales sont produites en grandes cultures. L'avoine et le froment sont disponibles en variétés d'hiver. Les variétés d'hiver ont des rendements plus élevés au prix d'une occupation plus longue de la parcelle. Les rendements d'hiver ont été utilisés. Ces données ont été tirées d'une publication de l'Organic Research Center (Lambert, Peeters en Simon 2014).

Oléagineux

La quantité de graines nécessaires est connue. Les données concernant, les noisettes et les cerneaux de noix proviennent de la littérature (Thores et Lapouge-Déjean, 2009 ; Anonyme 2012).

Graisses

Le beurre est dans cette catégorie le seul aliment d'origine animale. Le lait nécessaire à sa fabrication est produit par l'élevage bovin laitier décrit ci-dessus.

Les surfaces nécessaires à la production des graines oléagineuses ont été calculées avec les données de rendement indiquées dans la partie « Oléagineux » ci-dessus.

Laitages

Deux types de lait sont produits : du lait de vache et du lait de chèvre. Deux élevages différents ont donc été modélisés.

Concernant le lait de vache, ce sont deux éleveurs de vaches de race Jersey qui ont été consultés. Cette race a été choisie pour les raisons suivantes (American Jersey Cattle Association and National All-Jersey Inc., 2013):

- Excellente valorisation de l'herbe, qui peut constituer l'entièreté de la ration
- Taux butyreux et protéique très élevés, assurant une très bonne qualité à la transformation
- Longue vie productive
- Bonne rusticité.

Les deux éleveurs sont Dany Dubois (Entretien avec Dany Dubois, notamment producteur et transformateur de lait de Jersey à Grosage, province du Hainaut) 2015) et Bernard Convié (Entretien avec Bernard Convié, notamment producteur et transformateur de lait de Jersey,) Villers-sur-Lesse en province de Namur, 2015).

Concernant le lait de chèvre, la race Poitevine a été choisie pour les raisons suivantes :

- Grande capacité d'ingestion et bonne valorisation de fourrages grossiers
- Taux butyreux et protéique très élevés, assurant de bons rendements de transformation

- Bonne rusticité.

Cette race a également été choisie car elle est déjà élevée au Domaine de Graux, tout en répondant aux critères établis pour le choix des races utilisées.

Le taux butyreux du lait des Jersey étant très élevé, un écrémage est pris en compte pour le ramener à un taux normal pour la production de fromages. Ceci permet d'assurer que les rendements fromagers utilisés soient valables.

Un écrémage plus poussé est réalisé pour la production du lait demi-écrémé et de yaourt. La crème produite peut être consommée telle quelle ou transformée en beurre. Les quantités de crème et de beurre produits ont été calculées en établissant un bilan sur la matière grasse. Les taux de matière grasse des différents types de lait proviennent de la littérature (Favier 1985).

Les produits à base de lait de chèvre sont produits sans traitement préalable du lait.

Viandes

Quatre élevages viandoux sont modélisés : un élevage bovin, un élevage porcin, un élevage ovin, ainsi qu'un élevage avicole : des poulets de chair. Les élevages bovin laitier et avicole de pondeuses produisent également une certaine quantité de viande, celle-ci a donc été soustraite à la quantité nécessaire.

Elevage bovin

La race choisie pour l'élevage bovin est l'Aberdeen Angus. Déjà présente au Domaine de Graux, cette race a été choisie pour sa bonne capacité à valoriser l'herbe et son faible besoin en compléments, ses bonnes qualités maternelles, son indépendance au vêlage ainsi que sa très bonne qualité viandeuse. Les données concernant cet élevage ont été obtenues chez André Grevisse, qui possède un élevage d'Aberdeen Angus dans les Ardennes belges (Entretien avec André Grévisse, notamment éleveur d'un troupeau bovin allaitant d'Aberdeen Angus à Habay-la-Vieille dans la province de Luxembourg 2015). Les quantités de litière et de fumier ont été calculées sur la base de chiffres provenant de la littérature (Toussaint en Dehareng 1996) (Chambres d'agriculture Bretagne 2013).

Elevage ovin

Cet élevage a été modélisé sur la base de l'élevage de Benoît Frison (Entretien avec Benoît Frison, producteur d'agneaux et volailles à Gibecq dans la province de Hainaut 2015), producteur d'agneaux de races Ile-de-France pour ses capacités à être désaisonnalisées et d'un croisement Mouton Vendéen x Rouge de l'Ouest.

La désaisonnalisation d'une partie du troupeau est importante pour étaler la durée de production. Deux périodes d'agnelage sont effectuées chaque année : l'une en novembre et l'autre en mars. Les premiers sont engraisés uniquement en intérieur tandis que les autres grandissent en prairie. Deux schémas d'alimentation ont donc été distingués. La prolificité des brebis varie également en fonction de la saison.

Elevage porcin

Le système d'élevage en plein air a été choisi pour la production de viande porcine. Il consiste à élever les porcs toute l'année en prairie, l'infrastructure pour les loger se limitant à des cabanes adaptées. Il s'agit donc d'un moyen de production nécessitant peu d'investissements grâce à son infrastructure légère, respectueux de l'environnement par son lien au sol important et respectueux du bien-être animal de par la place disponible aux porcs (Wavreille, et al. 2004).

La ferme des Frênes de Patrick et Vanessa Feller a été visitée (Entretien avec Vanessa Feller, notamment productrice de porcs en plein air à Tenneville en province de Luxembourg 2015). Les données récoltées lors de l'entretien ont été complétées par une publication du Ministère de la région wallonne pour établir la dynamique du troupeau, les quantités d'aliments nécessaires et les surfaces à prévoir (Wavreille, et al. 2004). Des formulations alimentaires à base de matières premières locales et productibles par le système de micro-fermes ont été mises en place sur la base des besoins nutritionnels correspondant à chaque stade (Bordes, et al. 2014). Les formulations des stades croissance et lactation ainsi que finition et gestation n'ont pas été distinguées, les besoins de ces différents stades étant similaires. Ces formulations ont été commentées et revues par Pierre Vandaele (Echange écrit avec Pierre Vandaele, service technico-économique de l'AWE 2015) et José Wavreille (Echange écrit avec José Wavreille, agronome en production animale, coordinateur de l'unité de recherche "Mode d'élevage, bien-être et qualité" au CRA-W 2015).

L'élevage avicole

L'élevage de volailles chair est complexe à modéliser. En effet, les poules telles qu'élevées dans les élevages commerciaux ont besoin d'un aliment répondant précisément à des aliments nutritionnellement complexes. Les apports en acides aminés doivent respecter des quantités digestibles minimales et des proportions proches des équilibres optimaux. Notamment, les rapports entre méthionine et lysine doivent être particulièrement élevés, ce qui constitue le principal facteur limitant en AB. Les besoins en protéines sont élevés, spécialement au stade poussin pour lequel le contenu de la ration en protéines doit être supérieur à 20% (Dominique, Produire du poulet de chair en AB - Optimiser son système d'alimentation 2009) (Dominique 2010). Ceci rend l'utilisation du soja quasiment indispensable (Frison 2014).

L'unique solution trouvée pour s'affranchir de l'utilisation de soja a été de changer le mode de conduite de l'élevage en s'inspirant d'un type d'élevage protégé d'une appellation d'origine contrôlée (AOC) en France : le poulet de Bresse. Trois particularités caractérisent ces élevages :

- Des parcours herbeux très étendus, minimum 10m² sont nécessaires par poulet ou poularde, à comparer à 4m² par poule en AB,
- Des durées de vie minimum élevées, 4 mois pour les poulets et 5 mois pour les poulardes,
- Une alimentation simple une fois le stade poussin passé, composée de maïs, de blé et de produits laitiers.

Les importantes surfaces disponibles aux poulets leur permettent de trouver eux-mêmes jusqu'à un tiers de leur alimentation et de se fournir en protéines végétales (herbe) et animales (vers de terre, mollusques) (Comité Interprofessionnel de la Volaille de Bresse, sd), enrichissant ainsi leur ration en protéines. Les durées de vie plus longues permettent une croissance rendue plus lente par des aliments ne correspondant pas exactement aux besoins des volailles.

La race utilisée doit être une race à développement lent. Une race ancienne, telle que l'est la volaille de Bresse, semble être le choix le plus pertinent au vu de sa durée de développement ainsi que de ses besoins moins exigeants. Ces races anciennes assurent aussi généralement une bonne rusticité. Le choix a également été fait d'une race mixte, ce qui est le cas d'un bon nombre de races anciennes (Tixier-Boichard et al., 2006). Ceci permet de combiner la production de chair et d'œufs en un seul élevage.

Les données zootechniques nécessaires à la modélisation de l'élevage ont été trouvées dans la bibliographie. Concernant l'alimentation, la quantité et la formulation ont été reprises conformément aux pratiques conseillées pour les poulets de Bresse. Ces données proviennent du cahier des charges relatif aux volailles de Bresse (CIVB, 2012) et d'un entretien avec Stéphanie Manderon (Entretien avec Stephanie Manderon, Technicienne au Comité Interprofessionnel de la Volaille de Bresse, 2015). Entre 0 et 6 semaines, les volailles sont nourries avec un aliment partiellement acheté. Une formulation alimentaire a pour cela été reprise d'un rapport de la chambre d'agriculture Rhône-Alpes traitant des élevages biologique des poulets de chair (Nayet, 2005). L'utilisation de soja a été acceptée dans la formulation de l'aliment des poussins, les exigences alimentaires à ce stade de croissance étant très strictes. Concernant la production de chair, les rendements en viande correspondent à des données sur le poulet de Bresse (Ricard, 1964) confirmées par l'entretien avec Stéphanie Manderon (2015). Contrairement aux volailles de Bresse, les volailles considérées ne traversent pas de phase d'engraissement en cagettes. Le poids vif final utilisé est donc celui des volailles suivant le cahier des charges du Label Rouge (Chambres d'agriculture des Pays de la Loire & Deux-Sèvres, 2014).

L'alimentation équilibrée des poulets étant dépendante du parcours herbeux, il convient d'arrêter la production en hiver, les conditions hivernales empêchant alors les poules de se

nourrir sur le parcours. Ceci limite le nombre de lots par an, celui-ci a été calculé de manière à optimiser l'utilisation du parcours herbeux.

Un taux de pertes de 10% correspondant aux pertes dues à la prédation a été appliqué à cette production.

Œufs

La production d'œufs est intégrée avec la production de chair. Plusieurs caractéristiques d'élevage peuvent donc être reprises, telles que les surfaces de parcours et les données de rendements en viande. Toutefois, cette production n'est pas modélisée sur la base d'un élevage réel. L'hypothèse est faite que les poules assurent une partie de leur aliment protéique sur le parcours, et que cet aliment contient les acides aminés essentiels à la poule en bonnes proportions. Des formulations alimentaires pour chaque stade ont été adaptées d'exemples décrits dans la littérature (Nayet, 2005). Le soja a été remplacé par d'autres matières premières riches en protéines de manière à en assurer un apport optimal. Ceci s'est fait en maintenant les valeurs nutritionnelles de la formulation alimentaire proches des besoins des poules. Notamment, les rapports entre acides aminés méthionine/lysine et tryptophane/lysine ont été respectés. Ces apports complétés par l'alimentation fournie sur le parcours herbeux sont supposés plausibles dans la mesure où les apports de protéines et d'acides aminés approchent les valeurs recommandées. La formulation alimentaire pour les poussins jusqu'à 5 semaines n'a pas été modifiée étant données les exigences de ce stade de croissance et l'absence d'accès au parcours herbeux. Les quantités d'aliments nécessaires ont été fournies par Walter Vandepitte (Entretien avec Monsieur Walter Vandepitte, directeur 'Alimentation pour bétail' de la compagnie Dedobbeleer Mills, 2015). Ces quantités correspondent à un élevage biologique.

Les performances zootechniques de ponte proviennent de la littérature. Une intensité de ponte moyenne a été établie sur la base de données correspondant à une série de races mixtes anciennes. (Tixier-Boichard et al., 2006). La production d'œufs décroissant d'année en année, il a été décidé de ne considérer que deux cycles de ponte de 9 mois séparés par une période de repos de 3 mois correspondant à la mue. Les périodes de ponte correspondent ainsi à la disponibilité d'alimentation sur le parcours herbeux assurant une nutrition complète ; la période de mue, généralement accompagnée par une inappétence et une anorexie naturelle, est retardée pour coïncider avec la période hivernale, lorsque le parcours herbeux est moins apte à fournir l'aliment aux poules. Après deux cycles de ponte, les poules sont réformées et leur viande est valorisée. Le poids vif des poules provient de la littérature (Tixier-Boichard *et al.*, 2006), les mêmes rendements en viande que les volailles de chair ont été utilisés (Ricard, 1964).

La quantité d'œufs produits a été obtenue en multipliant le nombre de jours de ponte à l'intensité de ponte (Tixier-Boichard et al., 2006).

Un taux de pertes de 10% correspondant aux pertes dues à la prédation a été appliqué à cette production. Suffisamment d'œufs ont également été soustraits à la production de manière à constituer les nouveaux lots de production de chair et de pondeuses.

Poissons

La production de poissons a été écartée, ces élevages demandant des infrastructures importantes ainsi que des aliments difficiles à produire en autonomie puisque la truite se nourrit d'invertébrés terrestres et aquatiques. Les formulations alimentaires pour les élevages de truites sont donc très complexes et contiennent des matières premières difficilement productibles en autonomie (farines de poissons, farine de plumes, farine de soja, ... (Food and Agriculture Organisation sd)).

Charcuteries

Les charcuteries sont produites à partir d'abats issus de la production viandeuse décrite ci-dessus.

Aliments sucrés

Seuls de la farine de froment et du sucre de betterave sont nécessaires (section 2.2). Le rendement pour la farine est le même que celui utilisé dans la catégorie céréales. Un rendement de 1 kg de sucre par m² a été considéré pour le sucre de betterave.

4. Conception et optimisation du système de micro-fermes

4.1. Optimisation du système : étude des flux

Le système conçu se voulant autonome, il est important de s'assurer d'un besoin en intrants minimum. Une étude des besoins et sous-produits de chaque activité permet de faire le point sur les flux pouvant améliorer l'efficacité du système.

Les intrants et sous-produits associés à chacune des productions ont pour cela été listés et quantifiés. Une partie de ce processus a été réalisée lors de la modélisation des élevages. Les besoins des cultures ainsi que les produits auxiliaires de transformation ont été calculés pour une unité de production.

Concernant les cultures, seul un apport de fumier est considéré dans un premier temps. Le calcul de la quantité de fumier nécessaire pour les grandes cultures a été fait sur la base de la rotation, en appliquant 30 t/ha de fumier de bovin composté sur une partie des cultures de céréales. Une partie de ce fumier peut être remplacée par des fientes ou du fumier de volaille. Les teneurs en azote des différentes matières indiquent les taux d'échange entre elles.

L'activité de maraîchage est fertilisée grâce à du fumier de cheval. Les besoins ont été calculés grâce aux données énoncées dans le Guide du Jardin BIO (Thorez et Lapouge-Déjean, 2009). Trois niveaux de fertilisation en compost sont considérés : 0, 20 et 40 tonnes à l'hectare. Les quantités de fumier nécessaires à la fertilisation des prairies sont à ajouter.

Les quantités de paille nécessaires aux élevages ont été calculées pour 3,5 kg/UGB/jour de stabulation (Toussaint et Dehareng, 1996). Les quantités de pailles produites ont également été calculées à partir de données bibliographiques (Lampkin *et al.*, 2014).

Le lait écrémé dû à la production de beurre a été quantifié sur la base d'un bilan matière et le lactosérum produit par la transformation du lait en fromage a été quantifié à hauteur de 0,6kg de poudre de lactosérum par 10l de lait transformés (Boudry *et al.*, 2012). Un maximum de lactosérum produit est intégré dans les formulations d'aliment des porcs, selon la même publication.

Les quantités produites pour tous les autres sous-produits de transformation ont été calculées sur la base des rendements de transformation.

L'aliment donné aux volailles de chair a été adapté pour valoriser le lait écrémé issu de la production de beurre. Ce lait, transformé en poudre, peut remplacer la poudre de lait entier. Seul le taux de matière grasse change ; celui-ci doit rester dans les limites indiquées par Nayet (2005).

4.2. Description du système de micro-fermes général

Le système de micro-fermes est décrit par son assolement. Celui-ci décrit l'occupation des terres selon 10 catégories :

- Maraîchage
- Petits fruits
- Verger
- Pré-verger
- Grande culture
- Prairie temporaire
- Parcours en bâtiment
- Aire d'exercice

Cette description permet l'analyse des surfaces nécessaires pour constituer les paniers alimentaires.

4.3. Cas du domaine de Graux

Une étude plus poussée du système a été effectuée pour un cas concret : celui du domaine de Graux. Cette étape a été réalisée en collaboration avec Elisabeth Simon (Entretien avec Elisabeth Simon, propriétaire du domaine de Graux, 2015) et Alain Peeters (Entretien avec Alain Peeters, Prof. Dr, directeur du centre de recherche RHEA, promoteur de ce mémoire, 2015). Elle a pour but de répondre aux spécificités du domaine.

Le régime alimentaire choisi est le régime paléolithique. Certaines modifications y ont été apportées. La modification principale concerne les produits laitiers. Tous les fromages sont produits à partir de lait de chèvre, et les autres produits le sont à partir de lait de vache.

Il a également été décidé de maximiser la part des aliments produite sur le domaine et donc de diminuer la quantité de poissons nécessaire. La moitié de la quantité de poissons a ainsi été transférée dans la catégorie « viande », et un quart a été transféré dans la catégorie « œufs ». Nutritionnellement, cela ne pose pas de problème si la viande comporte un profil en acides gras favorable (Entretien avec Catherine Piette, spécialiste en nutrition et rapports alimentation-santé, 2015).

Il a aussi été décidé que de l'huile de lin serait produite et que les éventuelles quantités excédentaires de noix seraient triturées pour la production d'huile de noix. La production de sucre de betterave a été remplacée par du miel. Les ruches produisent alors la totalité du sucre ajouté nécessaire. Une quantité de 20kg de miel par an par ruche a été considérée (Brun, 2013).

Des surfaces dédiées à des bandes fleuries traversant les parcelles de grandes cultures ont été mises en place. Celles-ci occupent un trentième de la surface de grandes cultures.

L'élevage bovin allaitant a également été modifié. Les quantités de céréales ont été fortement réduites, seuls 180kg sont donnés aux jeunes en finition. Tout le reste des besoins est constitué d'herbe. L'alimentation hivernale a été calculée sur une base de 18kg MS/jour.

La quantité de fumier issue de cette unité d'élevage a également été modifiée, 5 m³ par vache par hiver sont considérés. Le troupeau d'Angus a été augmenté en divisant la quantité de poulet de chair par deux et en transférant cette quantité en viande de bœuf.

4.3.1. Description des micro-fermes

Une micro-ferme est définie comme une unité de production et/ou de transformation spécialisée dans une activité ou un type de produit. Les activités nécessaires à la production de tous les aliments considérés sont les suivantes :

- Maraîchage
- Production de fruits
- Production de lait de vache
- Production de lait de chèvre
- Production de viande de bœuf
- Production de viande de porc
- Production de viande d'agneau
- Production avicole
- Fromagerie
- Meunerie - boulangerie
- Boucherie - charcuterie
- Production d'huile
- Conserverie
- Grandes cultures.

L'activité « Grandes cultures » ne constitue pas une micro-ferme en soi, notamment au vu de la superficie qu'elle représente ; cette partie de la production est gérée par le domaine et ses productions servent entre-autres de matières premières aux micro-fermes.

Une micro-ferme peut réunir plusieurs ateliers. Ceci doit être fait pour limiter la quantité de micro-fermes tout en assurant un revenu suffisant à au moins une personne. Les ateliers sont réunis de manière cohérente, ou bien pour rassembler des activités similaires nécessitant le même type d'équipement et d'infrastructure, ou bien pour rassembler différentes étapes de fabrication d'un même produit.

Les micro-fermes sont caractérisées par les ateliers qui la composent et par leur dimension : la surface pour les productions végétales, les unités d'élevages pour les productions animales, les volumes annuels produits pour les activités de transformation.

Ces dimensions sont calculées à partir du nombre de paniers alimentaires à produire. La surface nécessaire à la production d'un panier $S_{tot,1}$ est calculée à la section 3 du chapitre III. La division de la surface totale disponible $S_{tot,x}$ par $S_{tot,1}$ indique le nombre de paniers qu'il est possible de produire X (Eq. 3). La valeur de $S_{tot,x}$ utilisée ici est la surface agricole utile (SAU) du domaine de Graux : 83 hectares.

$$X = S_{tot,x} / S_{tot,1}$$

Eq. 3

Le nombre de paniers à produire permet l'obtention des surfaces nécessaires aux productions végétales. Ces surfaces sont effectivement connues pour un panier, il suffit de les multiplier par X pour calculer la surface totale pour chaque type d'occupation du sol (section 4.2) en production végétale. La surface nécessaire aux arbres a été comparée à la surface de prairies permanentes calculée pour les besoins d'élevage. Si elle est plus importante, l'installation supplémentaire de vergers classiques sera nécessaire.

La quantité d'unités de chacun des élevages $Q_{UE,x}$ permet également la caractérisation du système de micro-fermes puisqu'elle définit la taille des troupeaux. Elle est obtenue en multipliant la quantité de paniers alimentaires X par $Q_{UE,1}$ (Eq. 4).

$$Q_{UE,x} = Q_{UE,1} \cdot X$$

Eq. 4

Ces deux données permettent de dimensionner chacune des micro-fermes.

4.3.2. Optimisation des flux de matière

Les quantités d'intrants, de produits et de sous-produits ont été calculées pour le système entier. Les flux entre micro-fermes ont alors pu être caractérisées et quantifiées.

D'une manière générale, le but est de maximiser la valorisation des sous-produits, que ce soit à travers l'alimentation des animaux ou par la fertilisation des champs. Ceci est fait dans le but d'optimiser la quantité de personnes qu'il est possible de nourrir sur le domaine et de réduire au minimum les importations de matières premières.

4.3.3. Optimisation de la rotation

Une rotation a été établie sur base des surfaces calculées de grandes cultures. Au moins 50% de cette rotation doit être couverte par des prairies temporaires. Celles-ci assurent effectivement une fertilité du sol suffisante pour les cultures suivantes.

Des engrais verts ont également été intégrés à cette rotation. Ils assurent une bonne fertilité du sol et défavorisent le développement d'adventices.

Les aliments des porcs ont été modifiés de manière à limiter la quantité de pois en le remplaçant par la féverole. Le pois est effectivement compliqué à cultiver en culture monospécifique, les rendements étant très variables. Il peut être mélangé à de l'avoine, qui lui servira de soutien. Une trieuse est alors nécessaire pour constituer les rations alimentaires nécessitant du pois.

Chapitre IV : Résultats

1. Constitution d'un panier alimentaire

Les deux régimes alimentaires établis considèrent les mêmes aliments dans des quantités différentes. Les catégories d'aliments ont été établies au chapitre précédent. La liste des aliments productibles en Belgique et constituant les régimes alimentaires est reprise en Figure 7. Ainsi, 99 aliments différents sont distingués dans le cadre de cette étude.

LÉGUMES				
Ail	Champignon	Chou vert	Maïs	Pourpier
Artichaut	Chicon	Concombre	Navet	Radis noir
Asperge	Chicorée	Courgette	Oignon	Radis rose
Aubergine	Chou blanc	Cresson	Panais	Rhubarbe
Bette	Chou chinois	Échalote	Pleurote	Rutabaga
Betterave rouge	Chou de Bruxelles	Epinard	Poireau	Salsifis
Brocoli	Chou-fleur	Fenouil	Poivron	Tétragone
Carotte	Chou frisé	Haricot	Pomme de terre	Tomate
Céleri branche	Chou rave	Laitue	Potimarron	Topinambour
Céleri rave	Chou rouge	Mâche	Potiron	

FRUITS	LÉGUMINEUSES	LAITAGES
Cassis	Fèves (grain)	Fromage frais (chèvre)
Cerise	Flageolets (grain)	Fromage frais (vache)
Coing	Petits pois (frais)	Fromage pâte molle (chèvre)
Fraise	Pois secs (grain)	Fromage pâte molle (vache)
Framboise		Fromage pâte pressée cuite (chèvre)
Groseille à grappes		Fromage pâte pressée cuite (vache)
Groseille à maquereaux		Fromage pâte pressée non cuite (chèvre)
Mûre		Fromage pâte pressée non cuite (vache)
Myrtille		Lait demi-écrémé (vache)
Poire		Yaourt (vache)
Pomme		
Prune		
Raisin		

ALIMENTS CÉRÉALIERS	OLÉAGINEUX	AUTRES PRODUITS ANIMAUX
Flocons d'avoine	Noisettes	Poulet
Nouilles de froment	Noix	Viande de bœuf
Pain d'épeautre		Viande de porc
Pain de froment		Viande d'agneau
Pain de seigle		Charcuterie
Pâtes d'épeautre		Truite
		Œufs

GRAISSES	ALIMENTS SUCRÉS
Beurre	Sucres et confiseries
Huile de colza	Gâteaux et biscuits
Huile de lin	
Huile de noix	

Figure 7. Liste des aliments constitutifs des régimes composés. Les catégories d'aliments 'Viande', 'Poisson', 'Oeufs' et 'Charcuterie' ont été fusionnés par souci de clarté.

1.1. Saisonnalité de production

Les fruits et légumes ainsi que les légumineuses ne sont pas consommés toute l'année. Les Figure 8, Figure 9 et Figure 10 montrent les périodes de récolte et de consommation de ces



Figure 8. Saisonnalité de la production et de la disponibilité des légumes. Les barres grises indiquent les mois de disponibilité à la consommation, les barres jaunes indiquent les mois de récolte du légume.

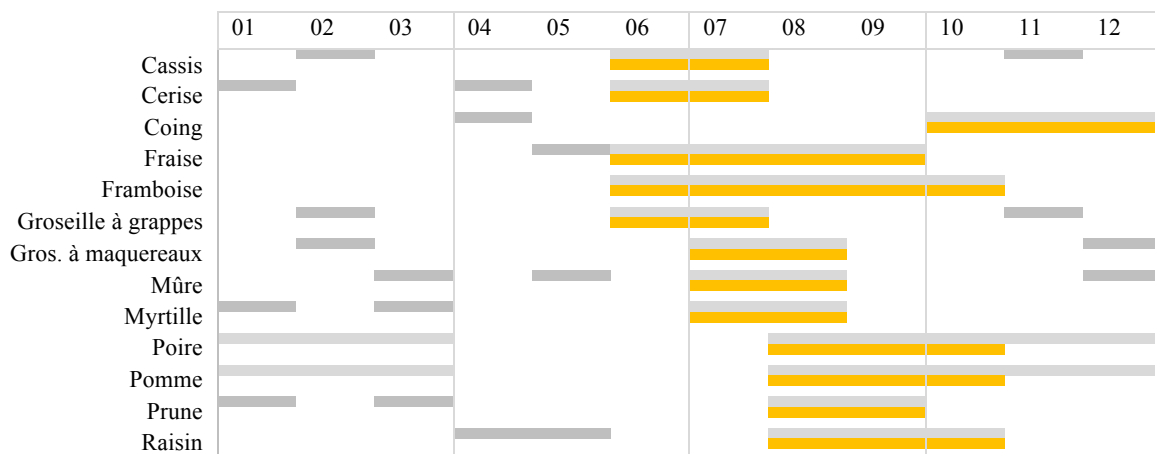


Figure 9. Saisonnalité de la production et de la disponibilité des fruits. Les barres grises indiquent les mois de disponibilité à la consommation, les barres oranges indiquent les mois de récolte du fruit. Les barres grises foncées indiquent que le fruit a dû être transformé pour être conservé (séchage, mise en pot).

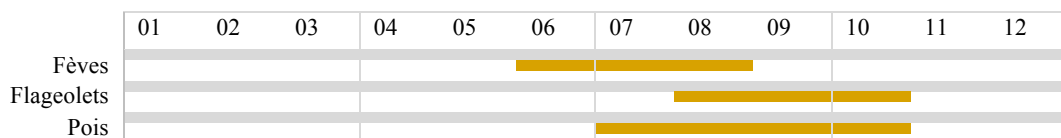


Figure 10. Saisonnalité de la production et de la disponibilité des légumineuses. Les barres grises indiquent les mois de disponibilité à la consommation, les barres brunes indiquent les mois de récolte de la légumineuse. Les flageolets et les pois peuvent être séchés, ce qui leur garantit une disponibilité toute l'année.

aliments. La non-correspondance de ces périodes indique une conservation de l'aliment en vue de prolonger sa disponibilité.

1.2. Quantité nécessaire de chaque aliment

La quantité nécessaire d'un aliment est calculée sur la base de la quantité nécessaire de la catégorie à laquelle il appartient ainsi que de sa pondération au sein de cette catégorie. Les quantités nécessaires par catégorie pour les deux régimes sont reprises sur le tableau en Figure 11. L'intervalle de portions et la quantité utilisée pour le régime paléolithique sont donnés en annexe 2. Les quantités de légumes, légumineuses, fruits, œufs et oléagineux sont chacune au moins 2 fois plus élevées pour le régime paléolithique. Les quantités de céréales, de graisse, de viande, de charcuterie et de produits sucrés sont entre une et deux fois plus élevées pour le régime belge. Les différences les plus importantes sont les oléagineux – 16 fois plus pour le régime paléolithique – et les œufs – 5 fois plus pour le régime paléolithique.

Dans le régime paléolithique, les aliments représentant en poids les quantités les plus importantes sont les légumes suivis par les fruits. Pour le régime belge, les céréales suivent les légumes.

Les quantités totales annuelles valent respectivement 641,34 et 463,22 kilos pour le régime paléolithique et le régime belge. Ceci correspond respectivement à 12,29 et 8,88 kilos par

QUANTITÉ PAR CATÉGORIE D'ALIMENTS

■ Rég. belge	115,39	1,95	63,66	68,12	2,00	19,18	81,54	32,39	57,98	23,90	11,76	19,72
■ Rég. paléo.	283,30	5,35	139,34	46,48	32,15	12,27	58,47	22,51	255,71	5,32	2,51	3,13

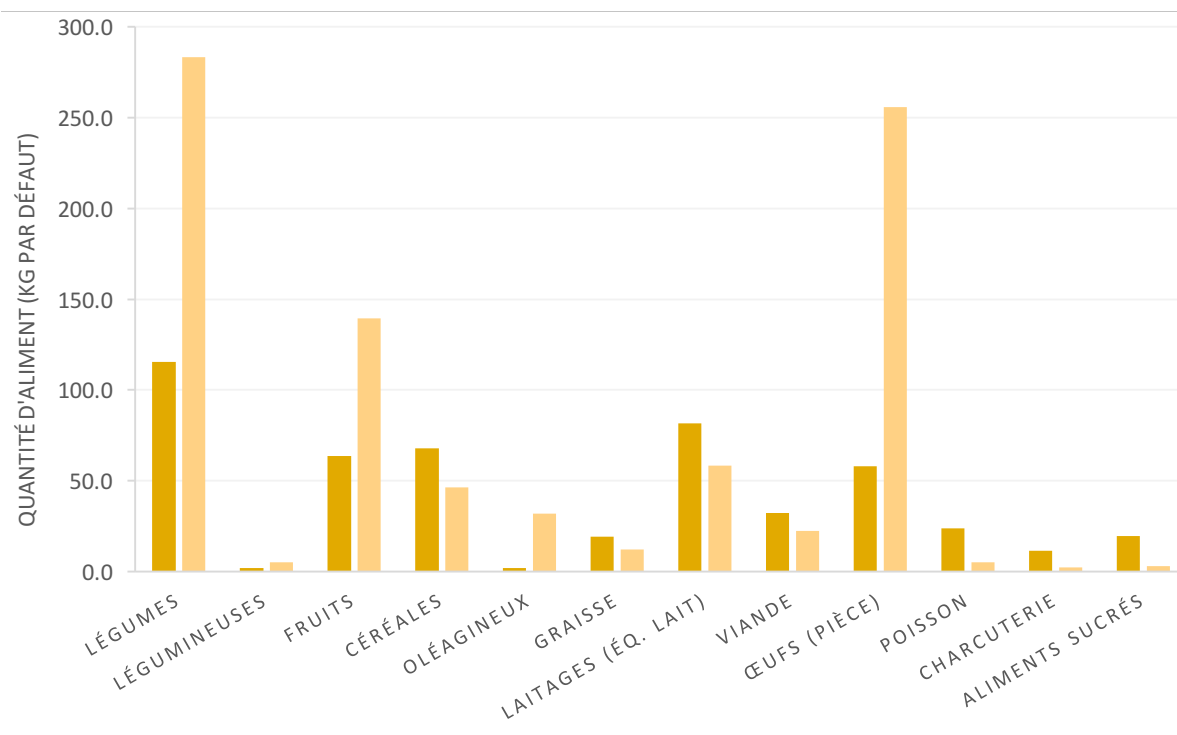


Figure 11. Quantité (kg) par catégorie d'aliments pour chacun des deux régimes considérés. Les laitages et œufs sont respectivement exprimés en équivalents lait et en nombre de pièces. Les légumineuses sont exprimées en poids sec.

semaine. Pour un même apport énergétique, il faut donc consommer 1,38 fois plus en quantité selon le régime paléolithique, comparé au régime effectif.

1.3. Composition nutritionnelle des régimes établis

Le régime effectif modélisé constitue un apport énergétique de 2106 kcal par jour. Le régime paléolithique modélisé a été adapté pour correspondre au même contenu énergétique (voir section 1.3.1 du chapitre III, la valeur de X utilisée est 0,400). Cette quantité de calories est à comparer à la consommation habituelle moyenne d'énergie de 2268 kcal calculée dans le cadre de l'enquête de consommation alimentaire belge de 2004 (Devriese *et al.*, 2006).

DISTRIBUTION DES APPORTS ÉNERGÉTIQUES DES RÉGIMES ÉTABLIS COMPARÉE AUX RECOMMANDATIONS

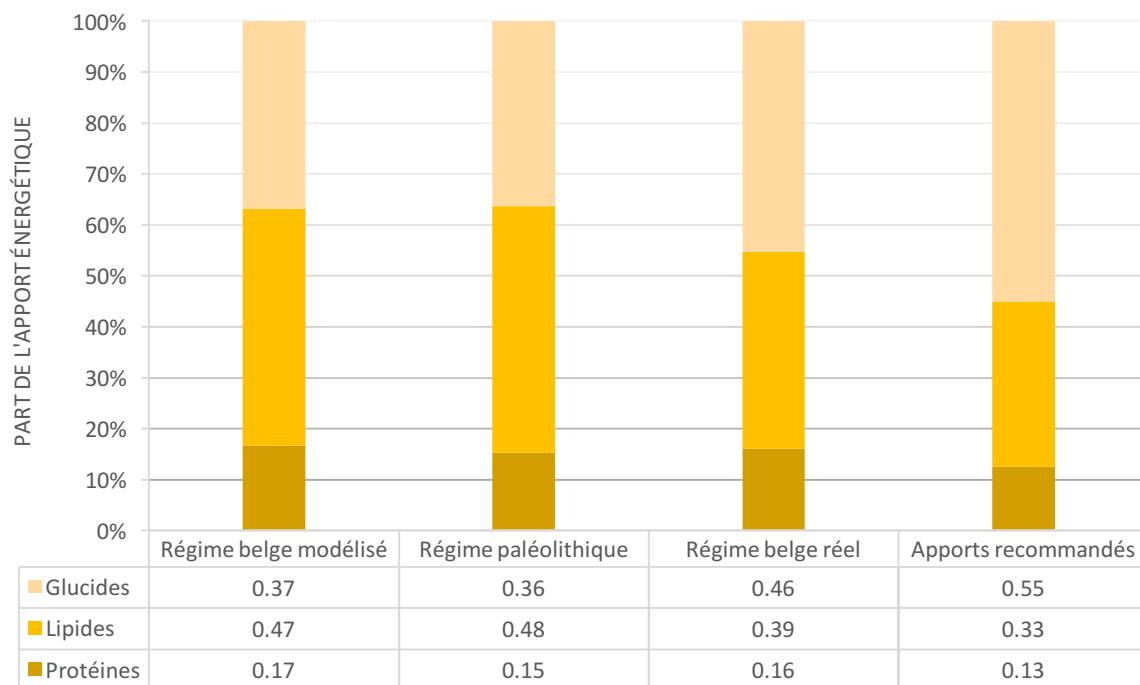


Figure 12. Distribution des apports caloriques par type de molécule et comparaison des régimes établis avec les recommandations officielles (Conseil Supérieur de la Santé 2009).

Les compositions nutritionnelles des deux régimes sont représentées dans le tableau en Figure 12. Les apports en protéines sont similaires pour le panier belge, le régime paléolithique et les données observées, ils sont tous trois plus élevés que les apports recommandés. Les lipides assurent quasiment la moitié des AET pour le régime belge modélisé et le régime paléolithique et 39% pour le régime belge réel, alors qu'ils ne représentent que 33% de l'AET dans les apports recommandés. Les apports en fibres, sucres et graisses saturées sont exposées en Figure 13.

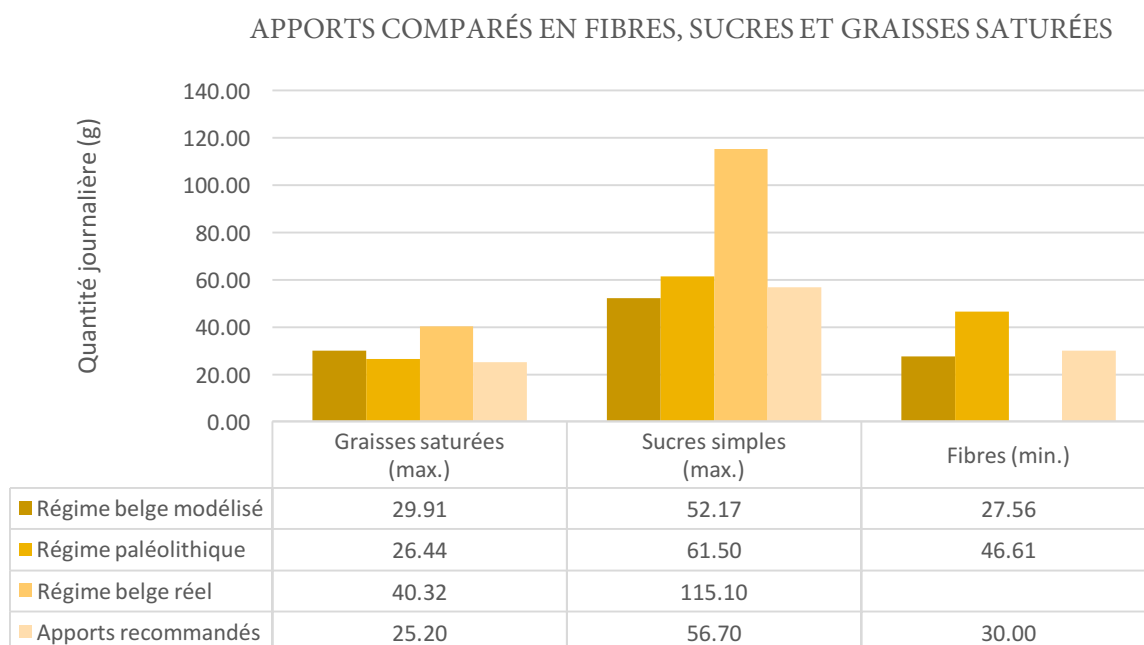


Figure 13. Apports en fibres, sucres et graisses saturées des deux régimes établis comparés aux apports observés et recommandés.

Les trois régimes comportent trop de graisses saturées, en particulier le régime belge réel avec une quantité journalière de graisses saturées de 40g. Concernant les sucres simples, le régime belge réel est de nouveau le plus éloigné des quantités maximales recommandées : il contient plus de deux fois trop de sucre d'après les recommandations officielles. Le régime belge modélisé est légèrement en dessous de l'apport maximal recommandé, et le régime paléolithique légèrement au-dessus. Quant aux fibres, le régime paléolithique en apporte suffisamment, contrairement au régime belge modélisé.

L'apport calorique par groupe d'aliment est détaillé en Figure 14. Il y apparaît que les principales sources d'énergie pour le panier belge sont les céréales et les graisses. Ensuite viennent les aliments sucrés, les laitages et les viandes. La composition énergétique du panier paléolithique est fort différente. La première source énergétique est la catégorie d'aliments « oléagineux ». Ensuite viennent les céréales, les graisses, les légumes et les fruits.

Les aliments végétaux, situés dans le bas du graphique, tiennent une place beaucoup plus importante dans l'apport calorique pour le panier paléolithique que dans le panier belge. Une autre différence majeure est l'apport énergétique assuré par les oléagineux, qui correspond à 34 kcal pour le panier belge et 551 kcal pour le panier paléolithique.

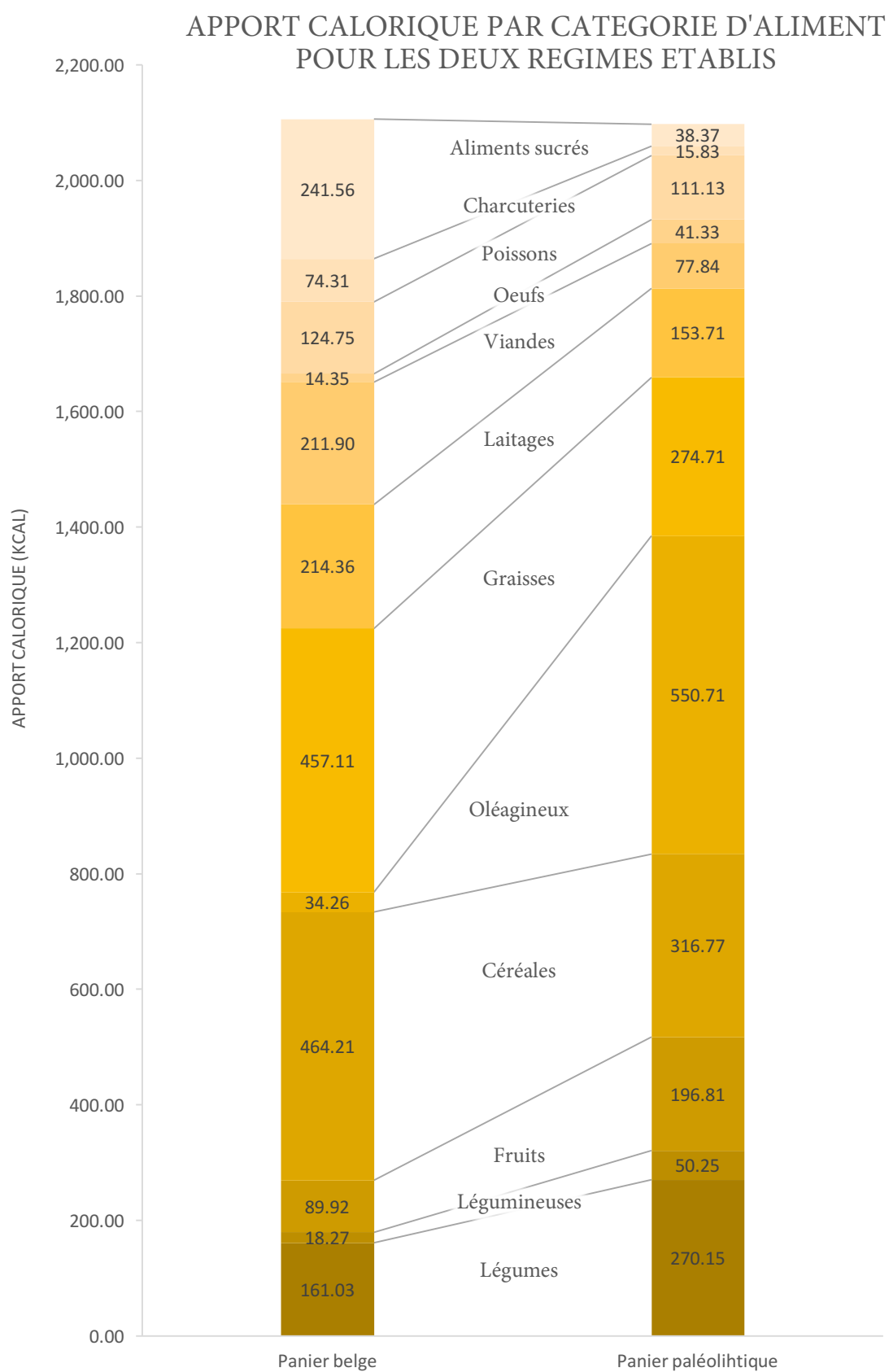


Figure 14. Distribution de l'apport calorique par catégorie d'aliment pour les régimes belge et paléolithique établis. Les catégories du dessous correspondent aux aliments végétaux.

2. Matières premières – coefficients de transformation

Les coefficients de transformation rassemblés et utilisés pour les produits laitiers, les viandes, les huiles et les céréales sont détaillés dans le Tableau 7. Les sources de ces chiffres ont été détaillées au chapitre précédent.

Produit initial	Produit(s) transformé(s)	Coefficient de transformation		
Laitages et beurre		Vache	Chèvre	
Lait brut (Vache 57, chèvre 35,7)	Lait entier (35,4)	0,93	0,99	
	Crème (350)	0,07	0,01	
Lait brut (Vache 57, chèvre 35,7)	Lait demi-écrémé (15,7)	0,88	0,94	
	Crème (350)	0,12	0,06	
Lait entier (35,7)	Fromage frais (caillé lactique)	0,25	0,22	
Lait entier (35,7)	Fromage à pâte molle	0,16	0,15	
Lait entier (35,7)	Fromage à pâte pressée non cuite	0,11	0,11	
Lait entier (35,7)	Fromage à pâte pressée (demi-)cuite	0,09	0,11	
Crème (350)	Beurre (820)	0,43		
	Lait écrémé (0)	0,57		
Viandes				
Vache Angus (poids vif)	Carcasse vache Angus	0,55		
Carcasse vache Angus	Viande vache Angus	0,66		
Génisse Angus (poids vif)	Carcasse génisse Angus	0,52		
Carcasse génisse Angus	Viande génisse Angus	0,66		
Taurillon Angus (poids vif)	Carcasse taurillon Angus	0,59		
Carcasse taurillon Angus	Viande taurillon Angus	0,66		
Vache Jersey (poids vif)	Carcasse vache Jersey	0,56		
Carcasse vache Jersey	Viande vache Jersey	0,70		
Jeunes Jersey (poids vif)	Carcasse jeunes Jersey	0,55		
Carcasse jeunes Jersey	Viande jeunes Jersey	0,70		
Brebis (poids vif)	Carcasse brebis	0,40		
Carcasse brebis	Viande brebis	0,80		
Agneau (poids vif)	Carcasse agneau	0,47		
Carcasse agneau	Viande agneau	0,81		
Truie (poids vif)	Viande truie	0,48		
Porc charcutier	Viande porc charcutier	0,50		
Poulet/poularde	Pilons et cuisses	0,23		
	Filets	0,13		
	Ailes	0,08		

	Produit initial	Produit(s) transformé(s)	Coefficient de transformation	
	Huiles			
	Graine de colza	Huile de colza	0,32 (l/kg)	
		Tourteau de colza	0,71 (kg/kg)	
	Graine de lin	Huile de lin	0,26 (l/kg)	
		Tourteau de lin	0,76 (kg/kg)	
	Cerneau de noix	Huile de noix	0,17 (l/kg)	
		Tourteau de noix	0,84 (kg/kg)	
	Céréales			
	Grain	Farine (T85)	0,75	
	Farine (T85)	Pain	1,25	

Tableau 7. Coefficients de transformation utilisés pour les aliments transformés. Les taux butyreux (grammes/litre) sont précisés entre parenthèses pour les produits laitiers.

3. Surfaces nécessaires

Les surfaces nécessaires pour la confection des aliments constituant un panier alimentaire de chaque régime sont comparées en Figure 15.

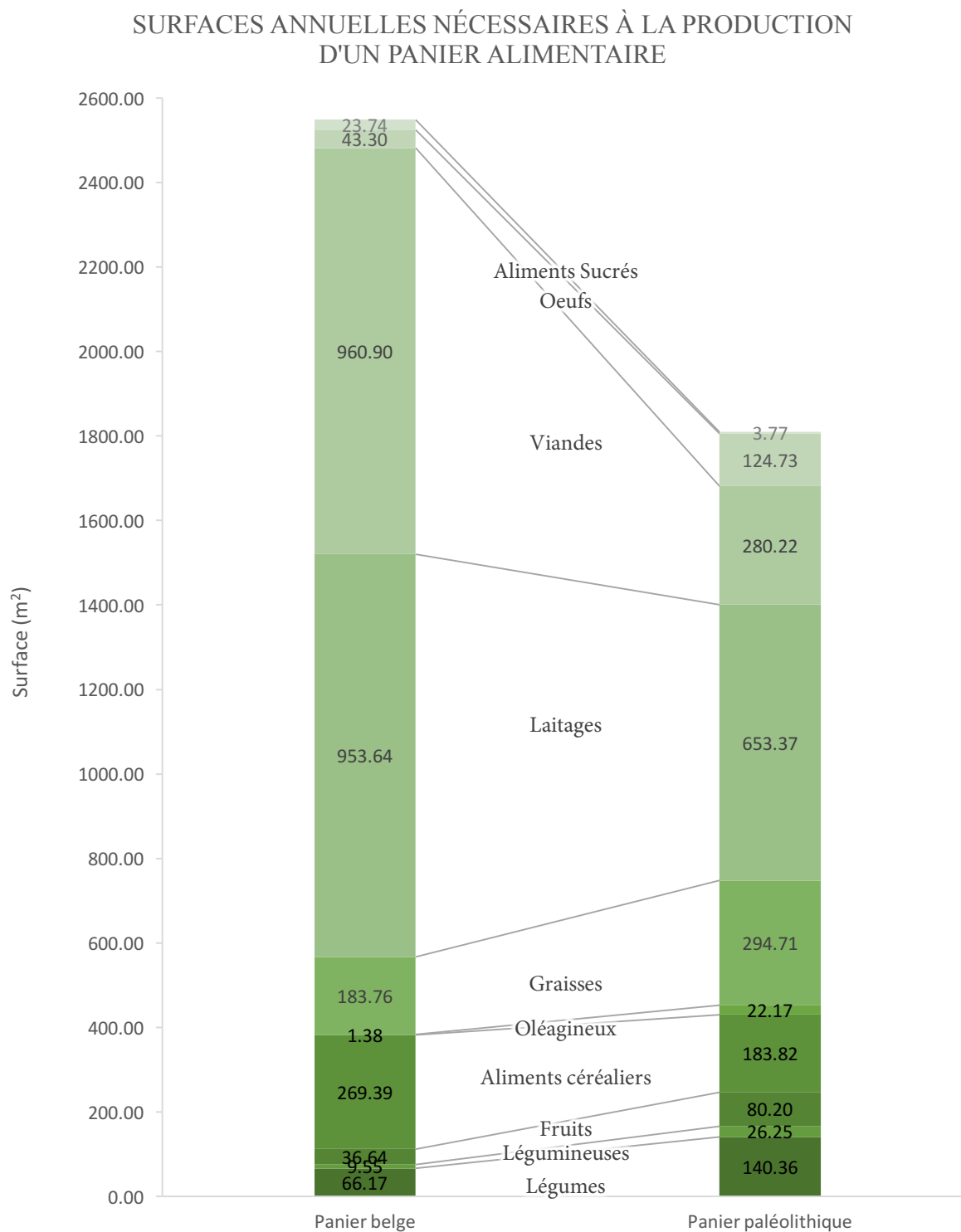


Figure 15. Distribution de la surface nécessaire (m²) par catégorie d'aliments pour la production de paniers alimentaires par personne et par an selon les régimes belge et paléolithique.

Au total, et en tenant compte de l'intégration des vergers dans les prairies permanentes, ce sont 2520 m² par personne et par an qui sont nécessaires pour le régime belge et 1790 m² pour le régime paléolithique. Ces surfaces incluent respectivement 1940 m² et 1048 m² pour les productions animales (excepté le beurre).

3.1. Rendements de chaque atelier de production et comparaison

	Type de production	Rendement (kg/ha/an)		
		Calculé dans le cadre de ce mémoire	Calculé par Rentmeesters (2013)	
	Maraîchage	25 900	27 500	
	Production de fruits	9 939	30 001	
	Production de lait de vache	4 295	5 268	
	Production de lait de chèvre	1 422		
	Production de viande de bœuf	163	214	
	Production de viande de porc	499	1 024	
	Production de viande d'agneau	171		
	Production avicole – chair	402	1 600	
	Production avicole – œufs (pièce)	15 363	24 241	
	Grandes cultures	4 235		

Tableau 8. Rendements des activités de production comparés aux rendements de Rentmeesters (2013)

Les rendements des ateliers de production sont présentés dans le Tableau 8. Ils sont systématiquement plus faibles que ceux de Rentmeesters (2013). Les différences sont particulièrement importantes pour les fruits, le porc, la volaille de chair et les poules pondeuses. Les comparaisons de différents types de produits n'ont pas beaucoup de sens, notamment à cause de la teneur en eau très variables d'un produit à l'autre.

Concernant le lait, le rendement pour le lait de vache est trois fois plus élevé que pour le lait de chèvre. Pour la viande, les élevages monogastriques sont entre 2 et 3 fois plus économes en surface que les élevages ruminants.

3.2. Rendements annuels en grande culture

Les valeurs de rendement en grandes cultures utilisées sont présentées en Tableau 9.

Culture			Rendement	Culture			Rendement	
			t/ha				t/ha	
	Triticale avoine pois	(grain)	4,50		Fèves	(grain)	4,50	
	Epeautre avoine pois	(grain)	4,50		Flageolets	(grain)	6,00	
	Orge pois	(grain)	4,50		Haricots princesse	(gousse)	10,00	
	Céréales immatures	(plante entière)	8,00					
					Ail	(gousse)	5,00	
					Carotte	(racine)	50,00	
	Blé	(grain)	4,50		Chicon	(racine)	12,00	
	Triticale	(grain)	4,00		Oignon	(bulbe)	20,00	
	Orge	(grain)	4,20		Poireau	(tige)	20,00	
	Avoine	(grain)	4,20		Pomme de terre	(tuber.)	21,00	
	Maïs	(grain)	8,00					
	Pois	(grain)	3,50		Colza	(graines)	3,20	
	Féverole	(grain)	3,00		Lin	(graines)	1,00	

Tableau 9. Rendements annuels des cultures de plein champ. Les rendements des légumes sont en tonnes de matière fraîche par ha.

3.3. Détail des élevages modélisés

Tous les élevages décrits ci-dessous le sont pour une unité d'élevage (UE ; pour rappel voir Tableau 4 en section 3 du chapitre III).

3.3.1. Elevage bovin laitier

L'élevage bovin laitier modélisé est composé de vaches de la race Jersey. La dynamique de troupeau est exposée en Figure 16.

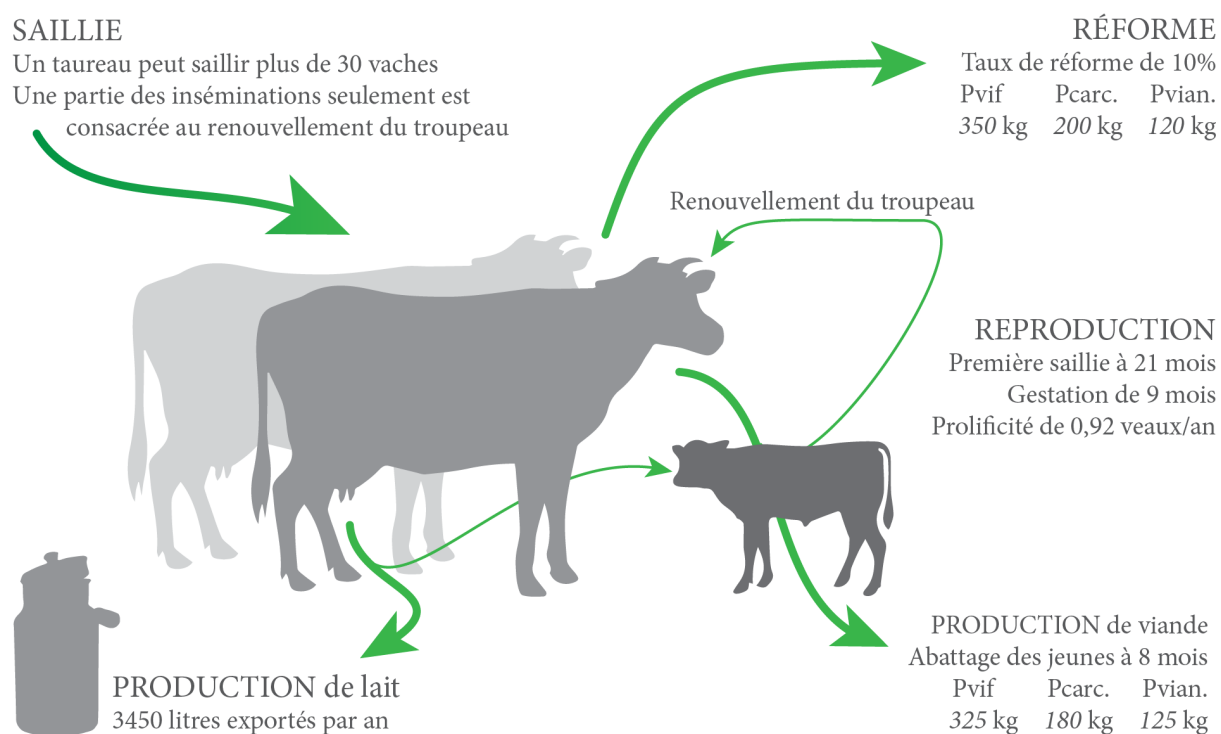


Figure 16. Production et dynamique du troupeau de l'élevage bovin laitier modélisé. Pvif, Pcarc. Et Pvian. Indiquent respectivement le poids vif, le poids de carcasse et le poids en viande.

Un pâturage tournant permet une charge au pâturage de 2 UGB/ha et la gestion des prairies permet de limiter la stabulation à 180 jours. La Tableau 10 quantifie l'alimentation hivernale. Le méteil est un mélange triticale-avoine pois. Une UE contient 1,37 UGB au total (Tableau 10). Aucune prairie temporaire de fauche n'est nécessaire, toute l'herbe fauchée provient de la pâture.

Elevage bovin laitier - Jersey	# Ind.	Valeur UGB	Herbe (kg MS)	Méteil (kg grain)	Lait (l)
Vache	1,00	1,0	1560	300	
Taureau	0,03	1,0	1872	360	
Génisse de l'année (croisé BB)	0,36	0,3	480	240	810
Taurillon de l'année (croisé BB)	0,46	0,3	480	240	810
Génisse de remplacement	0,10	0,9	2832	420	810

Tableau 10. Caractérisation d'une UE de troupeau bovin laitier. L'herbe et le méteil forment l'alimentation d'hiver.

Les surfaces nécessaires pour une UE sont présentées en Figure 17.

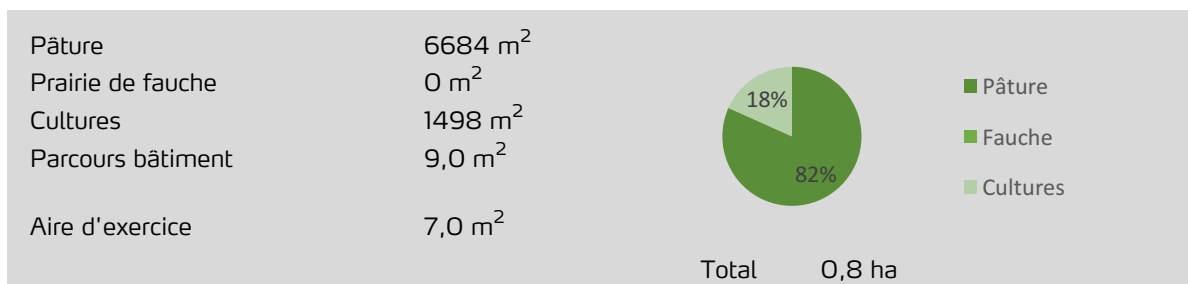


Figure 17. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau bovin laitier; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.

3.3.2. Elevage caprin laitier

L'élevage caprin laitier est constitué de chèvres de race « Poitevine ». La production et la dynamique du troupeau sont exposées en Figure 18. L'engraissement des jeunes n'est économiquement pas viable. Seules sont gardées les chevrettes nécessaires au renouvellement du troupeau. La production de viande des chèvres réformées n'a pas été comptée.

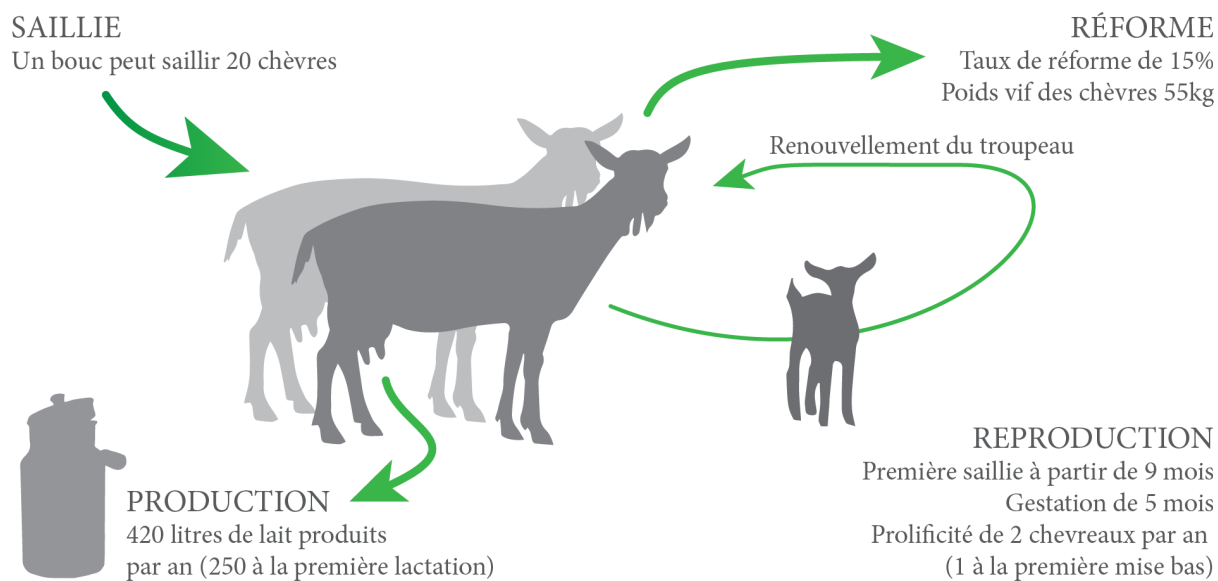


Figure 18. Production et dynamique du troupeau de l'élevage caprin laitier modélisé

La charge à l'hectare est de 1,7 UGB/ha de prairie pâturée. Une unité d'élevage est composée de 0,23 UGB. La Tableau 11 quantifie les apports supplémentaires à l'herbe pâturée ainsi que la taille du troupeau. Du lait de vache est donné aux chevrettes jusqu'à leur sevrage. Les surfaces nécessaires à une unité d'élevage sont exposées en Figure 19.

Elevage caprin laitier - Poitevine	# Ind.	Valeur UGB	Herbe (kg MS)	Méteil (kg grain)	Lait (l)
Chèvre	1,00	0,17	1000	231	
Bouc	0,05	0,17	1200	18	
Chevrette (jusqu'à 15 kg)	0,30	0,09	10		130
Chevrette post-sevrage (j. 30 kg)	0,30	0,09	270	72	

Tableau 11. Caractérisation d'une UE de troupeau caprin laitier.

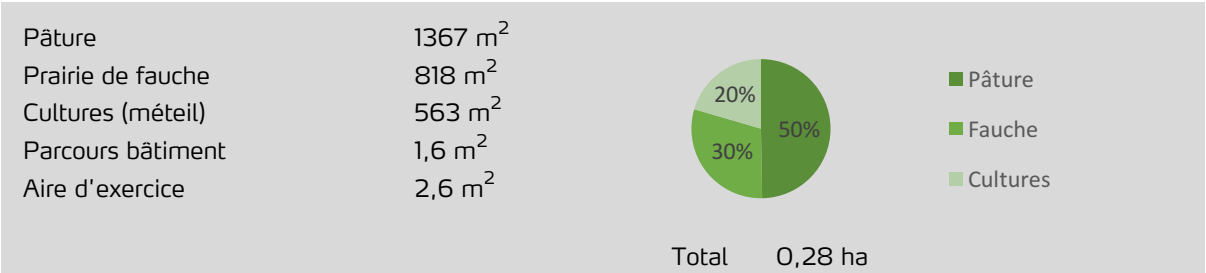


Figure 19. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau caprin laitier; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.

3.3.3. Elevage bovin allaitant

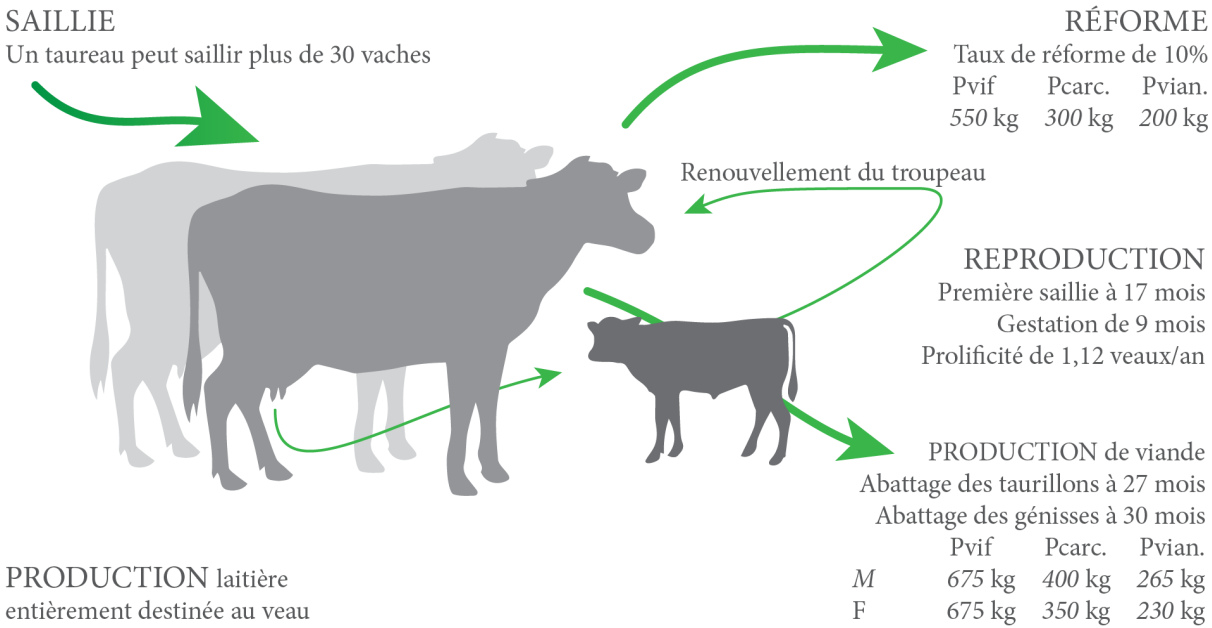


Figure 20. Production et dynamique du troupeau de l'élevage bovin allaitant modélisé.

L'élevage bovin allaitant est formé de vaches « Aberdeen Angus ». La production et la dynamique du troupeau sont exposées en Figure 20. Les âges à l'abattage sont différenciés pour les génisses et les taurillons ; les poids de carcasse et de viande sont spécifiés pour chaque sexe.

Les caractéristiques de cet élevage et les quantités d'aliments nécessaires sont présentées en Tableau 12. Les valeurs entre parenthèses correspondent aux modifications faites pour le Domaine de Graux. Une UE est composée de 2,0 UGB au total.

Elevage bovin viandeux - Angus	# Ind.	Valeur UGB	Foin ou ensilage (kg MS)	Méteil (kg grain)	Epeautre (kg grain)	Ensilage cér. (kg grain)
Vache	1,00	0,9	1800 (3240)			1400 (0)
Taureau	0,02	1,0	2160 (3888)			1680 (0)
Taurillon de l'année	0,56	0,4	1200 (1298)		270 (0)	
Génisse de l'année	0,56	0,4	1200 (1298)		270 (0)	
Taurillon 1 an et +	0,56	0,6	2000 (1944)	428 (178,5)		
Génisse 1 an et +	0,46	0,6	2200 (1944)	(178,5)		353 (0)
G. de remplacement (j. 17 mois)	0,10	0,6	1615 (3049)			1315 (0)

Tableau 12. Caractérisation d'une UE de troupeau bovin allaitant. Par défaut, les quantités sont exprimées en kg.

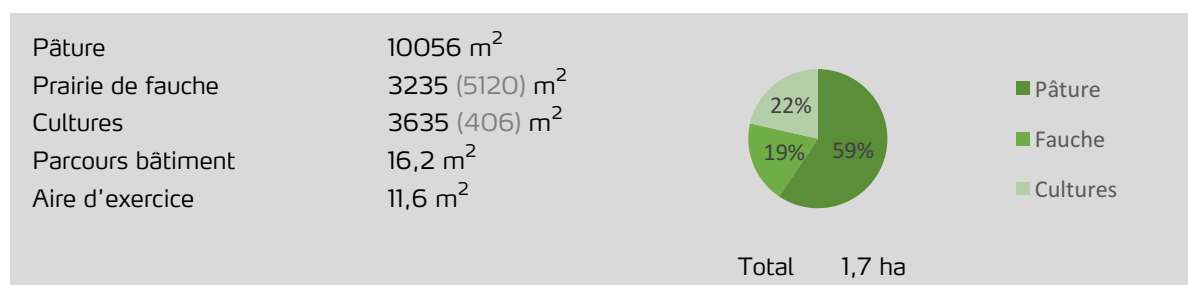


Figure 21. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau bovin allaitant; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.

Les surfaces nécessaires à la conduite de l'élevage sont présentées en Tableau 13.

3.3.4. Elevage ovin allaitant

Le troupeau ovin est constitué de deux races différentes dont l'une est désaisonnable, la production d'agneau peut ainsi être étalée. Deux périodes d'agnelage sont considérées : les agneaux d'hiver sont engraisés en bergerie, les agneaux de printemps sont engraisés en prairie sous la mère. La production et la dynamique du troupeau sont exposées en Figure 22.

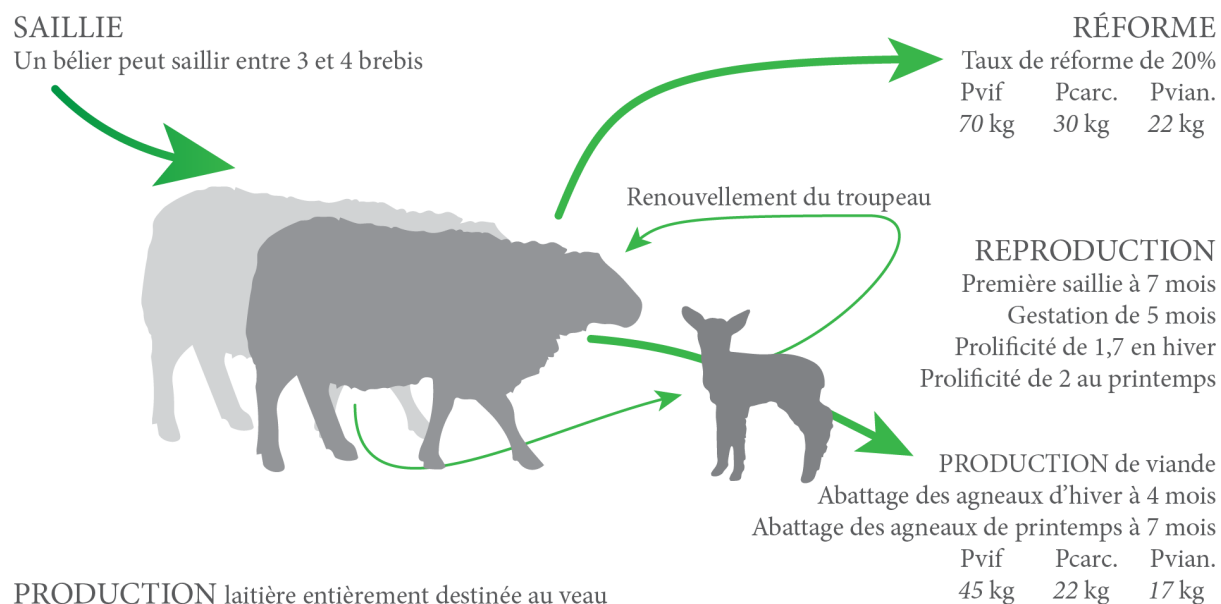


Figure 22. Production et dynamique de troupeau de l'élevage ovin allaitant modélisé

Elevage ovin allaitant	# Ind.	Valeur UGB	Foin (kg MS)	Méteil (kg grain)
Brebis	1,00	0,2	300	165
Bélier	0,10	0,2	300	200
Agneau né en mars	1,10	0,1		52
Agneau né en novembre	0,60	0,1	90	60
Agnelle de remplacement : mars	0,20	0,1		52

Tableau 13. Caractérisation d'une UE de troupeau ovin allaitant. Le foin et le méteil forment l'alimentation d'hiver.

Les caractéristiques de l'élevage sont présentées en Tableau 13. Une UE totalise 0,27 UGB. Le méteil est un mélange : ¼ triticales avoine pois, ½ orge pois, ¼ épeautre avoine pois. Les agneaux d'hiver reçoivent des céréales dès le début de leur vie, alors que les agneaux de printemps n'en reçoivent qu'une fois sevrés. La charge au pâturage est de 1,7 UGB/ha. Les surfaces nécessaires à une UE sont présentées en Figure 23.

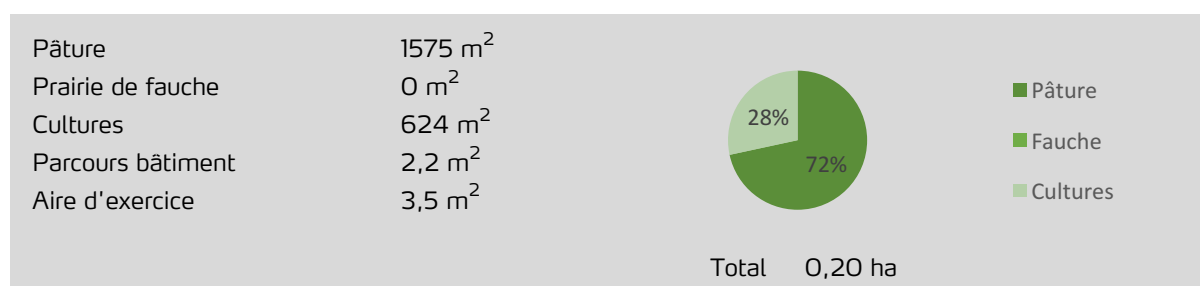


Figure 23. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau ovin allaitant ; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.

3.3.5. Elevage porcin

L'élevage porcin est effectué en plein air. La production et la dynamique du troupeau sont présentées en Figure 24.

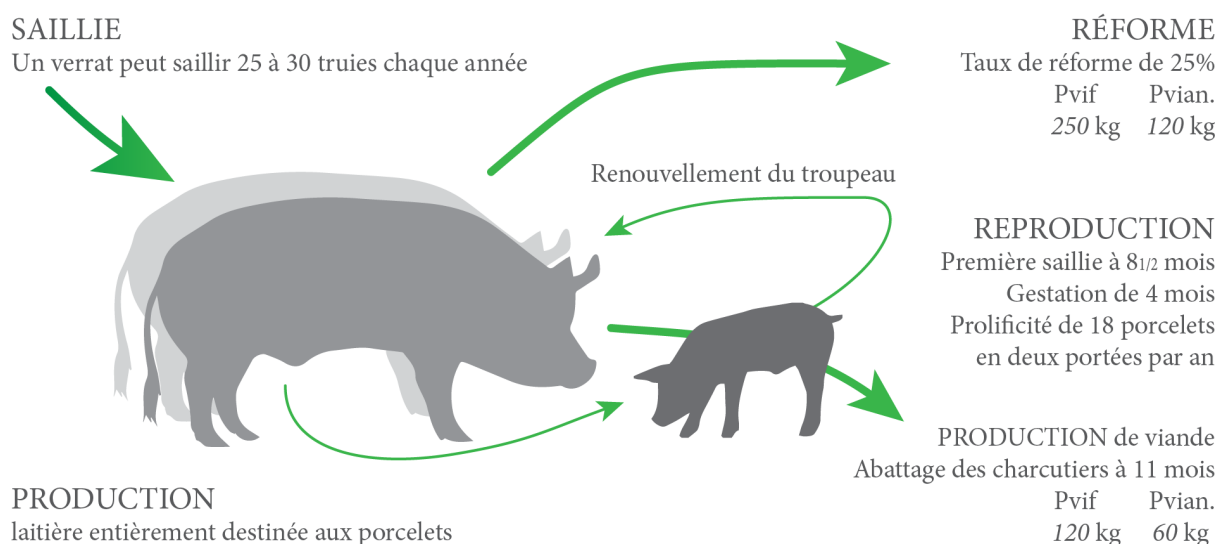


Figure 24. Production et dynamique du troupeau de l'élevage porcin allaitant modélisé. La prolificité est donnée en nombre de porcelets sevrés en deux portées par an, des pertes étant fréquentes jusqu'à ce stade.

Les formulations des trois aliments nécessaires sont présentées en Tableau 14. Les quantités de l'aliment « croissance » peuvent être diminuées en étant remplacées par du lactosérum, ceci a pour impact de diminuer la surface nécessaire de cultures.

Les surfaces nécessaires pour la conduite de cet élevage sont présentées en Figure 25.

	Matière première	Porcelets (%)	Lactation / Croissance (%)	Gestation / Finition (%)	
	Blé	-	-	10,31	
	Triticale	36,46	24,75	51,55	
	Orge	11,46	29,70	-	
	Avoine	-	-	10,31	
	Maïs	10,42	3,96	-	
	Pois	31,25	24,75	5,15	
	Féverole	-	-	14,43	
	Tourteau de colza	-	-	5,15	
	Tourteau de lin	-	9,90	3,09	
	Levure de brasserie	5,21	2,97	-	
	Protéine de pdt	5,21	3,96	-	
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	
	Quantité par porcelet (kg)	42,00	70,00	208,00	
	Quantité par truie (kg)	-	435,00	1015,00	
	Quantité par verrat (kg)	-	-	1100,00	
	Quantité nécessaire par UE	42,00	1695,00	4869,00	

Tableau 14. Formulations et quantités des aliments nécessaires à l'élevage porcin. Le verrat consomme le même aliment que les truies en gestation.

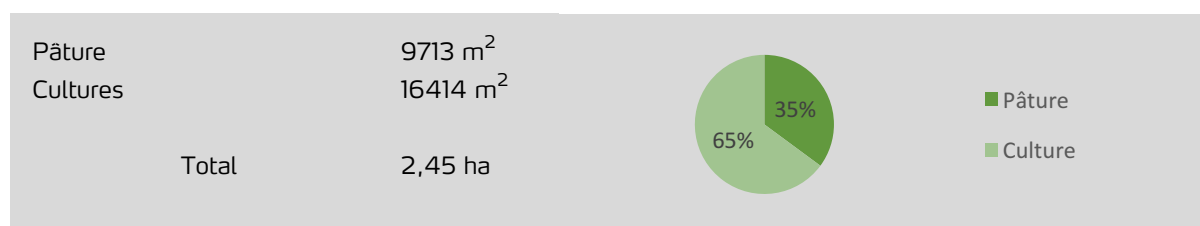


Figure 25. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau porcin ; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.

3.3.6. Elevage avicole

L'élevage avicole est à double fins (œufs, viande) avec une race mixte. Une partie des œufs produits par les poules pondeuses est exportée, une autre partie sert à la constitution de lots de volailles de chair et à la reconstitution des lots de pondeuses. La production et la dynamique de l'élevage sont représentées en Figure 26. Le nombre d'œufs à incuber est choisi en fonction du nombre de lots à constituer.

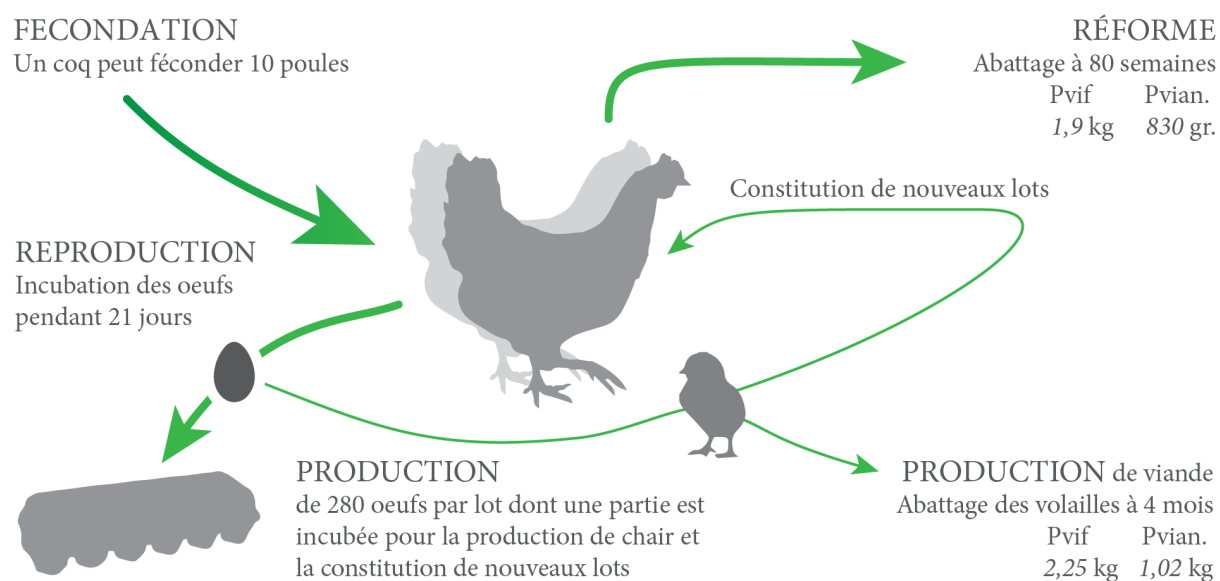


Figure 26. Production et dynamique du troupeau de l'élevage de poules mixtes

Les lots sont gérés de manière à optimiser l'utilisation du parcours. Leur succession est représentée en Figure 27. Tous les poussins reçoivent le même aliment « Démarrage » pendant 6 semaines. Les six premières semaines de vie des jeunes sont effectuées en intérieur, ce qui permet à différents lots de se chevaucher. Après cela, les aliments pour les pondeuses et les volailles de chair sont différenciés, les volailles – poulets et poulardes – ont accès au parcours, c'est la phase de croissance. Trois lots de volailles de chair peuvent se succéder sur un parcours chaque année. Les lots de poulettes démarrés à la semaine 40 servent à constituer les lots de pondeuses pour l'année suivante.

Les formulations des aliments et les quantités nécessaires sont spécifiées dans le Tableau 15. Les surfaces nécessaires aux volailles sont présentées en Figure 28.

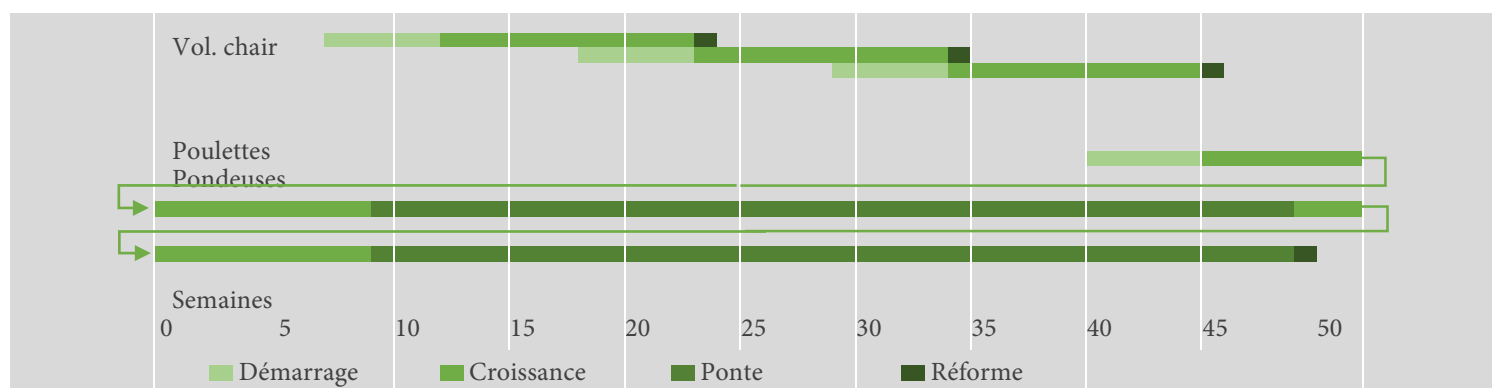


Figure 27. Gestion des parcours et succession des lots de volailles au long de l'année.

Matières premières	Démarrage 0 - 6 sem.	Poulette 7 - 21 sem.	Pondeuse < 42 sem.	Pondeuse > 42 sem.	Croissance chair
	%	%	%	%	%
Blé	-	-	-	-	25,00
Triticale	14,46	43,24	17,95	17,95	-
Maïs	41,32	27,03	51,28	51,28	65,00
Pois	9,30	10,81	6,41	6,41	-
Féverole	10,33	7,03	3,85	3,85	-
Graine de colza	-	5,41	6,41	6,41	-
Tourteau de soja	5,37	-	-	-	-
Tourteau de colza		6,49	7,69	7,69	-
Tourteau de lin	-	-	6,41	6,41	-
Tourteau de tournesol	14,88	-	-	-	-
Gluten de maïs	4,34	-	-	-	-
Poudre de lait entier	-	-	-	-	10,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	75,00
Quantité nécessaire par UE pondeuse	1,40	2,50	12,61	58,42	-
Quantité nécessaire par UE chair	1,40	-	-	-	9,50

Tableau 15. Formulations et quantités des aliments utilisés pour l'élevage avicole mixte

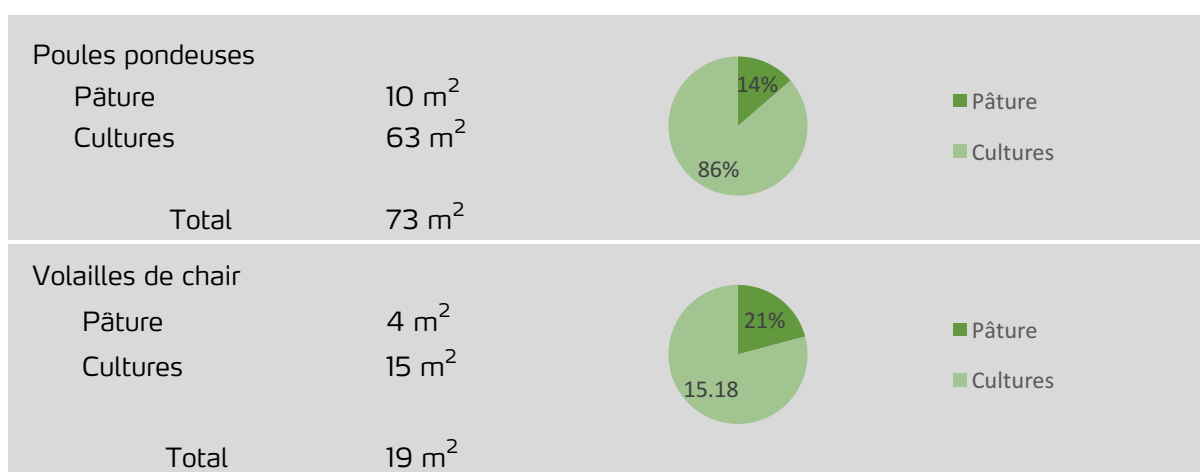


Figure 28. Surfaces nécessaires à une UE de poule pondeuse et de volaille chair ; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.

4. Le système de micro-fermes : cas du Domaine de Graux

Les modifications faites au panier pour le Domaine de Graux ont augmenté la surface nécessaire. Celle-ci est de 2316 m² dont 1523 m² dédiés aux productions animales (excepté beurre). Il est possible de produire 358 paniers alimentaires paléolithiques sur les 83 ha de surface arable du domaine.

4.1. Détail des surfaces constituant le système de micro-fermes

Les surfaces détaillées ci-dessous correspondent au système tel qu'optimisé à la section 4.3 du chapitre III.

Légumes

La moyenne de rendement en maraîchage est de 26 t/ha/an, en comptant deux récoltes par parcelle par an. Ce rendement moyen tombe à 6,6 t/ha/an en grandes cultures. La décomposition des surfaces pour la production de légumes est présentée dans le Tableau 16.

Maraîchage	1,55	ha
dont serres	2890	m ²
Chemins	3870	m ²
Grande culture	3,12	ha
Total	5,05	ha

Tableau 16. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production de légumes pour une personne.

La quantité de paille nécessaire pour la production de champignons est de 9,64 tonnes.

Légumineuses

Tous les aliments de cette catégorie sont produits en grande culture. La surface nécessaire est de 6910 m², avec un rendement moyen de 2,23t/ha, en poids sec.

Fruits

Le rendement moyen pour la production de fruits est de 1,22 kg/m². La décomposition des surfaces pour la production de fruits est présentée dans le Tableau 17.

Ligne petits fruits (m)	14900	2,24	ha
Arbre – 10 m	30	2620	m ²
Arbre – 12 m	147	1,83	ha
Serres (m ²)		5660	m ²
Total		5,00	ha

Tableau 17. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production de fruits pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.

Aliments céréaliers

La production de céréales se fait exclusivement en grandes cultures. La surface nécessaire est de 6,15ha, avec un rendement moyen de 3,68 t/ha.

Oléagineux

Les oléagineux considérés sont produits par des arbustes et des arbres. Le rendement moyen est de 0,21 kg/m². La décomposition des surfaces est présentée dans le Tableau 18.

Arbuste – 3m	982	7660	m ²
Arbre – 10 m	563	4,86	ha
Total		5,63	ha

Tableau 18. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production d'oléagineux pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.

Graisses

Les graisses sont produites en grandes cultures ou à partir de lait. Pour ce dernier, la quantité d'unités d'élevages est spécifiée, ainsi que la surface correspondante (Tableau 19). Les données concernant les élevages sont détaillées en section 3.3 de ce chapitre.

Grandes cultures (lin et colza)		3,26	ha
UE BOV LAIT	6,09	9,05	ha
Total		12,3	ha

Tableau 19. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production des graisses pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne. (UE = unité d'élevage ; pour rappel voir Tableau 4 en section 3 du chapitre III).

Laitages

Les laitages sont produits à partir de deux élevages laitiers, un élevage bovin ainsi qu'un élevage caprin. Les unités d'élevages sont exposées dans le Tableau 20. La surface totale nécessaire est 666 m².

UE CAP LAIT	64,5	17,8	ha
UE BOV LAIT	1,90	2,86	ha
Total		20,6	ha

Tableau 20. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production des laitages pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.

Viandes

Quatre troupeaux sont destinés à la production de viande. Le nombre d'unités d'élevages et les surfaces correspondantes sont détaillés dans le Tableau 21.

UE BOV VIAN	10,7	16,2	ha
UE POR VIAN	3,22	9,6	ha
UE OVI VIAN	4,66	1,01	ha
UE AVI CHAI	566	1,12	ha
Total		27,9	ha

Tableau 21. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production de viande pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.

Œufs

Seules des poules pondeuses sont considérées ; 875 UE AVI ŒUF sont nécessaires, ce qui correspond à 6,61 ha.

Poissons & Charcuteries

Les poissons ne sont pas produits, et les charcuteries sont issues de sous-produits d'autres unités d'élevages. Aucune surface n'est donc mentionnée.

Aliments sucrés

La farine destinée aux aliments sucrés est produite sur 756 m² et 52 ruches sont nécessaires à l'approvisionnement en miel.

4.2. Assolement

Les surfaces composant le système sont exposées dans le Tableau 22.

Occupation	Surface (ha)
Maraîchage	1,55
Serres	0,29
Légumes vivaces	0,79
Lignes petits fruits	2,24
Verger basses-tiges	0,77
Pré-verger	6,96
Grandes cultures	30,3
Prairie temporaire	30,3
Prairie permanente	9,67
Bâtiments (m ²)	872
Aires d'exercices (m ²)	359
Total	83

Tableau 22. Assolement du système de micro-fermes

4.3. Flux de matière

Les besoins et productions de matières premières nécessaires et des sous-produits sont détaillés dans le Tableau 23. Le système est déficitaire en fumier. La totalité du lactosérum produit est valorisée. Il a été intégré à hauteur de 11 % dans les aliments « croissance » et « finition » des porcs charcutiers. La totalité du lait entier en poudre de l'aliment croissance des volailles chair a été remplacée par le lait écrémé issu de la production de beurre. Tout le lait écrémé n'est toutefois pas valorisé. Excepté le tourteau de colza, tous les tourteaux sont produits en quantités insuffisantes. De grandes quantités de tourteau de lin doivent être importées.

Prod. Secondaires	Quantité (tonnes)	Bilan
Paille – production (tonnes)	63,56	
Paille – besoin (tonnes)	37,61	+25
Fumier – production (tonnes)	347,37	
Fientes de poulet – production (tonnes)	5,25	
Fumier de poulet – production (tonnes)	5,12	
Fumier – besoin (tonnes)	604,43	-205
Fumier de cheval – besoin (tonnes)	142,33	-142
Lactosérum - production (l)	25624,78	
Lactosérum - besoin max. (l)	25517,05	+107
Lait écrémé - production (l)	19805,95	
Lait écrémé – besoin (l)	5592,93	+14213
Tourteau de colza – production (tonnes)	5,11	
Tourteau de colza – besoin (tonnes)	4,92	+0,19
Tourteau de lin – production (tonnes)	1,97	
Tourteau de lin – besoin (tonnes)	3,98	-2,01
Tourteau de tournesol – besoin (tonnes)	0,18	-0,18
Tourteau de soja – besoin (tonnes)	0,07	-0,07
Gluten de maïs – besoin (tonnes)	0,05	-0,05
Levure de brasserie – besoin (tonnes)	0,14	-0,14
Protéine de pdt – besoin (tonnes)	0,14	-0,14

Tableau 23. Bilan des matières premières et des sous-produits du système

4.4. Rotation en grandes cultures

Une rotation a pu être mise en place pour les terres arables. Celle-ci correspond à l'assolement représenté en Figure . La surface totale sur laquelle s'effectue cette rotation est de 60,6 ha. Près de la moitié de la surface est donc occupée par des prairies temporaires. Ensuite viennent les céréales dont les méteils, les oléagineux, les légumineuses ainsi que les légumes.

ASSOLEMENT GRANDES CULTURES

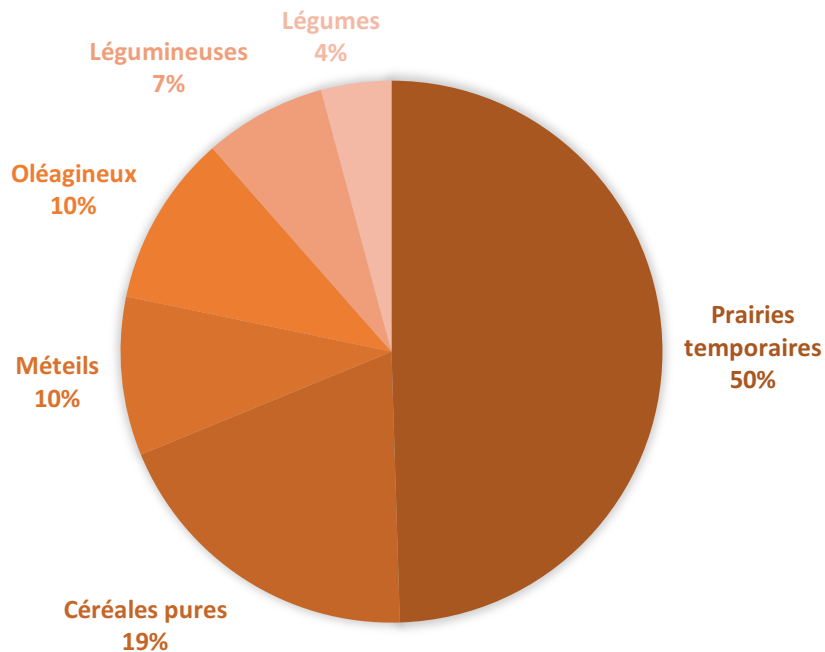


Figure 29. Assolement des grandes cultures

La rotation se fait sur 7 ans. L'enchaînement des cultures est décrit à la Figure 29. Un engrais vert de type Biomax est intégré lorsque deux cultures annuelles se suivent.

5. Un outil de conception

L'obtention de ces résultats a été effectuée à l'aide d'un tableur. Celui-ci a été conçu de manière à pouvoir caractériser un système de micro-fermes en fonction de différents paramètres :

- Régime utilisé
- Groupes d'aliments à produire – composition des paniers
- Quantité de paniers à produire ou surface disponible
- Productivité des prairies
- Performances zootechniques des élevages

Cet outil peut aider le dimensionnement de projets agroécologiques et/ou de vente de paniers alimentaires.

	Prairie	Prairie	Céréales/ Méteils	Prairie	Céréales/ Méteils	Prairie OU Légumineuses	Oléagineux OU Légumes	
--	---------	---------	----------------------	---------	----------------------	-------------------------------	-----------------------------	--

Figure 29. Rotation modélisée pour le système de grandes cultures

Chapitre V. Discussion

1. Le panier alimentaire

1.1. Les données

La constitution des paniers alimentaires a présenté des difficultés au niveau de la disponibilité des données. Ces données manquantes ont dû être générées et parfois arbitrairement choisies. Une attention particulière a été donnée à la cohérence du jeu de données mis en place dans ces cas. Les analyses nutritionnelles effectuées sur les différents paniers assurent leur plausibilité.

1.2. Analyse des paniers alimentaires établis

1.2.1. Quantités et densité calorique

Le profil des quantités par catégories est très différent pour les deux régimes, ce qui se traduit notamment par une densité calorique plus faible pour le régime paléolithique. Celui-ci est effectivement plus lourd de 38% par rapport au régime belge. Cette différence est due aux proportions bien plus importantes de fruits et légumes, aliments riches en eau. Les repas constitués à partir du panier paléolithique comportent donc une densité calorique plus faible, caractère associé à des bienfaits pour la santé notamment en limitant l'apport calorique (Houlbert, 2008).

1.2.2. Qualités nutritives

Les deux paniers constitués contiennent 159 kcal de moins par jour que ce que les belges consomment réellement. Ceci s'explique par le fait que les boissons ne sont pas comprises dans les paniers. En dehors de cela, ces paniers contiennent tous les aliments nécessaires à un individu moyen. Dans l'optique de vente des paniers alimentaires, il conviendrait de réduire les quantités pour assurer une proportion plus faible de l'apport calorique total. Ceci permettrait effectivement au consommateur d'avoir une certaine marge de manœuvre et d'assurer la distribution d'une plus grande quantité de paniers.

La principale différence entre les paniers établis et les apports recommandés concerne les glucides et les lipides. Les paniers contiennent presque 20% de moins de glucides par rapport aux recommandations officielles. Ils contiennent en revanche beaucoup plus de lipides. Ceci ne constitue toutefois pas un désagrément tant que le profil d'acides gras est équilibré (voir section 2.4 du Chapitre I). C'est le cas du régime paléolithique mais ce ne l'est pas pour le régime belge modélisé.

La différence des apports en glucides et en lipides des deux régimes belges met en avant les limites de la modélisation effectuée pour le régime belge. Deux raisons peuvent en être la

cause. D'une part, l'image négative donnée aux graisses ces dernières décennies a largement encouragé la consommation d'aliments allégés en graisse. Or, ce sont des teneurs en graisse classiques qui ont été prises en compte dans le cadre de ce travail, ce qui peut expliquer une teneur en graisses plus importante. Ceci est confirmé par l'apport calorique que constitue la catégorie d'aliments « graisses » dans le régime belge. D'autre part, la quantité de glucides plus importante du régime belge réel s'explique par une consommation de sucres simples beaucoup plus importante (Figure 13). Ces sucres se retrouvent dans les boissons et les aliments transformés.

La distribution des apports énergétiques nous indique que les paniers paléolithique et belge établis contiennent plus de protéines que recommandé. La différence est tout à fait acceptable puisque les pourcentages restent bien en-dessous du maximum de 25% officiellement recommandé (Devriese et al. 2006).

Le panier paléolithique est le plus proche des recommandations en termes de contenu de graisses saturées et de fibres. Concernant l'apport en sucres simples, le contenu plus élevé du panier paléolithique est expliqué par la grande quantité de fruits et légumes, alors que les sucres simples du régime belge modélisé proviennent en grande majorité des aliments sucrés (Annexe 5). Ainsi, l'apport en sucres simples du panier paléolithique est principalement constitué de fructose alors que le panier belge modélisé contient majoritairement du glucose. Ceci constitue une différence capitale puisque le fructose et le glucose ont des effets métaboliques très différents. De plus, la grande quantité de fibres consommées avec ces sucres dans le régime paléolithique ralentissent son assimilation.

1.2.3. Validité des paniers, discussion de leur composition

Le panier belge établi dans le cadre de ce travail ne correspond pas exactement à ce que les belges mangent. Ce panier a effectivement été constitué avec des aliments locaux et peu transformés. Or, l'alimentation des belges contient une part considérable d'aliments importés qu'il ne serait pas possible de produire en Belgique. De plus, la transformation des aliments est fréquente dans le système alimentaire industrialisé belge. Le panier belge établi dans le cadre de ce mémoire contient donc moins d'aliments transformés que dans la réalité, et la composition nutritionnelle de ces aliments transformés diffère des compositions considérées dans le cadre de ce travail.

Le panier paléolithique établi correspond à un régime paléolithique non strict. Effectivement, un régime paléolithique strict ne contiendrait pas de produits laitiers, aucune céréale et aucune légumineuse. Toutefois, le profil nutritionnel du régime paléolithique établi correspond bien aux recommandations officielles et offre une réponse adéquate aux connaissances scientifiques actuelles en matière de nutrition.

Les deux régimes sont comparés sur les quantités d'aliments constituant chaque catégorie. En plus de cela, les quantités de pomme de terre et de graisses ont été différenciées pour chaque régime. Cette méthode laisse déjà apparaître de grandes différences entre les deux

régimes, autant dans les quantités que dans les apports nutritionnels. Une différenciation plus détaillée des paniers des proportions d'aliments au sein des catégories pourrait encore mieux préciser les deux régimes.

L'analyse nutritionnelle effectuée ci-dessus nous laisse affirmer que le régime paléolithique modélisé est plus sain que le régime belge modélisé, lui-même étant plus sain que le régime belge réel. C'est un régime qui correspond aux conclusions des connaissances scientifiques développées en introduction.

2. Les techniques de production

2.1. Le maraîchage

Le maraîchage tel que décrit dans ce travail correspond à un système moyennement productif en agriculture biologique, en atteste la comparaison avec le rendement utilisé par Rentmeesters (2013). Toutefois, les techniques d'intensification maraîchère peuvent permettre bien plus que les deux récoltes par an envisagées (Fortier 2012) (Coleman 2009). Une intensification pourrait permettre de réduire la surface nécessaire en maraîchage. Ceci n'aurait toutefois pas un impact important sur le nombre total de paniers, la surface en maraîchage représentant une proportion faible du système (3%).

2.2. Les élevages

L'élevage avicole est le seul qui n'a pas été principalement basé sur un cas réel. L'élevage simulé s'éloigne sensiblement de l'élevage de volailles de Bresse par sa mixité et par la suppression de la période d'engraissement en cages en finition. Un maximum de précautions a toutefois été pris pour assurer la validité de cet élevage. L'apport en acides aminés est central pour assurer de bonnes performances des volailles. Les formulations adaptées sont assez proches des besoins des poules. Ces considérations et la présence d'un parcours très étendu garantissent que les volailles pourront respecter les performances zootechniques considérées, celles-ci n'étant pas exigeantes.

Le même principe est valable pour les porcs. Leurs formulations présentent des teneurs en protéines et en lysine correspondant à leurs besoins. Toutefois, l'apport en acides aminés soufrés pourrait être insuffisant. Effectivement, les protéagineux utilisés – le pois et la féverole – ont des teneurs en méthionine et en cystéine limitées (Annexe 6).

De manière générale pour les élevages, l'autonomie alimentaire complète n'a pas pu être atteinte. Ce sont surtout des matières riches en protéines qui doivent être importées, parfois en quantités considérables. De plus, des améliorations sont encore à apporter pour mieux valoriser l'herbe. Des élevages ovin et caprin consommant moins de céréales permettraient effectivement de mieux rencontrer les objectifs initiaux.

Plus de la moitié du fumier nécessaire doit provenir de l'extérieur. Ce manque de fumier est partiellement dû aux choix des modes d'élevages. Ainsi, l'élevage porcin en plein air et l'absence d'étable pour les bovins allaitants limitent fort les exportations possibles de fumier. Les élevages porcin et bovin allaitant ainsi que les volailles de chair rassemblent deux critères importants pour garantir de la viande de bonne qualité nutritionnelle : leurs durées de vie sont longues et l'herbe constitue une part élevée de leur alimentation (relativement à leur morphologie).

3. Les surfaces nécessaires

Les surfaces considérées dans ce travail considèrent un système établi ayant atteint toutes ses capacités de production. Ceci est surtout important pour les productions arboricoles qui mettent plusieurs années avant de réellement produire.

La démarche utilisée dans le cadre de ce mémoire est originale car elle prend comme point de départ les besoins des consommateurs.

Les quantités gaspillées ont été adaptées de données correspondant à des modes de production, de transformation et de distribution fort différents de ceux considérés dans le cadre de ce mémoire. Le nombre d'intermédiaires très limité ainsi que le type de commercialisation du système développé ici réduisent fort les possibilités de pertes. Les chiffres utilisés peuvent probablement être encore réduits ; des données correspondant à des cas réels sont pour cela nécessaires.

Les rendements calculés dans le cadre de ce travail sont généralement plus faibles que les rendements de Rentmeesters (2013) avec des différences parfois très importantes. Une partie de ces différences peut être expliquée en analysant les méthodes de calcul de Rentmeesters. Concernant les fruits, la différence s'explique assez simplement. Rentmeesters ne tient effectivement compte que d'une production de fruits de verger, mode de production qui offre des rendements bien plus élevés les autres fruits (notamment les petits fruits). Concernant les élevages, la différence s'explique par des quantités d'aliments plus importantes considérées dans le cadre de ce travail. De plus, Rentmeesters ne tient pas compte des aliments nécessaires aux mères, seuls les aliments nécessaires à la croissance des jeunes sont considérés. Enfin, les superficies de parcours n'ont pas été comptées pour les monogastriques chez Rentmeesters. Ces mêmes superficies sont relativement importantes dans le cadre de ce travail étant donnés les modes de conduite des volailles et des porcs. De manière générale, les différences s'expliquent par des choix de calcul différents, mais les données de rendements des productions végétales et les quantités produites par tête sont similaires, excepté pour les volailles.

Les techniques et pratiques considérées dans ce travail ne sont pas celles offrant les meilleurs rendements, même dans le cadre de l'agriculture biologique. Toutefois, ces pratiques sont cohérentes avec les objectifs définis au Chapitre II. Les résultats atteints dans le cadre de ce travail correspondent à ces pratiques, ils ne constituent pas une valeur de surface fixe unique

nécessaire pour nourrir une personne. Toutefois, le système considéré consiste en une modélisation plausible pour ces choix pratiques.

4. Application à un cas concret et perspectives

La caractérisation des micro-fermes est limitée par deux informations manquantes. D'une part, le calcul du temps de travail par unité de production doit servir de base à la constitution des micro-fermes. Celles-ci doivent effectivement fournir du travail en quantité adéquate. D'autre part, il faudrait s'assurer qu'il est bien possible de tirer un revenu suffisant des activités de production et de transformation et de commercialisation. La prise en compte de ces deux dimensions pourrait constituer la prochaine étape de développement de cet outil.

Un panier supplémentaire pourrait également être mis en essayant d'optimiser la surface nécessaire et ainsi maximiser le nombre de paniers qu'il est possible de produire. Ceci doit être fait en maintenant les qualités nutritionnelles du panier considéré. Cette même approche d'optimisation peut se baser sur des critères économiques, c'est la démarche adoptée par Van Malder et Noel (2014).

Il serait également pertinent de modéliser un système maraîcher tenant compte d'une rotation ou de données de rendement réelles d'un système intensifié comme il est décrit en section 3 du chapitre III. Enfin, les recherches pourraient être approfondies concernant les élevages, soit pour augmenter leur autonomie alimentaire, soit pour mieux valoriser l'herbe. Plus particulièrement, les possibilités d'intensification de l'élevage de volailles sont à étudier.

Chapitre VI. Conclusion

Ce travail est caractérisé par une approche systémique. Le fait de prendre les besoins nutritifs d'une population comme point de départ est atypique des démarches de simulations agronomiques. La singularité de cette démarche nous a mené à mettre en place une méthodologie tout au long de notre travail en s'adaptant aux données disponibles dans la littérature. Les choix faits tant au niveau nutritionnel qu'agronomique correspondent à des démarches particulières. L'agroécologie et le régime paléolithique sont des mouvements fort éloignés de la norme, ce qui explique les difficultés parfois rencontrées dans l'obtention de données. Un effort de constitution de base de données robuste a été consenti.

Une grande part des productions agricoles biologiques belges a été considérée à travers ce travail. C'est donc un grand nombre de disciplines qui a été abordé et une quantité importante de connaissances qui ont été acquises pour ce travail. Le croisement des données, les avis d'experts, ainsi que le fait de se baser sur des cas concrets ont permis de s'assurer de la validité du résultat final au delà des difficultés rencontrées.

L'outil développé pour la réalisation des calculs est maintenant destiné à accompagner la réalisation de projets de production de paniers alimentaires complets ou non. La planification des productions, leur organisation, ainsi que la détermination des facteurs de production

nécessaires sont des données précieuses lors de la mise en place de tels projets. L'implémentation de données de main d'œuvre et de données économiques serait pour cela très pertinente, permettant ainsi une vision beaucoup plus complète des systèmes simulés. De même, les options et paramètres devraient être étendus de manière à pouvoir préciser les simulations.

Enfin, l'outil développé et complété pourrait servir à des simulations bien plus étendues que pour une ou un groupe d'exploitations. Simuler de manière concrète tout un pays ou un groupe de pays adoptant ce moyen de production peut permettre de tester la pertinence de l'agroécologie à grande échelle, et éventuellement développer des arguments pour son développement.

Chapitre VII. Références

- Adisco. *Culture des champignons pleurotes à petite échelle*. Bujumbura, BU: Faculté des Sciences Agronomiques, Université du Burundi.
- Allen, Frederick M. «Gross anatomic relations of the pancreas and diabetes.» *Journal of Experimental Medicine* 31, n° 4 (1920): 363-379.
- Allen, Frederick M. «Production and control of diabetes in the dog: control of experimental diabetes by fasting and total dietary restriction.» *Journal of Experimental Medicine* 31, n° 5 (1920): 575-586.
- Altieri, Miguel A. *Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture (Westview special studies in agriculture science and policy)*. 2nd Edition. Westview Press, 1987.
- American Jersey Cattle Association and National All-Jersey Inc. . *Why Jerseys*. Reynoldsburg, USA: American Jersey Cattle Association and National All-Jersey Inc. , 2013.
- Ames, Bruce N., et Patricia Wakimoto. «Are vitamin and mineral deficiencies a major cancer risk?» *Nature* 2 (2002): 694-704.
- Anderson, James W., Bryan M. Johnstone, et Margaret E. Cook-Newell. «Meat-analysis of the effects of soy protein intake on serum lipids.» *The New England Journal of Medicine* 333 (1995): 276-282.
- Anonyme. *Noyers traditionnels: production de noix en coque et cerneaux*. Fiche repère, Chambre d'agriculture du Lot, 2012.
- Argouarc'h, Joseph. *Les cultures légumières en agriculture biologique - Fiches technico-économiques des principaux légumes*. Le Rheu, FR: Centre de formation professionnelle et de promotion agricole, 2005.
- Atkinson, Fiona S., Kaye Foster-Powell, et Jennie C. Brand-Miller. «International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008.» *Diabetes Care* 31, n° 12 (2008): 2281-2283.
- Baker, B. P., C. M. Benbrook, E. Groth, et K. L. Benbrook. «Pesticide residues in conventional, integrated pest management (IPM)-grown and organic foods: insights from three US data sets.» *Food Additives and Contaminants* 19, n° 5 (2002): 427-446.
- Belury, Martha A. «Dietary conjugated linoleic acid in health: Physiological effects and mechanisms of action.» *Annual Review of Nutrition* 22 (2002): 505-531.
- Bergot, Sophie. *Panorama de l'agriculture, Du producteur au consommateur*. Paris, FR, 19 janvier 2010.
- Biowallonie. *Les chiffres du bio 2013*. Conférence de presse Semaine BIO, Namur, BE: Biowallonie, 2014.
- Blezat Consulting. *Étude sur la valorisation du 5e quartier des filières bovine, ovine et porcine en France*. FranceAgriMer, 2013.
- Bordes, Anna, et al. *Cahier technique, Alimentation des porcins en agriculture biologique*. Paris, FR: Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2014.
- Boudry, C., P. Maquet, et E. Montfort. «Le lactosérum en alimentation porcine.» *L'Essentiel du Porc*, juillet 2012: 21-24.
- Boutroux, Léon. *Le pain et la panification: chimie et technologie de la boulangerie et de la meunerie*. Paris, FR: Librairie J.-B. Baillière et fils, 1897.
- Brun, Jean. «Abeilles et pesticides: mes ruches produisent 2 fois moins de miel.» *L'Obs: Le Plus*, avril 2013.
- Campbell, T. Colin, et Thomas M. Campbell. *The china study*. 1st Edition. BenBella Books, 2005.
- Cavaillès, Emilie. «La relance des légumineuses dans le cadre d'un plan protéine: quels bénéfices environnementaux?» *Études & documents*, Décembre 2009.
- Centre National d'Information de l'Économie laitière. *Les chiffres clés de la filière laitière en 2008*. Paris, FR: CNIEL, 2008.
- Chambres d'agriculture Bretagne. *Le haricot vert, beurre & flageolet*. Chambres d'agriculture Bretagne, 2003.

- Chambres d'agriculture Bretagne. *Outil de référence pour la réalisation du Plan prévisionnel de fumure azote*. Chambres d'agriculture Bretagne, 2013.
- Chambres d'agriculture des Pays de la Loire & Deux-Sèvres. *Poulets label: Résultats 2013*. Filière avicole, Chambres d'agriculture des Pays de la Loire & Deux-Sèvres, 2014.
- Cho, Eunyoung, et al. «Red meat intake and risk of breast cancer among premenopausal women.» *Archives of Internal Medicine* 166, n° 20 (2006): 2253-2259.
- CIVB. *Cahier des charges de l'appellation d'origine "Volaille de Bresse" ou "Poulet de Bresse", "Poularde de Bresse", "Chamon de Bresse"*. Branges, FR: Comité Interprofessionnel de la Volaille de Bresse, 2012.
- Coleman, Eliot. *The Winter Harvest Handbook: Year-round vegetable production using deep-organic techniques and unheated greenhouses*. Vermont, USA: Chelsea Green Publishing, 2009.
- Comité Interprofessionnel de la Volaille de Bresse. *Dossier de presse - Volaille de Bresse: "Reine des volailles, Volaille des rois"*. <http://www.pouletbresse.com/fra.pdf> (accès le Juillet 05, 2015).
- Commission des communautés européennes. «RÈGLEMENT (CE) No 889/2008 DE LA COMMISSION du 5 septembre 2008 portant modalités d'application du règlement (CE) no 834/2007 du Conseil relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques en ce qui concerne la production biologique, l'étiquetage et les contrôles.» *Journal officiel de l'Union européenne*, septembre 2008: 250/1-250/84.
- Cone, Cynthia, et Andrea Myrhe. «Community-Supported Agriculture: A sustainable alternative to industrial agriculture.» *Human Organization* 59, n° 2 (2000): 187-197.
- Conseil de l'Union européenne. «RÈGLEMENT (CE) No 510/2006 DU CONSEIL du 20 mars 2006 relatif à la protection des indications géographiques et des appellations d'origine des produits agricoles et des denrées alimentaires.» *Journal officiel de l'Union européenne*, 3 2006: 93/12-93/25.
- Conseil de l'Union Européenne. «RÈGLEMENT (CE) No 834/2007 DU CONSEIL du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) no 2092/91.» *Journal officiel de l'Union européenne*, n° 189 (7 2007).
- Conseil Supérieur de la Santé. *Recommandations nutritionnelles pour la Belgique: Révision 2009*. Bruxelles, BE: CSS, 2009.
- Cordain, Loren. «Implications of Plio-Pleistocene Hominin Diets for Modern Humans.» Dans *Evolution of the Human Diet, The known, the Unknown, and the Unknowable*, de Peter S. Ungar, 363-383. Oxford, UK: Oxford University Series, 2007.
- Cordain, Loren, et al. «Origins and evolution of the Western diet: health implications for the 21st century.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 81, n° 2 (2005): 341-354.
- Cordain, Loren, et al. «Origins and evolution of the eastern diet: health implications for the 21st century.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 81 (2005): 341-354.
- Cross, Amanda J., Michael F. Leitzmann, Mitchell H. Gail, Albert R. Hollenbeck, Arthur Schatzkin, et Rashmi Sinha. «A prospective study of red and processed meat intake in relation to cancer risk.» *PLoS Med* 4, n° 12 (2007): DOI: 10.1371/journal.pmed.0040325.
- Daley, Cynthia A., Amber Abbott, Patrick S. Doyle, Glenn A. Nader, et Stephanie Larson. «A review of fatty acid profiles and antioxidant content on grass-fed and grain-fed beef.» *Nutrition Journal* 9 (2010): doi: 10.1186/1475-2891-9-10.
- Dangour, Alan D., Sakhi K. Dodhia, Arabelle Hayter, Elizabeth Allen, Karen Lock, et Ricardo Uauy. «Nutritional quality of organic foods: A systematic review.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 90, n° 3 (2009): 680-685.
- Davis, Donald R., Melvin D. Epp, et Hugh D. Riordan. «Changes in USDA Food Composition Data for 43 Garden Crops, 1950 to 1999.» *Journal of the American College of Nutrition* 23, n° 6 (2013): 669-682.

- Decamp, Céline. *Les circuits courts solidaires et durables en Wallonie*. Louvain-la-Neuve, BE: Credal Conseil, 2013.
- Delobel, Vincent. *Les Indomptables: An ethnography of niche novelty production in Walloon Agriculture*. MSc. thesis, Wageningen, NL: Wageningen UR, 2014.
- Devriese, Stephanie, Inge Huybrechts, Michel Moreau, et Herman Van Oyen. *Enquête de consommation alimentaire Belge 1 - 2004*. Service d'Epidémiologie, 2006; Bruxelles, Institut Scientifique de Santé Publique, 2006.
- Dewdney, J. M., et al. «Risk assessment of antibiotic residues of β -lactams and macrolides in food products with regard to their immuno-allergic potential.» *Food and Chemical Toxicology* 29, n° 7 (1991): 477-483.
- Dominique, Antoine. *Produire des oeufs biologiques - Equilibrer l'alimentation*. Cahier technique, Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2010.
- Dominique, Antoine. *Produire du poulet de chair en AB - Optimiser son système d'alimentation*. Cahier technique, Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2009.
- Duval, Jean. *Production de fraises biologiques*. Québec, CA: Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Sainte-Foy, 2003.
- Eaton, S. B., et M. Konner. «Paleolithic nutrition: A consideration of its nature and current implications.» *New England Journal of Medicine* 312 (1985): 283-289.
- Echange écrit avec José Wavreille, agronome en production animale, coordinateur de l'unité de recherche "Mode d'élevage, bien-être et qualité" au CRA-W (17 Juillet 2015).
- Echange écrit avec Pierre Vandaele, service technico-économique de l'AWE (11 Juin 2015).
- Entretien avec Alain Peeters, Prof. Dr, directeur du centre de recherche RHEA, promoteur de ce mémoire (Mai 2015).
- Interview par Alain Peeters. Entretien avec André Grévisse, notamment éleveur d'un troupeau bovin allaitant d'Aberdeen Angus à Habay-la-Vieille dans la province de Luxembourg (07 Mai 2015).
- Entretien avec Benoît Cossée de Maulde, notamment producteur et transformateur de colza dans le Hainaut Maulde, BE, (8 mai 2015).
- Entretien avec Benoît Frison, producteur d'agneaux et volailles à Gibecq dans la province de Hainaut (05 Juillet 2015).
- Entretien avec Bernard Convié, notamment producteur et transformateur de lait de Jersey,) Villers-sur-Lesse en province de Namur (24 Juin 2015).
- Entretien avec Catherine Piette, spécialiste en nutrition et rapports alimentation-santé (05 août 2015).
- Entretien avec Dany Dubois, notamment producteur et transformateur de lait de Jersey à Grosage, province du Hainaut (29 Juin 2015).
- Entretien avec Elisabeth Simon, propriétaire du domaine de Graux (23 mai 2015).
- Entretien avec Jean-Philippe Vercaigne, Ir fromager à la Fromagerie de la Ferme Expérimentale et Pédagogique CARAH Asbl. Ath, BE, 2015.
- «Entretien avec Monsieur Walter Vandepitte, directeur 'Alimentation pour bétail' de la compagnie Dedobbeleer Mills.» Halle, 2015.
- Entretien avec Stephanie Manderon, Technicienne au Comité Interprofessionnel de la Volaille de Bresse (25 Juillet 2015).
- Entretien avec Vanessa Feller, notamment productrice de porcs en plein air à Tenneville en province de Luxembourg (23 Juillet 2015).
- Euvrard, Robin. *Michel Huchette, De l'endive aux légumes de plein champ bio*. Légumes Plein Champ BIO.
- Evreinoff, V. A. «Contribution à l'étude du cognassier.» *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée* 7 (1970): 269-298.

- Favier, J. C. «Composition du lait de vache - Lait de consommation.» *Cahier de nutrition et diététique*, 1985: 355-363.
- Fédération Régionale des Agrobiologistes de Bretagne. *Alimentation des volailles: équilibrer l'énergie et les protéines de sa ration*. Fédération Régionale des Agrobiologistes de Bretagne, 2013.
- Fernandez, Maria Luz, et Denise Webb. «The LDL to HDL cholesterol ratio as a valuable tool to evaluate coronary heart disease risk.» *Journal of the American College of Nutrition* 27, n° 1 (2008): 1-5.
- Filière des plantes médicinales biologiques du Québec. *L'ail, Guide de production sous régime biologique*. Québec, CA: Filière des plantes médicinales biologiques du Québec, 2010.
- Filière Wallonne Lait et Produits Laitiers. «Le marché du fromage en Belgique.» CRA-W, 2011.
- Fleurbaey, Christophe. *Cultiver le poireau de plein champ en agriculture biologique*. Légumes Plein Champ BIO, 2013.
- Food and Agriculture Organisation. *Truite arc-en-ciel - Alimentation naturelle et habitudes alimentaires*. <http://www.fao.org/fishery/affris/profil-des-especes/rainbow-trout/alimentation-naturelle-et-habitudes-alimentaires/fr/> (accès le juillet 9, 2015).
- Fortier, Jean-Martin. *Le jardinier-maraîcher. Manuel d'agriculture biologique sur petite surface*. Montréal: Ecosociété, 2012.
- Foster, G. D. , et al. «A randomized trial of a low-carbohydrate diet for obesity.» *The New England Journal of Medicine* 348 (2003): 2082-90.
- Frison, Benoît. *Rapport final (Expérimentation en autonomie alimentaire d'un élevage de volailles et un élevage de moutons)*. Gibecq, BE: Centre de Référence et d'Expérimentation, 2014.
- GAB/FRAB. «Les fiches Techniques du réseau GAB/FRAB, Artichaut.» *Fruits et Légumes*, 2010.
- . «Les fiches Techniques du réseau GAB/FRAB, Asperge.» *Fruits et Légumes*, 2014.
- Geels, Frank W. «Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes.» *Research Policy* 31, n° 8-9 (2002): 1257-1274.
- Gerrior, Shirley, Lisa Bente, et Hazel Hiza. *Nutrient content of the U.S. Food Supply, 1909-2000*. Home Economics Report n°55, Center for Nutrition Policy and Promotion, U.S. Department of Agriculture, 2002.
- Grieb, Paweł, et al. «Long-term consumption of a carbohydrate-restricted diet does not induce deleterious metabolic effects.» *Nutrition Research* 28 (2008): 825-833.
- Groupe national interprofessionnel des semences et plants. *Le calendrier de semis, repiquage et récolte pour les espèces potagères*. 2015. <http://www.gnis.fr/index/action/page/id/508> (accès le juillet 3, 2015).
- Guay, Jean-Herman. *Belgique - Population totale / Statistiques*. Université de Sherbrooke. 2015. <http://perspective.usherbrooke.ca/> (accès le août 05, 2015).
- Guégan, Sacha, Perrine Hervé-Gruyer, Charles Hervé-Gruyer, et François Léger. *Maraîchage biologique permaculturel et performance économique*. Rapport d'étape n°4, Le Bec Hellouin: Ferme Biologique du Bec Hellouin, 2014.
- Gustavsson, Jenny, Christel Cederberg, Ulf Sonesson, Robert van Otterdijk, et Alexandre Meybeck. *Global food losses and food waste*. Rome, IT: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- Haber, H. G., K. W. Heaton, D. Murphy, et L. F. Burroughs. «Depletion and disruption of dietary fibre: Effects on satiety, plasma-glucose, and serum-insulin.» *Lancet* 2 (1977): 679-682.
- Halweil, Brian. *Still no free lunch: Nutrient levels in U.S. food supply eroded by pursuit of high yields*. The Organic Center, 2007.
- Hammermeister, Andy, Kate Punnett, et Roxanne Beavers. *Flax as an alternative grain for organic production*. Interim Research Report, Truro, CA: Organic Agriculture Centre of Canada, 2006.

- Houlbert, Angélique. *La meilleure façon de manger*. 1ère Edition. Édité par Thierry Souccar Editions. Vergèze, FR: Marabout, 2008.
- Hu, Frank B., Joann E. Manson, et Walter C. Willett. «Types of dietary fat and risk of coronary heart disease, A critical review.» *Journal of the American College of Nutrition* 20, n° 1 (2001): 5-19.
- Hu, Tian, et al. «Effects of low-carbohydrate diets versus low-fat diets on metabolic risk factors: A meta-analysis of randomized controlled clinical trials.» *The American Journal of Epidemiology* 176 (2012): S44-S54.
- IBGE. *Alimentation et environnement - Calendrier des fruits et des légumes de saison*. Bruxelles: Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2010.
- Institut Scientifique de la Santé Publique. «La Viande, le Poisson, les Oeufs et les Produits de Substitution.» Dans *L'enquête de consommation alimentaire Belge*, 363-416. Institut Scientifique de la Santé Publique, 2004.
- Interfel. *Fruits et Légumes*. 24 Mai 2013. <http://www.lesfruitsetlegumesfrais.com/fruits-legumes> (accès le Mars 24, 2015).
- Interprofession des légumes en conserve et surgelés. *Economie*. 2011. <http://www.legumes-infos.com/les-bienfaits-des-legumes/economie.html> (accès le 06 25, 2015).
- Jarrell, W. M., et R. B. Beverly. *The dilution effect in plant nutrition studies*. Vol. 34, chez *Advances in Agronomy*, 197-224. Academic Press, 1982.
- Jenkins, D. J., A. R. Leeds, K. G. Alberti, T. M. Wolever, M. A. Gassulli, et T. D. Hockaday. «Unabsorbable carbohydrates and diabetes: Decreased post-prandial hyperglycemia.» *Lancet* 2 (1976): 172-174.
- Jenkins, David J., et al. «Dietary fibres, fibre analogues, and glucose tolerance: importance of viscosity.» *British Medical Journal* 1(6124) (Mai 1978): 1392-1394.
- Jenkins, David M., et al. «Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 34 (1981): 362-366.
- Keys, Ancel, et Willis Parlin. «Serum Cholesterol Response to Changes in Dietary Lipids.» *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1966: 175-181.
- Kontogianni, M. D., D. B. Panagiotakos, C. Pitsavos, C. Chrysoshoou, et C. Stefanadis. «Relationship between meat intake and the development of acute coronary syndromes: the CARDIO2000 case-control study.» *European Journal of Clinical Nutrition* 62 (2008): 171-177.
- Kortenkamp, A. «Ten years of mixing cocktails: A review of combination effects of endocrine-disrupting chemicals.» *Environmental Health Perspectives* 115, n° 1 (2007): 98-105.
- Kris-Etherton, Penny M., et Shaomei Yu. «Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins: human studies.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 65 (1997): 1624S-44S.
- Lambert, Manuel, Alain Peeters, et Elisabeth Simon. «A peri-urban farm collaborating with several micro-farms: An agroecological model for tomorrow's agriculture?» *Third Belgian Agroecology Meeting: Broadening Scopes on Food, Squeezing Urban Hinterlands*. Brussels, BE: BAM2014, 2014. 29-32.
- Lampkin, Nic, Mark Measures, et Susanne Padel. *2014 Organic Farm Management Handbook*. 10th. Newbury, UK: The Organic Research Center, 2014.
- Landers, Timothy F., Bevin Cohen, Thomas E. Wittum, et Elaine L. Larson. «A review of antibiotic use in food animals: Perspective, policy, and potential.» *Public Health Reports* 127, n° 1 (2012): 4-22.
- Leu, André. *The myths of safe pesticides*. Austin, TX: Acres U.S.A., 2014.
- Levine, Marvin J. *Pesticides: A toxic time bomb in our midst*. Westport, CT: Praeger Publishers, 2007.
- Liu, S., et W. C. Willett. «Dietary glycemic load and atherothrombotic risk.» *Current Atherosclerosis Reports* 4 (2002): 454-461.
- Ludwig, David S. «Dietary Glycemic Index and Obesity.» *The Journal of Nutrition*, 2000: 280-282.

- Ludwig, David S. «The Glycemic Index, Physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease.» *Journal of American Medical Association* 287 (Mai 2002): 2414-2423.
- Lustig, Robert H. *Fat chance, Beating the odds against sugar, processed food, obesity, and disease*. New York, US: Plume, Penguin Group, 2012.
- Mattson, F. H., et S. M. Grundy. «Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man.» *Journal of Lipid Research* 26 (1985): 194-202.
- Mazoyer, Marcel, et Laurence Roudart. *Histoire des agricultures du monde, Du néolithique à la crise contemporaine*. Éditions du Seuil, 2002.
- Mensink, Ronald P., et Martijn B. Katan. «Effect of a diet enriched with monounsaturated or polyunsaturated fatty acids on levels of low-density and high-density lipoprotein cholesterol in healthy women and men.» *The New England Journal of Medicine* 321 (1989): 436-441.
- Mensink, Ronald P., Peter L. Zock, Arnold D. M. Kester, et Martijn B. Katan. «Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials.» *American Society for Clinical Nutrition* 77, n° 5 (2003): 1146-1155.
- Merle, Aurélie, et Mathilde Piotrowski. «Consommer des produits alimentaires locaux: comment et pourquoi?» *Décisions Marketing* 67 (2012).
- Meyer, Christian, et Guillaume Duteurtre. «Equivalents lait et rendements en produits laitiers: modes de calculs et utilisation.» *Rev. Elev. Med. vét. Pays trop.*, 1998: 247-257.
- Minger, Denise. *Death by food pyramid: How shoddy science, sketchy politics and shady special interests have ruined our health*. Primal Nutrition, 2014.
- Nayet, Christel. *Produire des oeufs en bio*. Fiches Systèmes Agricoles, Dijaveu, FR: Chambre d'agriculture Rhône-Alpes, 2005.
- Nayet, Christel. *Produire des volailles de chair en bio*. Fiches Systèmes Agricoles, Divajeu, FR: Chambre d'agriculture Rhône-Alpes, 2005.
- Nestle, Marion. *Food politics*. University of California Press, 2002.
- Noel, Benoît, et Laurence Van Malder. *Les compagnons de la terre - Réinventer l'agriculture en Wallonie*. Liège, BE: Barricade ASBL, 2014.
- Parlement européen et Conseil de l'Union européenne. «RÈGLEMENT (CE) NO 396/2005 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 février 2005 concernant les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux d'origine végétale et animale et modifiant la directive 91/414/CEE du Conseil.» *Journal officiel de l'Union européenne*, 2005: 70/1-70/16.
- Pawlak, D. B., C. B. Ebbeling, et D. S. Ludwig. «Should obese patients be counselled to follow a low-glycaemic index diet? Yes.» *Obesity Reviews* 3 (2002): 235-243.
- Perret, Cécile. *Cultiver la carotte de plein champ en agriculture biologique: repères technico-économiques*. Légumes Plein Champ BIO, 2011.
- Ponnampalam, E. N., N. J. Mann, et A. J. Sinclair. «Effect of feeding systems on omega-3 fatty acids, conjugated linoleic acid and trans fatty acids in Australian beef cuts: Potential impact on human health.» *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 15, n° 1 (2006): 21-29.
- Rentmeesters, Julie. *Nourrir le population wallonne avec une agriculture biologique et locale: utopie ou réalité?* Bruxelles: Université Libre de Bruxelles, Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire, 2013.

- Ricard, F. «Essai d'estimation directe des différents éléments de la carcasse du poulet en vue d'apprécier son rendement en viande.» *Annales de Zootechnie*, 1 Janvier 1964: 355-366.
- Rioux, Romain. *Cultivars de rhubarbe rouge destinée à la transformation*. Québec, CA: Centre de Développement Bioalimentaire du Québec, 2009.
- Rolls, B. J., et E. A. Bell. «Dietary approaches to the treatment of obesity.» *Medical Clinics of North America* 84, n° 2 (2000): 401-418.
- Rolls, Barbara J., Elizabeth A. Bell, et Bethany A. Waugh. «Increasing the volume of a food by incorporating air affects satiety in men.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 72, n° 2 (2000): 361-368.
- Rombaut, Natacha. *Etude comparative de trois procédés d'extraction d'huile: aspects qualitatifs et quantitatifs: application aux graines de lin et aux pépins de raisin*. Thèse de doctorat, Compiègne, FR: Université de Technologie Compiègne, 2013.
- Ross, M. H., et G. Bras. «Dietary preference and diseases of age.» *Nature* 250, n° 263-265 (1974).
- s.n. «Le guide 2007 des fromages au lait cru: Les grandes familles technologiques.» *Profession fromager; Hors-série* 5 (2006): 6.
- Santarelli, Raphaëlle L., Fabrice Pierre, et Denis E. Corpet. «Processed meat and colorectal cancer: A review of epidemiologic and experimental evidence.» *Nutrition and Cancer* 60, n° 2 (2008): 131-144.
- Sellmeyer, D. E., K. L. Stone, A. Sebastian, et S. R. Cummings. «A high ratio of dietary animal to vegetable protein increases the rate of bone loss and the risk of fracture in postmenopausal women. Study of osteoporotic fractures research group.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 73, n° 1 (2001): 118-122.
- Service Romand de Vulgarisation Agricole. *La culture biologique des vergers haute tige*. FIBL/srva/ASPO, 2000.
- Servigne, Pablo. *Nourrir l'Europe en temps de crise*. Bruxelles, BE: Les Verts | Alliance Libre Européenne.
- Shai, Iris, et al. «Weight loss with a low-carbohydrate, mediterranean, or low-fat diet.» *The New England Journal of Medicine* 359, n° 3 (juillet 2008): 229-241.
- Simopoulos, A. P. «The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids.» *Biomed Pharmacother* 56 (2002): 365-379.
- Siri-Tarino, Patty W., Qi Sun, Frank B Hu, et Ronald M. Krauss. «Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 91 (2010): 535-546.
- Sluijs, Ivonne, Joline W. J. Beulens, Daphne L. van der A, Annemieke M. W. Spijkerman, Diederick E. Grobbee, et Yvonne T. van der Schouw. «Dietary intake of total, animal, and vegetable protein and risk of type II diabetes in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition.» *American Diabetes Association* 33, n° 1 (2010): 43-48.
- Smith-Spangler, Crystal, et al. «Are organic foods safer or healthier than conventional alternatives? A systematic review.» *Annals of Internal Medicine* 157, n° 5 (2012): 348-366.
- Sobal, Jeffery, Laura Kettel Khan, et Carole Bisogni. «A conceptual model of the food system and nutrition system.» *Social Science & Medicine* 47, n° 7 (1998): 853-863.
- Stern, L., et al. «The effects of low-carbohydrate versus conventional weight loss diets in severely obese adults: one-year follow-up of a randomized trial.» *Annals of Internal Medicine* 140, n° 10 (2004): 778-785.
- Talbott, Shawn M., et Kerry Hughes. *The health professional's guide to dietary supplements*. Philadelphia, US: Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- Thomas, David. «The mineral depletion of foods available to us as a nation (1940-2002): A review of the 6th Edition of McCance and Widdowson.» *Nutrition and Health* 19 (2007): 21-55.

- Thorez, Jean-Paul, et Brigitte Lapouge-Déjean. *Le guide du jardin BIO - Potager, verger, ornement*. Mends, FR: Terre vivante, 2009.
- Tixier-Boichard, Michèle, et al. «Valorisation des races anciennes de poulets: facteurs sociaux, technico-économiques, génétiques et réglementaires.» *Les Actes du BRG* (Bureau des Ressources Génétiques), n° 6 (2006): 495-520.
- Toussaint, Bernard, et Daniel Dehareng. *Les livrets de l'agriculture, La gestion des effluents d'élevage*. Jambes, BE: Ministère de la Région wallonne, Direction générale de l'Agriculture, 1996.
- U.S. Department of Agriculture. *National Nutrient Database for Standard Reference Release 27*. 2015. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search> (accès le Juillet 01, 2015).
- Vannetzel, Elise. *Cultiver la pomme de terre de plein champ en agriculture biologique: repères technico-économiques*. Légumes Plein Champ BIO, 2013.
- Verburgh, Kris. *De voedselzandloper, over afvallen en langer jong blijven*. Amsterdam: Uitgeverij Bert Bakker, 2012.
- VFC Relations Publiques: Label Rouge. «Vérités dévoilées et facettes méconnues du Label Rouge.» Dossier de presse, Levallois Perret, FR, 2010.
- Voisin, André. *Productivité de l'herbe: Réédition de l'ouvrage publié en 1957*. Paris, FR: France Agricole, 2001.
- Waeyaert, Nico. *Chiffres clés de l'agriculture, L'agriculture en belgique en chiffres*. Bruxelles, BE: Statistics Belgium, SPF Économie, 2015.
- Wahlqvist, M. L., E. G. Wilmshurst, C. R. Murton, et E. N. Richardson. «The effect of chain length on glucose absorption and the related metabolic response.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 31 (1978): 1998-2001.
- Walford, Roy. *Beyond the 120 year diet*. New York, US: Thunder's Mouth Press, 2000.
- Wavreille, J., et al. *Les livrets de l'Agriculture - Le porc plein air en Wallonie. De la naissance à la production d'une viande de qualité*. Namur: Ministère de la Région wallonne, Direction générale de l'Agriculture, 2004.
- «Planification des cultures - Planification des superficies de légumes nécessaires.» Dans *Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée*, de Anne Weill et Jean Duval. Montréal, CA: Equiterre, 2009.
- WHO/FAO Expert Consultation. *Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases*. Technical Report Series, Genève: WHO (Organisation Mondiale de la Santé), 2003.
- Willett, Walter C. «Is dietary fat a major determinant of body fat? » *The American Journal of Clinical Nutrition* 67, n° 3 (1998): 556S-562S.
- Willett, Walter C., et Meir J. Stampfer. «Rebuilding the food pyramid.» *Scientific American*, janvier 2003: 64-71.
- Williams, G. C., et R. M. Nesse. «The dawn of Darwinian medicine.» *The Quarterly Review of Biology* 66 (1991): 1-22.
- Woese, Katrin, Dirk Lange, Christian Boess, et Klaus Werner Bögl. «A Comparison of Organically and Conventionally Grown Foods—Results of a Review of the Relevant Literature.» *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74 (1997): 281-293.
- World Cancer Research Fund / American Institute for Cancer Research. *Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective*. Washington, DC: AICR, 2007.
- Wylie-Rosett, Judith, CJ Segal-Isaacson, et Adam Segal-Isaacson. «Carbohydrates and increases in obesity: Does the type of carbohydrates make a difference?» *Obesity Research* 12 (2004): 124-129.

Table des figures

Figure 1. Pyramide alimentaire des recommandations officielles belges (Devriese, 2006) ...	5
Figure 2. Valeurs moyennes d'IG de quelques aliments. Adapté de Atkinson et al., 2008. .	8
Figure 3. Pyramide alimentaire proposée par Houlbert (2008)	11
Figure 4. Schéma de synthèse de l'introduction	15
Figure 5. Organigramme de la démarche générale adoptée pour la réalisation de ce travail.	17
Figure 6. Définition des catégories d'aliments utilisées	18
Figure 7. Méthode de calcul des aliments au sein de leur catégorie. C désigne une catégorie, A désigne un aliment, P désigne une valeur de pondération. Les indices x et y désignent respectivement l'aliment et la catégorie considérées.	22
Figure 8. Exemple de calcul du nombre de portions sur la base de l'intervalle recommandé par Houlbert (2008).	24
Figure 9. Types de productions nécessaires à l'obtention des aliments constituant les paniers alimentaires	29
Figure 10. Liste des données récoltées chez les éleveurs et nécessaires à la modélisation des élevages.	32
Figure 11. Calcul de la surface nécessaire par arbre en fonction de l'espacement (E) en pré verger.....	34
Figure 12. Liste des aliments constitutifs des régimes composés. Les catégories d'aliments 'Viande', 'Poisson', 'Oeufs' et 'Charcuteries' ont été fusionnées par souci de lisibilité.	45
Figure 13. Saisonnalité de la production et de la disponibilité des légumes. Les barres grises indiquent les mois de disponibilité à la consommation, les barres jaunes indiquent les mois de récolte du légume.....	46
Figure 14. Saisonnalité de la production et de la disponibilité des fruits. Les barres grises indiquent les mois de disponibilité à la consommation, les barres oranges indiquent les mois de récolte du fruit. Les barres grises foncées indiquent que le fruit a du être transformé pour être conservé (séchage, mise en pot).	47
Figure 15. Saisonnalité de la production et de la disponibilité des légumineuses. Les barres grises indiquent les mois de disponibilité à la consommation, les barres brunes indiquent les mois de récolte de la légumineuse. Les flageolets et les pois peuvent être séchés, ce qui leur garantit une disponibilité toute l'année.	47
Figure 16. Quantité d'aliments (kg) par catégorie d'aliments pour chacun des deux régimes considérés. Les laitages et œufs sont respectivement exprimés en équivalents lait et en nombre de pièces.....	48
Figure 17. Distribution des apports caloriques par type de molécule et comparaison des régimes établis avec les recommandations officielles (Conseil Supérieur de la Santé 2009). ...	49

Figure 18. Apports en fibres, sucres et graisses saturées des deux régimes établis comparés aux apports observés et recommandés	50
Figure 19. Distribution de l'apport calorique par catégorie d'aliment pour les régimes belge et paléolithique établis.	51
Figure 20. Coefficients de transformation utilisés pour les aliments transformés. Les taux butyreux sont précisés entre parenthèses pour les produits laitiers	53
Figure 21. Distribution de la surface nécessaire par catégorie d'aliments pour la production de paniers alimentaires selon les régimes belge et paléolithique.	54
Figure 22. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production de légumes pour une personne.....	66
Figure 23. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production de fruits pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.	67
Figure 24. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production d'oléagineux pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.	67
Figure 25. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production des graisses pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.	67
Figure 26. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production des laitages pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.	68
Figure 27. Décomposition des surfaces nécessaires pour la production de viande pour une personne. Le nombre d'unités est détaillé dans la première colonne, la surface est calculée dans la deuxième colonne.	68
Figure 28. Rendements des activités de production comparés aux rendements de (Rentmeesters, 2013).....	55
Figure 29. Rendements des cultures de plein champ. Les rendements des légumes sont en tonnes de matière fraîche par ha.....	56
Figure 30. Production et dynamique du troupeau de l'élevage bovin laitier modélisé	57
Figure 31. Caractérisation d'une UE de troupeau bovin laitier. L'herbe et le méteil forment l'alimentation d'hiver.....	57
Figure 32. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau bovin laitier; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.	58
Figure 33. Production et dynamique du troupeau de l'élevage caprin laitier modélisé	58
Figure 34. Caractérisation d'une UE de troupeau caprin laitier.	59
Figure 35. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau bovin laitier; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.	59
Figure 36. Production et dynamique du troupeau de l'élevage bovin allaitant modélisé.....	59

Figure 37. Caractérisation d'une UE de troupeau bovin allaitant. Par défaut, les quantités sont exprimées en kg.	60
Figure 38. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau bovin allaitant; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.	60
Figure 39. Production et dynamique de troupeau de l'élevage ovin allaitant modélisé	61
Figure 40. Caractérisation d'une UE de troupeau ovin allaitant. L'herbe et le méteil forment l'alimentation d'hiver.....	61
Figure 41. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau ovin allaitant ; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.	62
Figure 42. Production et dynamique du troupeau de l'élevage porcin allaitant modélisé. La prolificité est donnée en nombre de porcelets sevrés, des pertes étant fréquentes jusqu'à ce stade.....	62
Figure 43. Formulations et quantités des aliments nécessaires à l'élevage porcin	63
Figure 44. Surfaces nécessaires à une UE de troupeau ovin allaitant ; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.	63
Figure 45. Production et dynamique du troupeau de l'élevage de poules mixtes	64
Figure 46. Gestion des parcours et succession des lots de volailles au long de l'année.	64
Figure 47. Formulations et quantités des aliments utilisés pour l'élevage avicole mixte	65
Figure 48. Surfaces nécessaires à une UE de poule pondeuse et de volaille chair ; proportion des surfaces herbeuses et cultivées.....	65
Figure 49. Assolement du système de micro-fermes.....	69
Figure 50. Bilan des matières premières et des sous-produits du système	70
Figure 51. Assolement des grandes cultures	71

Annexes

Annexe 1

A peri-urban farm collaborating with several micro-farms: an agroecological model for tomorrow' s agriculture?

Manu Lambert¹, Alain Peeters² and Elisabeth Simon³

⁽¹⁾ ULB, Research Unit of landscape ecology and plant production systems ⁽²⁾ RHEA Research Centre and ⁽³⁾ Graux Estate

Keywords: Agroecology in action, linking cities with their hinterland, citizen/farmer relationships, job creation, collaborative economy, healthy food, paradigm change.

Summary

The paper describes the development of an agroecological experience or experiment based on a participatory approach in a peri-urban context in Tournai (Belgium). It illustrates how a conventional arable farm of about 100 ha (Graux Estate) adopted a set of agroecological techniques, diversified its practices and its productions, and is creating jobs by leaving room for the establishment of micro-farms on the estate. The estate evolved from conventional to conservation agriculture, then to organic farming and finally to agroecology. Production is now based on a maximum use of biodiversity, in all aspects from soil to system level, for providing a large range of ecosystem services increasing productivity and resilience of the system. The project does not only develop innovative technical solutions, but also social and societal goals.

In addition to the adoption of **farming practices** prescribed by official organic specifications, a set of **innovative techniques** were adopted or are about to be implemented. All aspects of the farming system are based on a maximum use of biodiversity from soil food webs to the general structure of the farm. The objective is to design and develop a soil and self-sufficiency minded agriculture. Industrial crops such as sugar beet were abandoned as well as monocultures. In order to restore soil life, and especially soil fungi, earthworms and carabid beetles, tillage was abandoned in 2014. Temporary grasslands and living mulches were introduced for fixing nitrogen, controlling weeds and diseases, storing carbon, feeding soil life and improving soil structure. Living mulches sown after crop harvest in summer are rolled in October or March before winter or spring crops respectively. New crops are sown through this mulch carpet with a disk seeder. Long crop rotations were put in place; about a half of the cropping pattern is occupied by complex mixtures of temporary grasslands. Soil fertility is also sustained by systematic use of farmyard manure compost. Ramial Chipped Wood (RCW) (Lemieux & Lapointe 1986) will soon be applied in the perspective of restoring soil fungi populations. In general terms, farming practices aim at collaborating with microbes for soil fertility and disease control: efficient strains of *Rhizobium* were introduced, bacteria and fungi from diverse types of compost will be regularly extracted by the preparation of compost tea and spread on soil and crop foliage (Ingham 2005). A dense network of narrow herbaceous strips has been implemented. They divide former plots in strips of about 60 m wide. This ecological infrastructure is designed for ensuring high population levels of natural enemies of crop pests and diseases (Wright *et al.* 2013). Modern dwarf cultivars of cereals

are abandoned. They are not competitive toward weeds and their rooting system is supposed to be too shallow for optimum water and nutrient uptake. New ideotypes of crops are adopted, including ancient cultivars and those produced recently by participatory breeding (Witcombe *et al.* 1996). Rustic livestock breeds are introduced for diversifying productions and income sources, and improving nutrient cycles (Wezel & Peeters 2014). Animals will be mainly or exclusively fed on grass. Mixed grazing, tannin-rich forage plants and long-cycle rotational grazing are the main tools of the strategy of internal parasite control.

The **societal component** of the project consists in providing balanced and healthy food to local households and reconciling them with farmers. It aims to changing the paradigm of intensive agriculture by providing a large selection of food to local citizens instead of producing a small number of specialized crops or animal products for agrofood industries. The estate and the associated micro-farms will provide food in the form of 'baskets' (Commonly Supported Agriculture) (Cone & Myhre 2000), or on a web site, or by direct selling of products. The range of food products will correspond to a balanced diet described in the food guide pyramid of Houlbert (2008) that is itself based on the guidelines of the Paleolithic regime (Konner & Eaton 2010). Training on agroecology will be provided for different types of audience. This action will be based on three principles: (i) pleasant and playful activities inspired by grape-harvest, (ii) bringing together people with similar values and objectives for developing social networks, and (iii) technical training on agroecological techniques.

The project has also a **social component**. Entrepreneurs have the opportunity to develop viable micro-farms that collaborate with each other and with the estate. A dairy goat farm is already in place. Other micro-farms will be installed in the future such as market gardening, fruit production and processing as well as diverse livestock farms for high quality meat and dairy products. This collaborative economy type (Henton & Melville 1997) wants to optimise synergies for nutrient cycling, production, marketing and promotion of products and definition of strategies for instance. A cooperative will include all farm activities and a new legal structure. This structure is under development with the support of the NGO 'Terre en Vue' (<http://www.terre-en-vue.be/>) and a notary specialised in rural legislation. It will be completed by an environmental easement.

The Estate is a **living laboratory**. It is based on a farmer participatory research and is clearly involved in action (Peeters *et al.* 2013). This holistic approach is sustained by analytical researches developed by several teams on specific topics. Action and research are thus progressing in parallel. Action is oriented by our present knowledge of biological, economic and social processes. Knowledge gaps are filled up by expert knowledge and common sense, and hypothesis-supporting actions are tested by research. This choice is preferred to long-lasting researches followed by subsequent implementations in farm conditions. The size of the Estate and the fact that all plots are grouped in one block constitute a rare opportunity for researches at all scales, from systemic approaches to the ecology of insect species for instance. The project benefits from the support of neighbouring farmers. Their technical knowledge is an asset for reaching the objectives. The experimental farm of the Graux Estate is open to all stakeholders (e.g. researchers, NGO, farmer advisory service) who are ready to bring their expertise to the success of the process.

References

- Cone C.A. and Myhre A. (2000) Community-Supported Agriculture: A Sustainable Alternative to Industrial Agriculture? *Human Organization* 59, 2: 187-197.
- Henton D. and Melville J.G. (1997) *Grassroots Leaders for a New Economy: How Civic Entrepreneurs Are Building Prosperous Communities*. Jossey-Bass Ed.: 244 pp.
- Houlbert A. (Dir.) (2008) *La meilleure façon de manger*. Thierry Souccar Editions: 352 p.
- Ingham E.R. (2005) *The Compost Tea Brewing Manual (Fifth Edition)*. Soil Foodweb Incorporated: 79 pp.
- Konner M. and S.B. Eaton (2010) Paleolithic Nutrition, Twenty-Five Years Later. *Nutrition in Clinical Practice* 25, 6: 594-602.
- Lemieux G. et Lapointe R.A. (1986) *Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol*. Laval University, Quebec, Canada: 17 pp.
- Peeters A., Dendoncker N. and Jacobs S. (2013) Enhancing ecosystem services in Belgian agriculture through agroecology: a vision for a farming with a future. Chapter 22. In 'Ecosystem Services. Global Issues, Local Practices' Jacobs S., Dendoncker N. and Keune H. (Eds). Elsevier: 285-304.
- Wezel A. and Peeters A. (2014) Agroecology and herbivore farming systems – principles and practices. In 'Forage resources and ecosystem services provided by Mountain and Mediterranean grasslands and rangelands' Baumont R., Carrère P., Jouven M., Lombardi G., López-Francos A., Martin B., Peeters A. and Porqueddu C. (ed.). *Options Méditerranéennes: Série A, Séminaires Méditerranéens* 109, Zaragoza, CIHEAM: 753-767.
- Witcombe J.R., Joshi A., Joshi K.D. and Sthapit B.R. (1996) Farmer Participatory Crop Improvement. I. Varietal Selection and Breeding Methods and Their Impact on Biodiversity. *Experimental Agriculture* 32, 4: 445-460.
- Wright H.L., Ashpole J.E., Dicks L.V., Hutchison J. and Sutherland W.J. (2013) *Enhancing Natural Pest Control as an Ecosystem Service: Evidence for the Effects of Selected Actions*. University of Cambridge, Cambridge: 106 pp.

Annexe 2

Quantités par catégorie et quantités de portions selon Houlbert (2008). Les quantités de portions réellement utilisées sont indiquées entre parenthèses si différentes des recommandations du livre.

		Régime belge	Régime paleo.	Qté de portions par semaine	
	Poids par portion	Quantité annuelle (kg)	Quantité annuelle (kg)	Min	Max
Légumes	0,15	115,39	242,05	21,00 (24)	49,00 (56)
Légumineuses	0,17	1,95	4,57		
Fruits	0,15	63,66	170,90	14,00 (11)	35,00 (28)
Aliments céréaliers	0,05	68,12	43,34	0,00	42,00
Oléagineux	0,08	2,00	30,96	3,50	14,00
Graisse	0,01	19,18	12,04	14,00	28,00
Laitages (éq. Lait)	0,20	81,54	54,51	0,00	14,00
Viande	0,14	55,81	21,62	0,00	4,00
Œufs (pièce)	1,00	157,56	250,76	2,00	5,00
Poisson	0,12	5,98	5,28	3,00	4,00
Charcuterie	0,04	11,76	2,34	0,00	3,00
Aliments sucrés	0,05	19,72	2,92	0,00	3,00
	Pdt	27,50	0,97	Portion (X)	0,37
	Beurre	1,87	12,28	Part de légumes	0,98

Annexe 3

Valeurs de pondération et valeurs nutritionnelles des aliments.

	Pond.	Kcal/100g	gProt/100g	gLip/100g	gGluc/100g	gFib/100g	gSug/100g	gLipSat/100g
Ail	0,80	149,00	6,36	0,50	33,06	2,10	1,00	0,09
Artichaut	0,80	47,00	3,27	0,15	10,51	5,40	0,99	0,04
Asperge	0,40	20,00	2,20	0,12	3,88	2,10	1,88	0,04
Aubergine	0,80	25,00	0,98	0,18	5,88	3,00	3,53	0,08
Bette	0,40	19,00	1,80	0,20	3,74	1,60	1,10	0,03
Betterave rouge	0,80	43,00	1,61	0,17	9,56	2,80	6,76	0,03
Brocoli	0,50	34,00	2,82	0,37	6,64	2,60	1,70	0,04
Carotte	3,91	41,00	0,93	0,24	9,58	2,80	4,74	0,04
Celeri branche	0,40	16,00	0,69	0,17	2,97	1,60	1,34	0,04
Celeri rave	0,60	42,00	1,50	0,30	9,20	1,80	1,60	0,08
Cerfeuil	0,40	33,18	3,25	0,55	6,87			0,02
Champignon	0,80	22,00	3,09	0,34	3,26	1,00	1,98	0,05
Chicon	2,61	17,00	0,90	0,10	4,00	3,10	0,25	0,02
Chicoree	2,17	23,00	1,70	0,30	4,70	4,00	0,70	0,07
Chou blanc	0,53	25,00	1,28	0,10	5,80	2,50	3,20	0,03

Chou chinois	0,27	16,00	1,20	0,20	3,23	1,00	1,18	0,04
Chou de Bruxelles	0,47	43,00	3,38	0,30	8,95	3,80	2,20	0,06
Chou fleur	0,40	27,00	2,05	0,30	5,32	2,00	1,91	0,14
Chou frise	1,00	49,00	4,28	0,93	8,75			0,09
Chou rave	0,87	27,00	1,70	0,10	6,20	3,60	2,60	0,01
Chou rouge	0,53	25,00	1,28	0,10	5,80	2,10	3,83	0,03
Chou vert	0,53	25,00	1,28	0,10	5,80	2,50	3,20	0,03
Concombre	1,74	15,00	0,65	0,11	3,63	0,50	1,67	0,04
Courgette	2,17	17,00	1,21	0,32	3,11	1,00	2,50	0,08
Cresson	0,40	11,00	2,30	0,10	1,29			0,03
Echalote	0,38	72,00	2,50	0,10	16,80	3,20	7,87	0,02
Epinard	0,30	23,00	2,86	0,39	3,63	2,20	0,42	0,06
Fenouil	0,35	31,00	1,24	0,20	7,30	3,10	3,93	0,09
Mache	0,26	21,00	2,00	0,40	3,60			
Maïs	0,20	86,00	3,22	1,18	19,02	2,70	3,22	0,18
Navet	0,55	28,00	0,90	0,10	6,43	1,80	3,80	0,01
Oignon	2,17	40,00	1,10	0,10	9,34	1,70	4,24	0,04
Panais	0,50	75,00	1,20	0,30	17,99	4,90	4,80	0,05
Pleurote	0,80	33,00	3,31	0,41	6,09	2,30	1,11	0,06
Poireau	1,30	61,00	1,50	0,30	14,15	1,80	3,90	0,04
Poivron	1,60	31,00	0,99	0,30	6,03	2,10	4,20	0,03
Pomme de terre	0,97/27,5	77,00	2,02	0,09	17,47	2,20	0,78	0,03
Potimarron	0,47	26,00	1,00	0,10	6,50	0,50	2,76	0,05
Potiron	0,47	26,00	1,00	0,10	6,50	0,50	2,76	0,05
Pourpier	0,27	20,00	2,03	0,36	3,39			
Radis noir	0,47	16,00	0,68	0,10	3,40	1,60	1,86	0,03
Radis rose	0,65	16,00	0,68	0,10	3,40	1,60	1,86	0,03
Rhubarbe	0,27	21,00	0,90	0,20	4,54	1,80	1,10	0,05
Rutabaga	0,53	37,00	1,08	0,16	8,62	2,30	4,46	0,03
Laitue	4,20	15,00	1,36	0,15	2,87	1,30	0,78	0,02
Salsifis	0,33	82,00	3,30	0,20	18,60	3,30		
Tetragone	0,27	23,00	2,86	0,39	3,63	2,20	0,42	0,06
Tomate	6,09	18,00	0,88	0,20	3,89	1,20	2,63	0,03
Topinambour	0,40	73,00	2,00	0,01	17,44	1,60	9,60	0,00
Cassis	0,20	63,00	1,40	0,41	15,38	0,03		
Cerise	0,50	63,00	1,06	0,20	16,01	2,10	12,82	0,04
Coing	0,10	57,00	0,40	0,10	15,30	1,90	0,01	
Fraise	1,30	32,00	0,67	0,30	7,68	2,00	4,89	0,02
Framboise	0,20	52,00	1,20	0,65	11,94	6,50	4,42	0,02
Groseille à grappes	0,20	56,00	1,40	0,20	13,80	4,30	7,37	0,02
Groseille à maquereaux	0,20	44,00	0,88	0,58	10,18	4,30		0,04
Melon	2,61							
Mure	0,20	43,00	1,39	0,49	9,61	5,30	4,88	0,01
Myrtille	0,20	57,00	0,74	0,33	14,49	2,40	9,96	0,03
Poire	2,17	57,00	0,36	0,14	15,23	3,10	9,75	0,02
Pomme	6,96	52,00	0,26	0,17	13,81	2,40	10,39	0,03

Prune	0,80	46,00	0,70	0,28	11,42	1,40	9,92	0,02
Raisin	1,74	57,00	0,81	0,47	13,93	3,90		
Fèves	0,45	341,00	26,12	1,53	58,29	25,00	5,70	0,25
Flageolets	0,45	333,00	23,58	0,83	60,01	24,90	2,23	0,12
Haricots	0,80	31,00	1,83	0,22	6,97	2,70	3,26	0,05
Petits pois	0,45	352,00	23,82	1,16	63,74	25,50	8,00	0,16
Pois secs	0,45	42,00	2,80	63,74	25,50	2,60	4,00	0,04
Pain de froment	14,68	252,00	12,45	3,50	42,71	6,00	4,34	0,72
Pain d'épeautre	14,68	259,00	10,37	1,60	49,86	7,35		
Pain de seigle	14,68	166,67	5,56	1,39	34,72	8,33	0,00	0,00
Flocons d'avoine	1,72	371,00	13,70	6,87	68,18	9,40	1,42	1,11
Pâtes d'épeautre	4,40	338,00	14,57	2,43	70,19	10,70	6,82	0,41
Nouilles de froment	4,40	332,00	9,61	1,95	74,48	3,90	13,10	1,02
Beurre	12,28	717,00	0,85	81,11	0,06	0,00	0,06	51,37
Beurre	0,00	717,00	0,85	81,11	0,06	0,00	0,06	51,37
Beurre	0,00	717,00	0,85	81,11	0,06	0,00	0,06	51,37
Huile de colza	17,31	884,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	7,37
Huile de lin		884,00	0,11	99,98	0,00	0,00	0,00	8,98
Huile de pépin de raisin		884,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	9,60
Huile de noix		884,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	9,10
Noisettes	1,00	628,00	14,95	60,75	16,70	9,70	4,34	4,46
Noix	1,00	619,00	24,06	59,33	9,58	6,80	1,10	3,48
Graines de lin	0,00	534,00	18,29	42,16	28,88	27,30	1,55	3,66
Graines de courge	0,00	559,00	30,23	49,05	10,71	6,00	1,40	8,66
Lait demi-écrémé	26,26	50,00	3,30	1,55	4,80	0,00	5,06	1,26
Yaourt (V)	18,29	63,00	5,25	1,55	7,04	0,00	7,04	1,00
Fromage frais (V)	28,96	299,00	18,10	23,82	2,98	0,00	2,32	12,94
Fromage pâte molle (V)	21,24	334,00	21,60	27,13	0,78	0,00	0,78	17,00
Fromage pâte pressée non cuite (V)	21,24	356,00	24,94	27,44	2,22	0,00	2,22	17,61
Fromage pâte pressée cuite (V)	21,24	392,00	35,75	25,83	3,22	0,00	0,80	16,41
Crème (V)	12,28	345,00	2,05	37,00	2,79	0,00	2,79	23,03

Lait demi-écrémé (Ch)	0,00	69,00	4,00	4,00	4,00	0,00	4,00	3,00
Yaourt (Ch)	0,00	69,00	4,00	4,00	4,00	0,00	4,00	3,00
Fromage frais (Ch)	28,96	264,00	18,52	21,08	0,00	0,00	0,00	14,58
Fromage pâte molle (Ch)	21,24	364,00	21,58	29,84	0,12	0,00	0,12	20,64
Fromage pâte pressée non cuite (Ch)	21,24	364,00	21,58	29,84	0,12	0,00	0,12	20,64
Fromage pâte pressée cuite (Ch)	21,24	452,00	30,52	35,59	2,17	0,00	2,17	24,61
Crème (Ch)	0,00	345,00	2,05	37,00	2,79	0,00	2,79	23,03
Truite	1,00	190,00	26,63	8,47	0,00	0,00	0,00	1,47
Volaille	23,83	222,00	18,33	15,97	0,00	0,00	0,00	3,01
Bovin viandeux	18,09	185,00	20,71	10,43	0,00	0,00	0,00	6,93
Porc	40,20	271,00	27,34	17,04	0,00	0,00	0,00	6,17
Ovin/Caprin	1,62	292,00	24,32	20,77	0,00	0,00	0,00	8,76
Oeufs		143,00	12,51	9,47	0,71	0,00	0,37	3,11
Sucres et confiseries	28,00	427,67	2,83	14,17	78,47	1,83	59,96	7,52
Gateaux et biscuits	26,00	465,50	5,73	19,20	68,12	1,05	27,31	9,36

Annexe 4

Rendements utilisés pour les légumes et les fruits.

Légumes	kg/m2	Suite	kg/m2	Suite	kg/m2
Ail	0,50	Chou rave	3,00	Pleurote	0,70
Artichaut	0,70	Chou rouge	1,50	Poireau	2,00
Asperge	0,35	Chou vert	1,50	Poivron	4,00
Aubergine	4,00	Concombre	12,00	Pomme de terre	3,00
Bette	8,00	Courgette	5,00	Potimarron	2,50
Betterave rouge	2,50	Cresson	1,00	Potiron	2,50
Brocoli	0,60	Echalote	1,20	Radis noir	1,00
Carotte	5,00	Epinard	2,00	Radis rose	1,40
Celeri branche	4,00	Fenouil	3,50	Rhubarbe	1,70
Celeri rave	2,50	Fèves	0,27	Rutabaga	2,00
Champignon	0,70	Flageolets	0,60	Laitue	7,00
Chicon	1,20	Haricots	1,00	Salsifis	2,00
Chicoree	4,00	Mache	1,20	Scorsonere	2,00
Chou blanc	1,50	Maïs	9,00	Tetragone	2,00
Chou chinois	2,00	Navet	2,00	Tomate	7,00
Chou de Bruxelles	1,65	Oignon	2,00	Topinambour	2,50
Chou fleur	0,80	Panais	3,00		
Chou frise	1,92	Petits pois	0,30		

Fruits	Rendement (kg/unite)	Type de culture	Unité
Cassis	0,40	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire
Cerise	150,00	Pré verger	Arbre 12 m
Coing	100,00	Pré verger	Arbre 10 m
Fraise	1,20	Maraîchage	m2
Framboise	0,40	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire
Groseille à grappes	0,63	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire
Groseille à maquereaux	1,00	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire
Mure	1,43	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire
Myrtille	1,00	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire
Poire	300,00	Pré verger	Arbre 10 m
Pomme	250,00	Pré verger	Arbre 12 m
Prune	120,00	Pré verger	Arbre 12 m
Raisin	3,50	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire

Annexe 5

Détail des apports en kcal, protéines, lipides et glucides par jour pour les deux régimes.

	kcal/jour		gProt/jour		gLip/jour		gGluc/jour	
	Régime belge	Régime paleo.	Régime belge	Régime paleo.	Régime belge	Régime paleo.	Régime belge	Régime paleo.
Légumes	161,03	270,15	5,74	13,06	0,54	1,73	35,94	59,09
Légumineuses	18,27	50,25	1,31	3,60	0,06	0,17	3,24	8,92
Fruits	89,92	196,81	1,03	2,25	0,45	0,99	23,01	50,36
Céréales	464,21	316,77	18,75	12,79	4,34	2,96	89,95	61,38
Oléagineux	34,26	550,71	1,07	17,23	3,30	53,03	0,72	11,61
Graisse	457,11	274,71	0,04	0,12	51,71	31,08	0,00	0,01
Laitages (équ. Lait)	214,36	153,71	13,88	9,95	15,83	11,35	3,64	2,61
Viande	211,90	147,70	20,65	14,40	13,64	9,51	0,00	0,00
Œufs (pièce)	14,35	63,29	1,26	5,54	0,95	4,19	0,07	0,31
Poisson	124,75	27,78	17,49	3,89	5,56	1,24	0,00	0,00
Charcuterie	74,31	15,83	5,69	1,21	5,46	1,16	0,60	0,13
Aliments sucrés	241,56	38,37	2,29	0,36	8,99	1,43	39,81	6,32

Détail des apports en fibres, sucres simples et graisses saturées par jour pour les deux régimes

	gFib/jour		gSuc/jour		gGrsat/jour	
	Régime belge	Régime paleo.	Régime belge	Régime paleo.	Régime belge	Régime paleo.
Légumes	6,62	15,93	5,55	18,92	0,11	0,32
Légumineuses	1,34	3,69	0,28	0,78	0,01	0,03
Fruits	4,68	10,25	13,38	29,30	0,04	0,08
Céréales	13,68	9,33	5,28	3,60	0,64	0,44
Oléagineux	0,45	7,29	0,15	2,40	0,22	3,51
Graisse	0,00	0,00	0,00	0,01	6,14	8,64
Laitages (équ. Lait)	0,00	0,00	3,52	2,52	10,22	7,33
Viande	0,00	0,00	0,00	0,00	4,86	3,39
Œufs (pièce)	0,00	0,00	0,04	0,16	0,31	1,38
Poisson	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,22
Charcuterie	0,00	0,00	0,00	0,00	1,83	0,39
Aliments sucrés	0,79	0,13	23,97	3,81	4,55	0,72

Annexe 6

Compositions nutritionnelles des aliments des monogastriques.

	EMA		Protéine s brutes (%)	LYS dig. %	MET dig. %	TRP dig. %	Matières grasses %		Cell. brute %
	min.	max.	max.	min.	min.	min.	min	max.	max.
Poulette 0 - 6 sem.	2750	2850	21,00	0,85	0,32		2,00	5,00	5,00
	2733		18,56	0,73	0,31		2,45		6,67
Poulette 7 - 21 sem.	2600	2800	16,00	0,62	0,24		2,00	7,00	7,00
	2816		13,75	0,59	0,21	0,11	4,19		3,95
Pondeuse < 42 sem.	2700	2900	18,00	0,60	0,28	0,14	4,00	7,00	7,00
	2801		14,03	0,54	0,25	0,11	5,64		4,30
Pondeuse > 42 sem.	2650	2750	18,00	0,55	0,25	0,14	4,00	7,00	7,00
	2801		14,03	0,54	0,25	0,11	5,64		4,30
Croissance -finition (abattage précoce)	2800	2900	19,00	0,76	0,30		2,00	7,00	
Finition (abattage tardif)	2700,0 0	2800,0 0	16,00	0,65	0,25		2,00	7,00	
	3068,75		11,30	0,41	0,20	0,09	2,94		1,98

	MJ / kg		MAT %		Lysine dig. g/ kg		CB %	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Porcelets	9,00	10,00	18,00	19,00	10,50	11,50	3,00	4,00
	10,07		18,98		10,51		3,98	
Croissance - lactation	9,00	10,50	15,00	16,00	7,00	8,00	4,00	6,00
	9,78		15,28		7,05		5,32	
Finition - Gestation	8,50	9,50	14,00	15,00	5,50	6,50	5,00	6,00
	9,64		14,54		6,50		5,98	

Annexe 7

Les calculs sont explicités dans le cadre. $A_{x,y}$ correspond aux valeurs calculées tel qu'illustré dans le Tableau 3.

	Aliments produisibles en BE	Nb occ.	Pond.	Quantité/ semaine	kg/pers./an		Matière première	Ratio de pertes	Coeff. de transfo.	Qté ann. Mat.prem.	Méthode culturelle	Unité	Rendement (kg/unité)	Unités nec./pers.
					B					D			E	F
	Légumes frais			$A_{x,y}$	= 52.A			C	D	= B.C.D				= D/E
J	Ail	12,00	0,07	0,150	0,65	Ail		1,22	1,00	0,80	Grande culture	m²	0,50	1,59
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,165	0,72	Betterave rouge		1,22	1,00	0,87	Maraîchage	m²	2,50	0,35
	Carotte	10,00	0,36	0,807	3,51	Carotte		1,22	1,00	4,28	Grande culture	m²	5,00	0,86
	Celeri rave	8,00	0,06	0,141	0,61	Celeri rave		1,22	1,00	0,75	Maraîchage	m²	2,50	0,30
	Champignon	12,00	0,07	0,150	0,65	Paille		1,22	1,43	1,14	Culture sur paille	kg	0,70	1,62
	Chicon	6,00	0,33	0,734	3,19	Chicon		1,22	1,00	3,89	Grande culture	m²	1,20	3,24
	Chou blanc	8,00	0,06	0,125	0,54	Chou blanc		1,22	1,00	0,66	Maraîchage	m²	1,50	0,44
	Chou de Bruxelles	7,00	0,05	0,119	0,52	Chou de Bruxelles		1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	1,65	0,38
	Chou frise	8,00	0,10	0,234	1,02	Chou frise		1,22	1,00	1,24	Maraîchage	m²	1,92	0,65
	Chou rave	9,00	0,08	0,190	0,83	Chou rave		1,22	1,00	1,01	Maraîchage	m²	3,00	0,34
	Chou rouge	8,00	0,06	0,125	0,54	Chou rouge		1,22	1,00	0,66	Maraîchage	m²	1,50	0,44
	Chou vert	8,00	0,06	0,125	0,54	Chou vert		1,22	1,00	0,66	Maraîchage	m²	1,50	0,44
	Cresson	6,00	0,05	0,112	0,49	Cresson		1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	1,00	0,60
	Echalote	12,00	0,03	0,071	0,31	Echalote		1,22	1,00	0,38	Maraîchage	m²	1,20	0,31
	Mache	6,00	0,03	0,073	0,32	Mache		1,22	1,00	0,39	Maraîchage	m²	1,20	0,32
	Navet	10,00	0,05	0,113	0,49	Navet		1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	2,00	0,30
	Oignon	9,00	0,21	0,475	2,07	Oignon		1,22	1,00	2,52	Grande culture	m²	2,00	1,26
	Panais	8,00	0,05	0,117	0,51	Panais		1,22	1,00	0,62	Maraîchage	m²	3,00	0,21
	Pleurote	12,00	0,07	0,150	0,65	Paille		1,22	1,43	1,14	Culture sur paille	kg	0,70	1,62
	Poireau	11,00	0,11	0,256	1,11	Poireau		1,22	1,00	1,36	Grande culture	m²	2,00	0,68
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,190	0,83	Pomme de terre		1,22	1,00	1,01	Grande culture	m²	1,80	0,56
	Potimarron	7,00	0,05	0,119	0,52	Potimarron		1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	2,50	0,25
	Potiron	7,00	0,05	0,119	0,52	Potiron		1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	2,50	0,25
	Radis noir	7,00	0,05	0,119	0,52	Radis noir		1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	1,00	0,63
	Rutabaga	8,00	0,06	0,125	0,54	Rutabaga		1,22	1,00	0,66	Maraîchage	m²	2,00	0,33
	Salsifis	5,00	0,05	0,106	0,46	Salsifis		1,22	1,00	0,56	Maraîchage	m²	2,00	0,28
	Topinambour	6,00	0,05	0,112	0,49	Topinambour		1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	2,50	0,24
								1,22						
F	Ail	12,00	0,07	0,15	0,65	Ail		1,22	1,00	0,80	Grande culture	m²	0,50	1,59
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,16	0,72	Betterave rouge		1,22	1,00	0,87	Maraîchage	m²	2,50	0,35
	Carotte	10,00	0,36	0,81	3,51	Carotte		1,22	1,00	4,28	Grande culture	m²	5,00	0,86

	Celeri rave	8,00	0,06	0,14	0,61	Celeri rave	1,22	1,00	0,75	Maraîchage	m²	2,50	0,30
	Champignon	12,00	0,07	0,15	0,65	Paille	1,22	1,43	1,14	Culture sur paille	paille (kg)	0,70	1,62
	Chicon	6,00	0,33	0,73	3,19	Chicon	1,22	1,00	3,89	Grande culture	m²	1,20	3,24
	Chou blanc	8,00	0,06	0,12	0,54	Chou blanc	1,22	1,00	0,66	Maraîchage	m²	1,50	0,44
	Chou de Bruxelles	7,00	0,05	0,12	0,52	Chou de Bruxelles	1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	1,65	0,38
	Chou frise	8,00	0,10	0,23	1,02	Chou frise	1,22	1,00	1,24	Maraîchage	m²	1,92	0,65
	Chou rave	9,00	0,08	0,19	0,83	Chou rave	1,22	1,00	1,01	Maraîchage	m²	3,00	0,34
	Chou rouge	8,00	0,06	0,12	0,54	Chou rouge	1,22	1,00	0,66	Maraîchage	m²	1,50	0,44
	Chou vert	8,00	0,06	0,12	0,54	Chou vert	1,22	1,00	0,66	Maraîchage	m²	1,50	0,44
	Cresson	6,00	0,05	0,11	0,49	Cresson	1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	1,00	0,60
	Echalote	12,00	0,03	0,07	0,31	Echalote	1,22	1,00	0,38	Maraîchage	m²	1,20	0,31
	Mache	6,00	0,03	0,07	0,32	Mache	1,22	1,00	0,39	Maraîchage	m²	1,20	0,32
	Navet	10,00	0,05	0,11	0,49	Navet	1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	2,00	0,30
	Oignon	9,00	0,21	0,48	2,07	Oignon	1,22	1,00	2,52	Grande culture	m²	2,00	1,26
	Panais	8,00	0,05	0,12	0,51	Panais	1,22	1,00	0,62	Maraîchage	m²	3,00	0,21
	Pleurote	12,00	0,07	0,15	0,65	Paille	1,22	1,43	1,14	Culture sur paille	paille (kg)	0,70	1,62
	Poireau	11,00	0,11	0,26	1,11	Poireau	1,22	1,00	1,36	Grande culture	m²	2,00	0,68
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,19	0,83	Pomme de terre	1,22	1,00	1,01	Grande culture	m2	1,80	0,56
	Potimarron	7,00	0,05	0,12	0,52	Potimarron	1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	2,50	0,25
	Potiron	7,00	0,05	0,12	0,52	Potiron	1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	2,50	0,25
	Radis noir	7,00	0,05	0,12	0,52	Radis noir	1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	1,00	0,63
	Rutabaga	8,00	0,06	0,12	0,54	Rutabaga	1,22	1,00	0,66	Maraîchage	m²	2,00	0,33
	Salsifis	5,00	0,05	0,11	0,46	Salsifis	1,22	1,00	0,56	Maraîchage	m²	2,00	0,28
	Topinambour	6,00	0,05	0,11	0,49	Topinambour	1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	2,50	0,24
							1,22						
M	Ail	12,00	0,07	0,16	0,71	Ail	1,22	1,00	0,86	Grande culture	m²	0,50	1,73
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,18	0,78	Betterave rouge	1,22	1,00	0,95	Maraîchage	m²	2,50	0,38
	Carotte	10,00	0,36	0,88	3,82	Carotte	1,22	1,00	4,65	Grande culture	m²	5,00	0,93
	Celeri rave	8,00	0,06	0,15	0,66	Celeri rave	1,22	1,00	0,81	Maraîchage	m²	2,50	0,32
	Champignon	12,00	0,07	0,16	0,71	Paille	1,22	1,43	1,24	Culture sur paille	paille (kg)	0,70	1,76
	Chicon	6,00	0,33	0,80	3,47	Chicon	1,22	1,00	4,23	Grande culture	m²	1,20	3,53
	Chou blanc	8,00	0,06	0,14	0,59	Chou blanc	1,22	1,00	0,72	Maraîchage	m²	1,50	0,48
	Chou de Bruxelles	7,00	0,05	0,13	0,56	Chou de Bruxelles	1,22	1,00	0,68	Maraîchage	m²	1,65	0,41
	Chou frise	8,00	0,10	0,25	1,11	Chou frise	1,22	1,00	1,35	Maraîchage	m²	1,92	0,70
	Chou rouge	8,00	0,06	0,14	0,59	Chou rouge	1,22	1,00	0,72	Maraîchage	m²	1,50	0,48
	Chou vert	8,00	0,06	0,14	0,59	Chou vert	1,22	1,00	0,72	Maraîchage	m²	1,50	0,48
	Cresson	6,00	0,05	0,12	0,53	Cresson	1,22	1,00	0,65	Maraîchage	m²	1,00	0,65
	Echalote	12,00	0,03	0,08	0,34	Echalote	1,22	1,00	0,41	Maraîchage	m²	1,20	0,34
	Mache	6,00	0,03	0,08	0,35	Mache	1,22	1,00	0,42	Maraîchage	m²	1,20	0,35
	Navet	10,00	0,05	0,12	0,54	Navet	1,22	1,00	0,65	Maraîchage	m²	2,00	0,33
	Oignon	9,00	0,21	0,52	2,25	Oignon	1,22	1,00	2,74	Grande culture	m²	2,00	1,37
	Panais	8,00	0,05	0,13	0,55	Panais	1,22	1,00	0,68	Maraîchage	m²	3,00	0,23
	Pleurote	12,00	0,07	0,16	0,71	Pleurote	1,22	1,00	0,86	Culture sur paille	paille (kg)	0,70	1,24

A	Poireau	11,00	0,11	0,28	1,21	Poireau	1,22	1,00	1,47	Grande culture	m²	2,00	0,74
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,21	0,90	Pomme de terre	1,22	1,00	1,10	Grande culture	m2	1,80	0,61
	Radis noir	7,00	0,05	0,13	0,56	Radis noir	1,22	1,00	0,68	Maraîchage	m²	1,00	0,68
	Rutabaga	8,00	0,06	0,14	0,59	Rutabaga	1,22	1,00	0,72	Maraîchage	m²	2,00	0,36
	Salsifis	5,00	0,05	0,12	0,50	Salsifis	1,22	1,00	0,61	Maraîchage	m²	2,00	0,31
	Topinambour	6,00	0,05	0,12	0,53	Topinambour	1,22	1,00	0,65	Maraîchage	m²	2,50	0,26
							1,22						
	Ail	12,00	0,07	0,31	1,34	Ail	1,22	1,00	1,63	Grande culture	m²	0,50	3,27
	Asperge	3,00	0,08	0,38	1,67	Asperge	1,22	1,00	2,04	Grande culture	m²	0,35	5,83
	Champignon	12,00	0,07	0,31	1,34	Paille	1,22	1,43	2,33	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	3,33
	Echalote	12,00	0,03	0,15	0,64	Echalote	1,22	1,00	0,78	Maraîchage	m²	1,20	0,65
	Epinard	6,00	0,04	0,17	0,75	Epinard	1,22	1,00	0,92	Maraîchage	m²	2,00	0,46
	Panais	8,00	0,05	0,24	1,05	Panais	1,22	1,00	1,28	Maraîchage	m²	3,00	0,43
	Pleurote	12,00	0,07	0,31	1,34	Paille	1,22	1,43	2,33	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	3,33
	Poireau	11,00	0,11	0,52	2,28	Poireau	1,22	1,00	2,78	Grande culture	m²	2,00	1,39
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,39	1,70	Pomme de terre	1,22	1,00	2,07	Grande culture	m2	1,80	1,15
M	Radis rose	8,00	0,07	0,31	1,36	Radis rose	1,22	1,00	1,66	Maraîchage	m²	1,40	1,18
	Rhubarbe	4,00	0,04	0,21	0,89	Rhubarbe	1,22	1,00	1,09	Grande culture	m²	1,70	0,64
	Laitue	8,00	0,44	2,02	8,79	Laitue	1,22	1,00	10,72	Maraîchage	m²	7,00	1,53
							1,22						
	Ail	12,00	0,07	0,39	1,71	Ail	1,22	1,00	2,09	Grande culture	m²	0,50	4,17
	Asperge	3,00	0,08	0,49	2,14	Asperge	1,22	1,00	2,61	Grande culture	m²	0,35	7,45
	Champignon	12,00	0,07	0,39	1,71	Paille	1,22	1,43	2,98	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	4,26
	Echalote	12,00	0,03	0,19	0,81	Echalote	1,22	1,00	0,99	Maraîchage	m²	1,20	0,83
	Epinard	6,00	0,04	0,22	0,96	Epinard	1,22	1,00	1,17	Maraîchage	m²	2,00	0,59
	Pleurote	12,00	0,07	0,39	1,71	Paille	1,22	1,43	2,98	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	4,26
	Radis rose	8,00	0,07	0,40	1,74	Radis rose	1,22	1,00	2,12	Maraîchage	m²	1,40	1,51
	Rhubarbe	4,00	0,04	0,26	1,14	Rhubarbe	1,22	1,00	1,39	Grande culture	m²	1,70	0,82
	Laitue	8,00	0,44	2,58	11,22	Laitue	1,22	1,00	13,69	Maraîchage	m²	7,00	1,96
							1,22						
	Ail	12,00	0,07	0,13	0,55	Ail	1,22	1,00	0,68	Grande culture	m²	0,50	1,35
	Asperge	3,00	0,08	0,16	0,69	Asperge	1,22	1,00	0,85	Grande culture	m²	0,35	2,42
J	Bette	6,00	0,05	0,10	0,42	Bette	1,22	1,00	0,51	Maraîchage	m²	8,00	0,06
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,14	0,61	Betterave rouge	1,22	1,00	0,74	Maraîchage	m²	2,50	0,30
	Brocoli	7,00	0,06	0,11	0,47	Brocoli	1,22	1,00	0,57	Maraîchage	m²	0,60	0,96
	Carotte	10,00	0,36	0,69	2,98	Carotte	1,22	1,00	3,64	Grande culture	m²	5,00	0,73
	Champignon	12,00	0,07	0,13	0,55	Paille	1,22	1,43	0,97	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	1,38
	Chicoree	6,00	0,27	0,52	2,26	Chicoree	1,22	1,00	2,76	Maraîchage	m²	4,00	0,69
	Chou fleur	6,00	0,05	0,10	0,42	Chou fleur	1,22	1,00	0,51	Maraîchage	m²	0,80	0,63
	Chou rave	9,00	0,08	0,16	0,70	Chou rave	1,22	1,00	0,86	Maraîchage	m²	3,00	0,29
	Concombre	4,00	0,29	0,55	2,41	Concombre	1,22	1,00	2,94	Maraîchage	m²	12,00	0,25
	Courgette	5,00	0,31	0,59	2,56	Courgette	1,22	1,00	3,13	Maraîchage	m²	5,00	0,63
	Echalote	12,00	0,03	0,06	0,26	Echalote	1,22	1,00	0,32	Maraîchage	m²	1,20	0,27

	Epinaud	6,00	0,04	0,07	0,31	Epinaud	1,22	1,00	0,38	Maraîchage	m²	2,00	0,19
	Fenouil	6,00	0,04	0,08	0,36	Fenouil	1,22	1,00	0,44	Maraîchage	m²	3,50	0,13
	Navet	10,00	0,05	0,10	0,42	Navet	1,22	1,00	0,51	Maraîchage	m²	2,00	0,26
	Pleurote	12,00	0,07	0,13	0,55	Paille	1,22	1,43	0,97	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	1,38
	Poireau	11,00	0,11	0,22	0,95	Poireau	1,22	1,00	1,15	Grande culture	m²	2,00	0,58
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,16	0,70	Pomme de terre	1,22	1,00	0,86	Grande culture	m2	1,80	0,48
												Données non dispo.	
	Pourpier	4,00	0,04	0,09	0,37	Pourpier	1,22	1,00	0,45	Maraîchage	m²	0,00	
	Radis rose	8,00	0,07	0,13	0,56	Radis rose	1,22	1,00	0,69	Maraîchage	m²	1,40	0,49
	Rhubarbe	4,00	0,04	0,09	0,37	Rhubarbe	1,22	1,00	0,45	Grande culture	m²	1,70	0,27
	Laitue	8,00	0,44	0,84	3,64	Laitue	1,22	1,00	4,44	Maraîchage	m²	7,00	0,63
							1,22						
J	Ail	12,00	0,07	0,08	0,34	Ail	1,22	1,00	0,41	Grande culture	m²	0,50	0,82
	Aubergine	4,00	0,13	0,15	0,67	Aubergine	1,22	1,00	0,82	Maraîchage	m²	4,00	0,21
	Bette	6,00	0,05	0,06	0,25	Bette	1,22	1,00	0,31	Maraîchage	m²	8,00	0,04
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,09	0,37	Betterave rouge	1,22	1,00	0,45	Maraîchage	m²	2,50	0,18
	Brocoli	7,00	0,06	0,07	0,29	Brocoli	1,22	1,00	0,35	Maraîchage	m²	0,60	0,58
	Carotte	10,00	0,36	0,42	1,81	Carotte	1,22	1,00	2,21	Grande culture	m²	5,00	0,44
	Celeri branche	6,00	0,05	0,06	0,25	Celeri branche	1,22	1,00	0,31	Maraîchage	m² paille (kg)	4,00	0,08
	Champignon	12,00	0,07	0,08	0,34	Paille	1,22	1,43	0,59	Culture sur paille	m²	0,70	0,84
	Chicoree	6,00	0,27	0,32	1,37	Chicoree	1,22	1,00	1,67	Maraîchage	m²	4,00	0,42
	Chou fleur	6,00	0,05	0,06	0,25	Chou fleur	1,22	1,00	0,31	Maraîchage	m²	0,80	0,39
	Chou rave	9,00	0,08	0,10	0,43	Chou rave	1,22	1,00	0,52	Maraîchage	m²	3,00	0,17
	Concombre	4,00	0,29	0,34	1,46	Concombre	1,22	1,00	1,79	Maraîchage	m²	12,00	0,15
	Courgette	5,00	0,31	0,36	1,56	Courgette	1,22	1,00	1,90	Maraîchage	m²	5,00	0,38
	Echalote	12,00	0,03	0,04	0,16	Echalote	1,22	1,00	0,20	Maraîchage	m²	1,20	0,16
	Fenouil	6,00	0,04	0,05	0,22	Fenouil	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	3,50	0,08
	Haricots	4,00	0,20	0,23	1,01	Haricots	1,22	1,00	1,23	Maraîchage	m²	1,00	1,23
	Navet	10,00	0,05	0,06	0,25	Navet	1,22	1,00	0,31	Maraîchage	m²	2,00	0,16
	Oignon	9,00	0,21	0,25	1,07	Oignon	1,22	1,00	1,30	Grande culture	m²	2,00	0,65
	Pleurote	12,00	0,07	0,08	0,34	Pleurote	1,22	1,00	0,41	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	0,59
	Poireau	11,00	0,11	0,13	0,57	Poireau	1,22	1,00	0,70	Grande culture	m²	2,00	0,35
	Poivron	4,00	0,27	0,31	1,35	Poivron	1,22	1,00	1,64	Maraîchage	m²	4,00	0,41
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,10	0,43	Pomme de terre	1,22	1,00	0,52	Grande culture	m2	1,80	0,29
												Données non dispo.	
	Pourpier	4,00	0,04	0,05	0,22	Pourpier	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	0,00	
	Radis rose	8,00	0,07	0,08	0,34	Radis rose	1,22	1,00	0,42	Maraîchage	m²	1,40	0,30
	Rhubarbe	4,00	0,04	0,05	0,22	Rhubarbe	1,22	1,00	0,27	Grande culture	m²	1,70	0,16
	Laitue	8,00	0,44	0,51	2,21	Laitue	1,22	1,00	2,70	Maraîchage	m²	7,00	0,39
	Tetragone	4,00	0,04	0,05	0,22	Tetragone	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	2,00	0,14
	Tomate	4,00	1,01	1,18	5,13	Tomate	1,22	1,00	6,25	Maraîchage	m²	7,00	0,89
							1,22						
A	Ail	12,00	0,07	0,07	0,29	Ail	1,22	1,00	0,36	Grande culture	m²	0,50	0,72

	Artichaut	4,00	0,13	0,14	0,59	Artichaut	1,22	1,00	0,72	Grande culture	m²	0,70	1,02
	Aubergine	4,00	0,13	0,14	0,59	Aubergine	1,22	1,00	0,72	Maraîchage	m²	4,00	0,18
	Bette	6,00	0,05	0,05	0,22	Bette	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	8,00	0,03
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,07	0,32	Betterave rouge	1,22	1,00	0,39	Maraîchage	m²	2,50	0,16
	Brocoli	7,00	0,06	0,06	0,25	Brocoli	1,22	1,00	0,30	Maraîchage	m²	0,60	0,51
	Carotte	10,00	0,36	0,36	1,58	Carotte	1,22	1,00	1,93	Grande culture	m²	5,00	0,39
	Celeri branche	6,00	0,05	0,05	0,22	Celeri branche	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	4,00	0,07
	Celeri rave	8,00	0,06	0,06	0,28	Celeri rave	1,22	1,00	0,34	Maraîchage	m²	2,50	0,13
	Champignon	12,00	0,07	0,07	0,29	Paille	1,22	1,43	0,51	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	0,73
	Chicoree	6,00	0,27	0,28	1,20	Chicoree	1,22	1,00	1,46	Maraîchage	m²	4,00	0,37
	Chou blanc	8,00	0,06	0,06	0,24	Chou blanc	1,22	1,00	0,30	Maraîchage	m²	1,50	0,20
	Chou chinois	4,00	0,04	0,05	0,20	Chou chinois	1,22	1,00	0,24	Maraîchage	m²	2,00	0,12
	Chou fleur	6,00	0,05	0,05	0,22	Chou fleur	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	0,80	0,34
	Chou frise	8,00	0,10	0,11	0,46	Chou frise	1,22	1,00	0,56	Maraîchage	m²	1,92	0,29
	Chou rave	9,00	0,08	0,09	0,37	Chou rave	1,22	1,00	0,45	Maraîchage	m²	3,00	0,15
	Chou rouge	8,00	0,06	0,06	0,24	Chou rouge	1,22	1,00	0,30	Maraîchage	m²	1,50	0,20
	Chou vert	8,00	0,06	0,06	0,24	Chou vert	1,22	1,00	0,30	Maraîchage	m²	1,50	0,20
	Concombre	4,00	0,29	0,29	1,28	Concombre	1,22	1,00	1,56	Maraîchage	m²	12,00	0,13
	Courgette	5,00	0,31	0,31	1,36	Courgette	1,22	1,00	1,66	Maraîchage	m²	5,00	0,33
	Echalote	12,00	0,03	0,03	0,14	Echalote	1,22	1,00	0,17	Maraîchage	m²	1,20	0,14
	Fenouil	6,00	0,04	0,04	0,19	Fenouil	1,22	1,00	0,24	Maraîchage	m²	3,50	0,07
	Haricots	4,00	0,20	0,20	0,88	Haricots	1,22	1,00	1,08	Maraîchage	m²	1,00	1,08
	Maïs	3,00	0,04	0,04	0,18	Maïs	1,22	1,00	0,22	Maraîchage	m²	9,00	0,02
	Navet	10,00	0,05	0,05	0,22	Navet	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	2,00	0,14
	Oignon	9,00	0,21	0,21	0,93	Oignon	1,22	1,00	1,14	Grande culture	m²	2,00	0,57
	Pleurote	12,00	0,07	0,07	0,29	Paille	1,22	1,43	0,51	Culture sur paille	m² paille (kg)	0,70	0,73
	Poireau	11,00	0,11	0,12	0,50	Poireau	1,22	1,00	0,61	Grande culture	m²	2,00	0,31
	Poivron	4,00	0,27	0,27	1,18	Poivron	1,22	1,00	1,43	Maraîchage	m²	4,00	0,36
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,09	0,37	Pomme de terre	1,22	1,00	0,45	Grande culture	m²	1,80	0,25
	Potimarron	7,00	0,05	0,05	0,23	Potimarron	1,22	1,00	0,28	Maraîchage	m²	2,50	0,11
	Potiron	7,00	0,05	0,05	0,23	Potiron	1,22	1,00	0,28	Maraîchage	m²	2,50	0,11
	Radis rose	8,00	0,07	0,07	0,30	Radis rose	1,22	1,00	0,36	Maraîchage	m²	1,40	0,26
	Rutabaga	8,00	0,06	0,06	0,24	Rutabaga	1,22	1,00	0,30	Maraîchage	m²	2,00	0,15
	Laitue	8,00	0,44	0,44	1,93	Laitue	1,22	1,00	2,35	Maraîchage	m²	7,00	0,34
	Tetragone	4,00	0,04	0,05	0,20	Tetragone	1,22	1,00	0,24	Maraîchage	m²	2,00	0,12
	Tomate	4,00	1,01	1,03	4,47	Tomate	1,22	1,00	5,45	Maraîchage	m²	7,00	0,78
A	Ail	12,00	0,07	0,07	0,28	Ail	1,22	1,00	0,35	Grande culture	m²	0,50	0,69
	Artichaut	4,00	0,13	0,13	0,57	Artichaut	1,22	1,00	0,69	Grande culture	m²	0,70	0,99
	Aubergine	4,00	0,13	0,13	0,57	Aubergine	1,22	1,00	0,69	Maraîchage	m²	4,00	0,17
	Bette	6,00	0,05	0,05	0,21	Bette	1,22	1,00	0,26	Maraîchage	m²	8,00	0,03
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,07	0,31	Betterave rouge	1,22	1,00	0,38	Maraîchage	m²	2,50	0,15
	Brocoli	7,00	0,06	0,06	0,24	Brocoli	1,22	1,00	0,29	Maraîchage	m²	0,60	0,49
	Carotte	10,00	0,36	0,35	1,52	Carotte	1,22	1,00	1,86	Grande culture	m²	5,00	0,37

	Celeri branche	6,00	0,05	0,05	0,21	Celeri branche	1,22	1,00	0,26	Maraîchage	m²	4,00	0,06
	Celeri rave	8,00	0,06	0,06	0,27	Celeri rave	1,22	1,00	0,32	Maraîchage	m²	2,50	0,13
	Champignon	12,00	0,07	0,07	0,28	Paille	1,22	1,43	0,49	Culture sur paille	paille (kg)	0,70	0,71
	Chicoree	6,00	0,27	0,27	1,15	Chicoree	1,22	1,00	1,41	Maraîchage	m²	4,00	0,35
	Chou blanc	8,00	0,06	0,05	0,24	Chou blanc	1,22	1,00	0,29	Maraîchage	m²	1,50	0,19
	Chou de Bruxelles	7,00	0,05	0,05	0,22	Chou de Bruxelles	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	1,65	0,17
	Chou chinois	4,00	0,04	0,04	0,19	Chou chinois	1,22	1,00	0,23	Maraîchage	m²	2,00	0,12
	Chou fleur	6,00	0,05	0,05	0,21	Chou fleur	1,22	1,00	0,26	Maraîchage	m²	0,80	0,32
	Chou frise	8,00	0,10	0,10	0,44	Chou frise	1,22	1,00	0,54	Maraîchage	m²	1,92	0,28
	Chou rave	9,00	0,08	0,08	0,36	Chou rave	1,22	1,00	0,44	Maraîchage	m²	3,00	0,15
	Chou rouge	8,00	0,06	0,05	0,24	Chou rouge	1,22	1,00	0,29	Maraîchage	m²	1,50	0,19
	Chou vert	8,00	0,06	0,05	0,24	Chou vert	1,22	1,00	0,29	Maraîchage	m²	1,50	0,19
	Concombre	4,00	0,29	0,28	1,23	Concombre	1,22	1,00	1,50	Maraîchage	m²	12,00	0,13
	Courgette	5,00	0,31	0,30	1,31	Courgette	1,22	1,00	1,60	Maraîchage	m²	5,00	0,32
	Echalote	12,00	0,03	0,03	0,13	Echalote	1,22	1,00	0,16	Maraîchage	m²	1,20	0,14
	Epinard	6,00	0,04	0,04	0,16	Epinard	1,22	1,00	0,19	Maraîchage	m²	2,00	0,10
	Fenouil	6,00	0,04	0,04	0,19	Fenouil	1,22	1,00	0,23	Maraîchage	m²	3,50	0,06
	Haricots	4,00	0,20	0,20	0,85	Haricots	1,22	1,00	1,04	Maraîchage	m²	1,00	1,04
	Maïs	3,00	0,04	0,04	0,18	Maïs	1,22	1,00	0,22	Maraîchage	m²	9,00	0,02
	Navet	10,00	0,05	0,05	0,21	Navet	1,22	1,00	0,26	Maraîchage	m²	2,00	0,13
	Oignon	9,00	0,21	0,21	0,90	Oignon	1,22	1,00	1,10	Maraîchage Grande culture	m²	2,00	0,55
	Panais	8,00	0,05	0,05	0,22	Panais	1,22	1,00	0,27	Maraîchage Culture sur paille Grande culture	m² paille (kg)	3,00	0,09
	Pleurote	12,00	0,07	0,07	0,28	Paille	1,22	1,43	0,49			0,70	0,71
	Poireau	11,00	0,11	0,11	0,48	Poireau	1,22	1,00	0,59			2,00	0,29
	Poivron	4,00	0,27	0,26	1,13	Poivron	1,22	1,00	1,38	Maraîchage Grande culture	m²	4,00	0,35
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,08	0,36	Pomme de terre	1,22	1,00	0,44		m2	1,80	0,24
	Potimarron	7,00	0,05	0,05	0,22	Potimarron	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	2,50	0,11
	Potiron	7,00	0,05	0,05	0,22	Potiron	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	2,50	0,11
	Radis noir	7,00	0,05	0,05	0,22	Radis noir	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	1,00	0,27
	Radis rose	8,00	0,07	0,07	0,29	Radis rose	1,22	1,00	0,35	Maraîchage	m²	1,40	0,25
	Rutabaga	8,00	0,06	0,05	0,24	Rutabaga	1,22	1,00	0,29	Maraîchage	m²	2,00	0,14
	Laitue	8,00	0,44	0,43	1,86	Laitue	1,22	1,00	2,27	Maraîchage	m²	7,00	0,32
	Tetragone	4,00	0,04	0,04	0,19	Tetragone	1,22	1,00	0,23	Maraîchage	m²	2,00	0,12
	Tomate	4,00	1,01	0,99	4,31	Tomate	1,22	1,00	5,26	Maraîchage	m²	7,00	0,75
O	Ail	12,00	0,07	0,06	0,28	Ail	1,22	1,00	0,34	Grande culture	m²	0,50	0,68
	Artichaut	4,00	0,13	0,13	0,55	Artichaut	1,22	1,00	0,68	Grande culture	m²	0,70	0,97
	Aubergine	4,00	0,13	0,13	0,55	Aubergine	1,22	1,00	0,68	Maraîchage	m²	4,00	0,17
	Bette	6,00	0,05	0,05	0,21	Bette	1,22	1,00	0,25	Maraîchage	m²	8,00	0,03
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,07	0,30	Betterave rouge	1,22	1,00	0,37	Maraîchage	m²	2,50	0,15
	Brocoli	7,00	0,06	0,05	0,23	Brocoli	1,22	1,00	0,29	Maraîchage Grande culture	m²	0,60	0,48
	Carotte	10,00	0,36	0,34	1,49	Carotte	1,22	1,00	1,82		m²	5,00	0,36
	Celeri branche	6,00	0,05	0,05	0,21	Celeri branche	1,22	1,00	0,25	Maraîchage	m²	4,00	0,06
	Celeri rave	8,00	0,06	0,06	0,26	Celeri rave	1,22	1,00	0,32	Maraîchage	m²	2,50	0,13

	Champignon	12,00	0,07	0,06	0,28	Paille	1,22	1,43	0,48	Culture sur paille Grande culture	paille (kg)	0,70	0,69
	Chicon	6,00	0,33	0,31	1,36	Chicon	1,22	1,00	1,65		m²	1,20	1,38
	Chicoree	6,00	0,27	0,26	1,13	Chicoree	1,22	1,00	1,38	Maraîchage	m²	4,00	0,34
	Chou blanc	8,00	0,06	0,05	0,23	Chou blanc	1,22	1,00	0,28	Maraîchage	m²	1,50	0,19
	Chou de Bruxelles	7,00	0,05	0,05	0,22	Chou de Bruxelles	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	1,65	0,16
	Chou chinois	4,00	0,04	0,04	0,18	Chou chinois	1,22	1,00	0,23	Maraîchage	m²	2,00	0,11
	Chou fleur	6,00	0,05	0,05	0,21	Chou fleur	1,22	1,00	0,25	Maraîchage	m²	0,80	0,32
	Chou frise	8,00	0,10	0,10	0,43	Chou frise	1,22	1,00	0,53	Maraîchage	m²	1,92	0,27
	Chou rave	9,00	0,08	0,08	0,35	Chou rave	1,22	1,00	0,43	Maraîchage	m²	3,00	0,14
	Chou rouge	8,00	0,06	0,05	0,23	Chou rouge	1,22	1,00	0,28	Maraîchage	m²	1,50	0,19
	Chou vert	8,00	0,06	0,05	0,23	Chou vert	1,22	1,00	0,28	Maraîchage	m²	1,50	0,19
	Courgette	5,00	0,31	0,29	1,28	Courgette	1,22	1,00	1,56	Maraîchage	m²	5,00	0,31
	Cresson	6,00	0,05	0,05	0,21	Cresson	1,22	1,00	0,25	Maraîchage	m²	1,00	0,25
	Echalote	12,00	0,03	0,03	0,13	Echalote	1,22	1,00	0,16	Maraîchage	m²	1,20	0,13
	Epinard	6,00	0,04	0,04	0,16	Epinard	1,22	1,00	0,19	Maraîchage	m²	2,00	0,10
	Fenouil	6,00	0,04	0,04	0,18	Fenouil	1,22	1,00	0,22	Maraîchage	m²	3,50	0,06
	Haricots	4,00	0,20	0,19	0,83	Haricots	1,22	1,00	1,01	Maraîchage	m²	1,00	1,01
	Mache	6,00	0,03	0,03	0,14	Mache	1,22	1,00	0,16	Maraîchage	m²	1,20	0,14
	Maïs	3,00	0,04	0,04	0,17	Maïs	1,22	1,00	0,21	Maraîchage	m²	9,00	0,02
	Navet	10,00	0,05	0,05	0,21	Navet	1,22	1,00	0,26	Maraîchage Grande culture	m²	2,00	0,13
	Oignon	9,00	0,21	0,20	0,88	Oignon	1,22	1,00	1,07		m²	2,00	0,54
	Panais	8,00	0,05	0,05	0,22	Panais	1,22	1,00	0,26	Maraîchage Culture sur paille Grande culture	m² paille (kg)	3,00	0,09
	Pleurrote	12,00	0,07	0,06	0,28	Paille	1,22	1,43	0,48			0,70	0,69
	Poireau	11,00	0,11	0,11	0,47	Poireau	1,22	1,00	0,58		m²	2,00	0,29
	Poivron	4,00	0,27	0,25	1,11	Poivron	1,22	1,00	1,35	Maraîchage Grande culture	m²	4,00	0,34
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,08	0,35	Pomme de terre	1,22	1,00	0,43		m2	1,80	0,24
	Potimarron	7,00	0,05	0,05	0,22	Potimarron	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	2,50	0,11
	Potiron	7,00	0,05	0,05	0,22	Potiron	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	2,50	0,11
	Radis noir	7,00	0,05	0,05	0,22	Radis noir	1,22	1,00	0,27	Maraîchage	m²	1,00	0,27
	Radis rose	8,00	0,07	0,06	0,28	Radis rose	1,22	1,00	0,34	Maraîchage	m²	1,40	0,25
	Rutabaga	8,00	0,06	0,05	0,23	Rutabaga	1,22	1,00	0,28	Maraîchage	m²	2,00	0,14
	Laitue	8,00	0,44	0,42	1,82	Laitue	1,22	1,00	2,22	Maraîchage	m²	7,00	0,32
	Tetragone	4,00	0,04	0,04	0,18	Tetragone	1,22	1,00	0,23	Maraîchage	m²	2,00	0,11
	Tomate	4,00	1,01	0,97	4,22	Tomate	1,22	1,00	5,14	Maraîchage	m²	7,00	0,73
	Topinambour	6,00	0,05	0,05	0,21	Topinambour	1,22	1,00	0,25	Maraîchage	m²	2,50	0,10
							1,22						
N	Ail	12,00	0,07	0,10	0,44	Ail	1,22	1,00	0,53	Grande culture Grande culture	m²	0,50	1,06
	Artichaut	4,00	0,13	0,20	0,87	Artichaut	1,22	1,00	1,06		m²	0,70	1,52
	Bette	6,00	0,05	0,08	0,33	Bette	1,22	1,00	0,40	Maraîchage	m²	8,00	0,05
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,11	0,48	Betterave rouge	1,22	1,00	0,58	Maraîchage	m²	2,50	0,23
	Brocoli	7,00	0,06	0,08	0,37	Brocoli	1,22	1,00	0,45	Maraîchage Grande culture	m²	0,60	0,75
	Carotte	10,00	0,36	0,54	2,34	Carotte	1,22	1,00	2,86		m²	5,00	0,57
	Celeri branche	6,00	0,05	0,08	0,33	Celeri branche	1,22	1,00	0,40	Maraîchage	m²	4,00	0,10
	Celeri rave	8,00	0,06	0,09	0,41	Celeri rave	1,22	1,00	0,50	Maraîchage	m²	2,50	0,20

	Champignon	12,00	0,07	0,10	0,44	Paille	1,22	1,43	0,76	Culture sur paille Grande culture	paille (kg)	0,70	1,08
	Chicon	6,00	0,33	0,49	2,13	Chicon	1,22	1,00	2,60		m²	1,20	2,17
	Chicoree	6,00	0,27	0,41	1,78	Chicoree	1,22	1,00	2,17	Maraîchage	m²	4,00	0,54
	Chou blanc	8,00	0,06	0,08	0,36	Chou blanc	1,22	1,00	0,44	Maraîchage	m²	1,50	0,30
	Chou de Bruxelles	7,00	0,05	0,08	0,34	Chou de Bruxelles	1,22	1,00	0,42	Maraîchage	m²	1,65	0,25
	Chou chinois	4,00	0,04	0,07	0,29	Chou chinois	1,22	1,00	0,35	Maraîchage	m²	2,00	0,18
	Chou fleur	6,00	0,05	0,08	0,33	Chou fleur	1,22	1,00	0,40	Maraîchage	m²	0,80	0,50
	Chou frise	8,00	0,10	0,16	0,68	Chou frise	1,22	1,00	0,83	Maraîchage	m²	1,92	0,43
	Chou rave	9,00	0,08	0,13	0,55	Chou rave	1,22	1,00	0,67	Maraîchage	m²	3,00	0,22
	Chou rouge	8,00	0,06	0,08	0,36	Chou rouge	1,22	1,00	0,44	Maraîchage	m²	1,50	0,30
	Chou vert	8,00	0,06	0,08	0,36	Chou vert	1,22	1,00	0,44	Maraîchage	m²	1,50	0,30
	Cresson	6,00	0,05	0,08	0,33	Cresson	1,22	1,00	0,40	Maraîchage	m²	1,00	0,40
	Echalote	12,00	0,03	0,05	0,21	Echalote	1,22	1,00	0,25	Maraîchage	m²	1,20	0,21
	Epinard	6,00	0,04	0,06	0,25	Epinard	1,22	1,00	0,30	Maraîchage	m²	2,00	0,15
	Fenouil	6,00	0,04	0,07	0,29	Fenouil	1,22	1,00	0,35	Maraîchage	m²	3,50	0,10
	Mache	6,00	0,03	0,05	0,21	Mache	1,22	1,00	0,26	Maraîchage	m²	1,20	0,22
	Navet	10,00	0,05	0,08	0,33	Navet	1,22	1,00	0,40	Maraîchage	m²	2,00	0,20
	Oignon	9,00	0,21	0,32	1,38	Oignon	1,22	1,00	1,68	Maraîchage Grande culture	m²	2,00	0,84
	Panais	8,00	0,05	0,08	0,34	Panais	1,22	1,00	0,42	Maraîchage	m²	3,00	0,14
	Pleurote	12,00	0,07	0,10	0,44	Paille	1,22	1,43	0,76	Culture sur paille Grande culture	paille (kg)	0,70	1,08
	Poireau	11,00	0,11	0,17	0,74	Poireau	1,22	1,00	0,91		m²	2,00	0,45
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,13	0,55	Pomme de terre	1,22	1,00	0,67		m2	1,80	0,37
	Potimarron	7,00	0,05	0,08	0,34	Potimarron	1,22	1,00	0,42	Maraîchage	m²	2,50	0,17
	Potiron	7,00	0,05	0,08	0,34	Potiron	1,22	1,00	0,42	Maraîchage	m²	2,50	0,17
	Radis noir	7,00	0,05	0,08	0,34	Radis noir	1,22	1,00	0,42	Maraîchage	m²	1,00	0,42
	Radis rose	8,00	0,07	0,10	0,44	Radis rose	1,22	1,00	0,54	Maraîchage	m²	1,40	0,39
	Rutabaga	8,00	0,06	0,08	0,36	Rutabaga	1,22	1,00	0,44	Maraîchage	m²	2,00	0,22
	Laitue	8,00	0,44	0,66	2,86	Laitue	1,22	1,00	3,49	Maraîchage	m²	7,00	0,50
	Salsifis	5,00	0,05	0,07	0,31	Salsifis	1,22	1,00	0,38	Maraîchage	m²	2,00	0,19
	Topinambour	6,00	0,05	0,08	0,33	Topinambour	1,22	1,00	0,40	Maraîchage	m²	2,50	0,16
							1,22						
D	Ail	12,00	0,07	0,14	0,62	Ail	1,22	1,00	0,76	Grande culture	m²	0,50	1,52
	Betterave rouge	10,00	0,07	0,16	0,69	Betterave rouge	1,22	1,00	0,84	Maraîchage	m²	2,50	0,33
	Brocoli	7,00	0,06	0,12	0,53	Brocoli	1,22	1,00	0,65	Maraîchage	m²	0,60	1,08
	Carotte	10,00	0,36	0,77	3,36	Carotte	1,22	1,00	4,09	Grande culture	m²	5,00	0,82
	Celeri branche	6,00	0,05	0,11	0,47	Celeri branche	1,22	1,00	0,57	Maraîchage	m²	4,00	0,14
	Celeri rave	8,00	0,06	0,13	0,59	Celeri rave	1,22	1,00	0,71	Maraîchage	m²	2,50	0,29
	Champignon	12,00	0,07	0,14	0,62	Paille	1,22	1,43	1,09	Culture sur paille Grande culture	paille (kg)	0,70	1,55
	Chicon	6,00	0,33	0,70	3,05	Chicon	1,22	1,00	3,72		m²	1,20	3,10
	Chou blanc	8,00	0,06	0,12	0,52	Chou blanc	1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	1,50	0,42
	Chou de Bruxelles	7,00	0,05	0,11	0,49	Chou de Bruxelles	1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	1,65	0,37
	Chou frise	8,00	0,10	0,22	0,98	Chou frise	1,22	1,00	1,19	Maraîchage	m²	1,92	0,62
	Chou rave	9,00	0,08	0,18	0,79	Chou rave	1,22	1,00	0,97	Maraîchage	m²	3,00	0,32
	Chou rouge	8,00	0,06	0,12	0,52	Chou rouge	1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	1,50	0,42

	Chou vert	8,00	0,06	0,12	0,52	Chou vert	1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	1,50	0,42
	Cresson	6,00	0,05	0,11	0,47	Cresson	1,22	1,00	0,57	Maraîchage	m²	1,00	0,57
	Echalote	12,00	0,03	0,07	0,30	Echalote	1,22	1,00	0,36	Maraîchage	m2	1,20	0,30
	Mache	6,00	0,03	0,07	0,30	Mache	1,22	1,00	0,37	Maraîchage	m²	1,20	0,31
	Navet	10,00	0,05	0,11	0,47	Navet	1,22	1,00	0,58	Maraîchage	m²	2,00	0,29
	Oignon	9,00	0,21	0,46	1,98	Oignon	1,22	1,00	2,41	Grande culture	m²	2,00	1,21
	Panais	8,00	0,05	0,11	0,49	Panais	1,22	1,00	0,59	Maraîchage	m²	3,00	0,20
	Pleurote	12,00	0,07	0,14	0,62	Paille	1,22	1,43	1,09	Culture sur paille	paille (kg)	0,70	1,55
	Poireau	11,00	0,11	0,24	1,06	Poireau	1,22	1,00	1,30	Grande culture	m²	2,00	0,65
	Pomme de terre	11,00	0,08	0,18	0,79	Pomme de terre	1,22	1,00	0,96	Grande culture	m2	1,80	0,54
	Potimarron	7,00	0,05	0,11	0,49	Potimarron	1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	2,50	0,24
	Potiron	7,00	0,05	0,11	0,49	Potiron	1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	2,50	0,24
	Radis noir	7,00	0,05	0,11	0,49	Radis noir	1,22	1,00	0,60	Maraîchage	m²	1,00	0,60
	Rutabaga	8,00	0,06	0,12	0,52	Rutabaga	1,22	1,00	0,63	Maraîchage	m²	2,00	0,32
	Salsifis	5,00	0,05	0,10	0,44	Salsifis	1,22	1,00	0,54	Maraîchage	m²	2,00	0,27
	Topinambour	6,00	0,05	0,11	0,47	Topinambour	1,22	1,00	0,57	Maraîchage	m²	2,50	0,23
	Légumineuses			0,10									
	Petits pois	1,00	0,28	0,03	1,75	Petits pois	1,06	1,00	1,85	Maraîchage	m²	0,30	6,17
	Fèves	1,00	0,28	0,03	1,75	Fèves	1,06	1,00	1,85	Grande culture	m²	0,27	6,85
	Flageolets	1,00	0,28	0,03	1,75	Flageolets	1,06	1,00	1,85	Grande culture	m²	0,16	11,81
	Fruits frais			2,61			0,36						0,00 0
J	Myrtille	4,00	0,03	0,15	0,65	Myrtille	1,22	1,00	0,79	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,00	0,79
	Prune	4,00	0,13	0,60	2,59	Prune	1,22	1,00	3,16	Pré verger	Arbre 12 m	120,00	0,03
	Cerise	4,00	0,08	0,37	1,62	Cerise	1,22	1,00	1,97	Pré verger	Arbre 12 m	150,00	0,01
	Poire	10,00	0,20	0,36	1,55	Poire	1,22	1,00	1,89	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,01
	Pomme	10,00	0,64	1,14	4,95	Pomme	1,22	1,00	6,04	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,02
							1,22						
F	Cassis	4,00	0,03	0,20	0,87	Cassis	1,22	1,00	1,06	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	2,65
	Groseille à grappes	4,00	0,03	0,20	0,87	Groseille à grappes	1,22	1,00	1,06	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,63	1,70
	Groseille à maquereaux	4,00	0,03	0,20	0,87	Groseille à maquereaux	1,22	1,00	1,06	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,00	1,06
	Poire	10,00	0,20	0,48	2,08	Poire	1,22	1,00	2,54	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,01
	Pomme	10,00	0,64	1,53	6,66	Pomme	1,22	1,00	8,13	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,03
							1,22						
M	Mure	5,00	0,03	0,11	0,49	Mure	1,22	1,00	0,60	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,43	0,42
	Myrtille	4,00	0,03	0,17	0,72	Myrtille	1,22	1,00	0,88	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,00	0,88
	Prune	4,00	0,13	0,66	2,89	Prune	1,22	1,00	3,52	Pré verger	Arbre 12 m	120,00	0,03
	Poire	10,00	0,20	0,40	1,73	Poire	1,22	1,00	2,11	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,01

	Pomme	10,00	0,64	1,27	5,53	Pomme	1,22	1,00	6,74	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,03
							1,22						
A	Coing	4,00	0,02	0,07	0,30	Coing	1,22	1,00	0,37	Pré verger	Arbre 10 m	100,00	0,00
	Cerise	4,00	0,08	0,34	1,50	Cerise	1,22	1,00	1,83	Pré verger	Arbre 12 m	150,00	0,01
	Raisin	5,00	0,25	0,81	3,54	Raisin	1,22	1,00	4,32	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	3,50	1,23
	Poire	10,00	0,20	0,33	1,43	Poire	1,22	1,00	1,75	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,01
	Pomme	10,00	0,64	1,05	4,58	Pomme	1,22	1,00	5,59	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,02
							1,22						
M	Mure	5,00	0,03	0,08	0,37	Mure	1,22	1,00	0,45	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,43	0,31
	Raisin	5,00	0,25	0,73	3,19	Raisin	1,22	1,00	3,89	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	3,50	1,11
	Fraise	5,00	0,18	0,55	2,39	Fraise	1,22	1,00	2,92	Maraîchage	m2	1,20	2,43
	Poire	10,00	0,20	0,30	1,29	Poire	1,22	1,00	1,57	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,01
	Pomme	10,00	0,64	0,95	4,12	Pomme	1,22	1,00	5,03	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,02
							1,22						
J	Cassis	4,00	0,03	0,27	1,18	Cassis	1,22	1,00	1,44	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	3,60
	Cerise	4,00	0,08	0,68	2,95	Cerise	1,22	1,00	3,60	Pré verger	Arbre 12 m	150,00	0,02
	Fraise	5,00	0,18	1,20	5,24	Fraise	1,22	1,00	6,39	Maraîchage	m2	1,20	5,32
	Framboise	5,00	0,03	0,18	0,80	Framboise	1,22	1,00	0,98	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	2,45
	Groseille à grappes	4,00	0,03	0,27	1,18	Groseille à grappes	1,22	1,00	1,44	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,63	2,31
							1,22						
J	Cassis	4,00	0,03	0,21	0,92	Cassis	1,22	1,00	1,13	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	2,82
	Cerise	4,00	0,08	0,53	2,31	Cerise	1,22	1,00	2,82	Pré verger	Arbre 12 m	150,00	0,02
	Fraise	5,00	0,18	0,94	4,10	Fraise	1,22	1,00	5,00	Maraîchage	m2	1,20	4,16
	Framboise	5,00	0,03	0,14	0,63	Framboise	1,22	1,00	0,77	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	1,92
	Groseille à grappes	4,00	0,03	0,21	0,92	Groseille à grappes	1,22	1,00	1,13	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,63	1,80
	Groseille à maquereaux	4,00	0,03	0,21	0,92	Groseille à maquereaux	1,22	1,00	1,13	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,00	1,13
	Mure	5,00	0,03	0,14	0,63	Mure	1,22	1,00	0,77	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,43	0,54
	Myrtille	4,00	0,03	0,21	0,92	Myrtille	1,22	1,00	1,13	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,00	1,13
							1,22						
A	Fraise	5,00	0,18	0,42	1,82	Fraise	1,22	1,00	2,21	Maraîchage	m2	1,20	1,84
	Framboise	5,00	0,03	0,06	0,28	Framboise	1,22	1,00	0,34	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	0,85
	Groseille à maquereaux	4,00	0,03	0,09	0,41	Groseille à maquereaux	1,22	1,00	0,50	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,00	0,50
	Mure	5,00	0,03	0,06	0,28	Mure	1,22	1,00	0,34	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,43	0,24
	Myrtille	4,00	0,03	0,09	0,41	Myrtille	1,22	1,00	0,50	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,00	0,50
	Poire	10,00	0,20	0,23	0,98	Poire	1,22	1,00	1,19	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,00
	Pomme	10,00	0,64	0,72	3,13	Pomme	1,22	1,00	3,82	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,02
	Prune	4,00	0,13	0,38	1,64	Prune	1,22	1,00	2,00	Pré verger	Arbre 12 m	120,00	0,02
	Raisin	5,00	0,25	0,56	2,42	Raisin	1,22	1,00	2,95	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	3,50	0,84
							1,22						
S	Fraise	5,00	0,18	0,46	2,01	Fraise	1,22	1,00	2,45	Maraîchage	m2	1,20	2,04
	Framboise	5,00	0,03	0,07	0,31	Framboise	1,22	1,00	0,38	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	0,94

	Poire	10,00	0,20	0,25	1,08	Poire	1,22	1,00	1,32	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,00
	Pomme	10,00	0,64	0,80	3,47	Pomme	1,22	1,00	4,23	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,02
	Prune	4,00	0,13	0,42	1,81	Prune	1,22	1,00	2,21	Pré verger	Arbre 12 m	120,00	0,02
	Raisin	5,00	0,25	0,62	2,68	Raisin	1,22	1,00	3,27	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	3,50	0,93
							1,22						
O	Coing	4,00	0,02	0,08	0,33	Coing	1,22	1,00	0,40	Pré verger	Arbre 10 m	100,00	0,00
	Framboise	5,00	0,03	0,10	0,45	Framboise	1,22	1,00	0,55	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	1,37
	Poire	10,00	0,20	0,36	1,58	Poire	1,22	1,00	1,93	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,01
	Pomme	10,00	0,64	1,17	5,07	Pomme	1,22	1,00	6,19	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,02
	Raisin	5,00	0,25	0,90	3,92	Raisin	1,22	1,00	4,78	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	3,50	1,37
							1,22						
N	Cassis	4,00	0,03	0,21	0,91	Cassis	1,22	1,00	1,10	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,40	2,76
	Groseille à grappes	4,00	0,03	0,21	0,91	Groseille à grappes	1,22	1,00	1,10	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	0,63	1,77
	Coing	4,00	0,02	0,10	0,45	Coing	1,22	1,00	0,55	Pré verger	Arbre 10 m	100,00	0,01
	Poire	10,00	0,20	0,50	2,17	Poire	1,22	1,00	2,64	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,01
	Pomme	10,00	0,64	1,59	6,93	Pomme	1,22	1,00	8,45	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,03
							1,22						
D	Groseille à maquereaux	4,00	0,03	0,21	0,93	Groseille à maquereaux	1,22	1,00	1,13	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,00	1,13
	Mure	5,00	0,03	0,15	0,63	Mure	1,22	1,00	0,77	Ligne petits fruits (1.5m)	m linéaire	1,43	0,54
	Coing	4,00	0,02	0,11	0,46	Coing	1,22	1,00	0,57	Pré verger	Arbre 10 m	100,00	0,01
	Poire	10,00	0,20	0,51	2,22	Poire	1,22	1,00	2,71	Pré verger	Arbre 10 m	300,00	0,01
	Pomme	10,00	0,64	1,64	7,11	Pomme	1,22	1,00	8,67	Pré verger	Arbre 12 m	250,00	0,03
	Céréales												
	Pain de froment		14,68	0,22	11,72	Farine de froment	1,26	1,07	15,73	Grandes cultures	m2	0,45	34,95
	Pain d'épeautre		14,68	0,22	11,72	Farine d'épeautre	1,26	1,07	15,73	Grandes cultures	m2	0,32	49,15
	Pain de seigle		14,68	0,22	11,72	Farine de seigle	1,26	1,07	15,73	Grandes cultures	m2	0,35	44,94
	Flocons d'avoine		1,72	0,03	1,37	Grains d'avoine	1,26	1,33	2,30	Grandes cultures	m2	0,41	5,61
	Pâtes d'épeautre		4,40	0,07	3,51	Farine d'épeautre	1,26	1,33	5,89	Grandes cultures	m2	0,32	18,42
	Nouilles de froment		4,40	0,07	3,51	Farine de froment	1,26	1,33	5,89	Grandes cultures	m2	0,45	13,10
	Graisses												
	Beurre		12,28	0,08	4,29	Lait de vache (litres)	1,05	14,40	59,44	Elevage bovin laitier	UE	3533,31	0,02
	Beurre		0,00	0,00	0,00	Lait de brebis (litres)	1,05		0,00				# DIV /O!
	Beurre		0,00	0,00	0,00	Lait de chèvre (litres)	1,05	22,97	0,00	Elevage caprin laitier	UE	391,67	0,00
	Huile de colza		17,31	0,12	6,05	Graines de colza	1,06	3,17	20,31	Grandes cultures	m²	0,3175	63,98
	Huile de lin		5,00	0,03	1,75	Graines de lin	1,06	3,92	7,25	Grandes cultures	m²	0,30	24,16
	Huile de pépin de raisin		0,00	0,00	0,00	Pépins de raisin	1,06	71,30	0,00	Trituration du raisin	kg	0,10	0,00
	Huile de noix		0,00	0,00	0,00	Noix	1,06	6,00	0,00	Pré verger	Arbre - 10 m	10,50	0,00
	Huile de chanvre		0,00	0,00	0,00	Graines de chanvre	1,06		0,00	Grandes cultures	m²		
	Saindoux		0,00	0,00	0,00	Graisse de porc							

Oléagineux													
Noisettes		1,00	0,30	15,55	Noisettes	1,06	1,00	16,46	Grandes cultures Grandes cultures	Arbre - 3 m	6,00	2,74	
Noix		1,00	0,30	15,55	Noix	1,06	1,00	16,46		Arbre - 10 m	10,50	1,57	
Graines de lin		0,00	0,00	0,00	Graines de lin	1,06	1,00	0,00		m2	0,10	0,00	
Graines de courge		0,00	0,00	0,00	Courge	1,06	1,00	0,00		m2	0,04	0,00	
Laitages													
Lait demi-écrémé	0,85	26,26	0,13	6,97	Lait de vache (litres)	1,05	1,14						
Yaourt (V)	0,85	18,29	0,09	4,85	Lait de vache (litres)	1,05	1,14						
Fromage frais (V)	2,00	0,00	0,00	0,00	Lait de vache (litres)	1,05	4,35						
Fromage pâte molle (V)	4,40	0,00	0,00	0,00	Lait de vache (litres)	1,05	6,67						
Fromage pâte pressée non cuite (V)	4,40	0,00	0,00	0,00	Lait de vache (litres)	1,05	9,71						
Fromage pâte pressée cuite (V)	4,40	0,00	0,00	0,00	Lait de vache (litres)	1,05	11,60						
Crème (V)	3,30	12,28	0,02	0,84	Lait de vache (litres)	1,05		14,14	Elevage bovin laitier	UE	3533,31	0,00	
Lait demi-écrémé (B)	0,85	0,00	0,00	0,00	Lait de brebis (litres)	1,05	1,00						
Yaourt (B)	0,85	0,00	0,00	0,00	Lait de brebis (litres)	1,05	1,00						
Fromage frais (B)	2,00	0,00	0,00	0,00	Lait de brebis (litres)	1,05	3,33						
Fromage pâte molle (B)	4,40	0,00	0,00	0,00	Lait de brebis (litres)	1,05	8,33						
Fromage pâte pressée non cuite (B)	4,40	0,00	0,00	0,00	Lait de brebis (litres)	1,05	10,00						
Fromage pâte pressée cuite (B)	4,40	0,00	0,00	0,00	Lait de brebis (litres)	1,05	10,00	0,00	Elevage ovin laitier	UE			
Lait demi-écrémé (Ch)	0,85	0,00	0,00	0,00	Lait de chèvre (litres)	1,05	1,06						
Yaourt (Ch)	0,85	0,00	0,00	0,00	Lait de chèvre (litres)	1,05	1,06						
Fromage frais (Ch)	2,00	57,93	0,13	6,53	Lait de chèvre (litres)	1,05	4,55						
Fromage pâte molle (Ch)	4,40	42,48	0,04	2,18	Lait de chèvre (litres)	1,05	6,51						
Fromage pâte pressée non cuite (Ch)	4,40	42,48	0,04	2,18	Lait de chèvre (litres)	1,05	1,00						
Fromage pâte pressée cuite (Ch)	4,40	42,48	0,04	2,18	Lait de chèvre (litres)	1,05	9,51	70,00	Elevage caprin laitier	UE	391,67	0,18	
Crème (Ch)	3,30	0,00	0,00	0,00	Lait de chèvre (litres)	1,05							
Poissons													
Truite		1,00	0,10	5,00		1,36							
Viandes													
Volaille		11,92	0,05	2,85		1,12	1,00	3,17	Elevage avicole chair	UE		1,09	
Bovin viandeux		30,01	0,14	7,17		1,12	1,00	7,99	Elevage bovin allaitant	UE	275,603	0,03	
Porc		40,20	0,18	9,60		1,12	1,00	10,71	Elevage porcin allaitant	UE	1224,167	0,01	
Ovin/Caprin		1,62	0,01	0,39		1,12	1,00	0,43	Elevage ovin allaitant	UE	34,788	0,01	

Œufs													
Oeufs			5,36	278,73		1,12	1,00	310,91	Elevage avicole	UE	112,65	2,76	
Charcuteries													
Divers			0,05	2,34									
Sucres													
Sucres et confiseries		28,00	0,03	1,52	Miel	1,26	1,00	1,52					
Gâteaux et biscuits		26,00	0,03	1,41	Miel	1,26	1,00	1,41		Ruche	20,00	0,15	
					Farine de Froment	1,26	0,68	0,95	Grande culture		0,45	2,11	

Annexe 8

Elevage bovin laitier - Dubois														
Par vache laitière														
	#ind ¹	UGBi	#UGB	Mét	Hf	Lait	Ql	TR	PV	PVa	PCa	Pva	PLm	Qee
Vache	1,00	1,00	1,00	300	1560		600	0,1	350	350	19	12	4200	5,4
Taureau	0,00	1,00	0,00				0	0	0	0	0	0		0
Génisse de l'année (croisé BB)	0,36	0,30	0,11	240	480	810	65	1	117	117	65	45		0,5
Taurillon de l'année (croisé BB)	0,46	0,30	0,14	240	480	810	83	1	150	150	82	58		0,7
Génisse de remplacement	0,10	0,90	0,09	420	2832	810	54	0	0	0	0	0		0,1
		Total ²	1,34	539	2238	748	667					115	3452	6,7
		Rendement (Rdmt)		0,36	1,0									
Pâturage (ha)	0,67 ³	Pertes (P)		0	0,2									
		Surface		1498 ⁴	2685 ⁴									

- *¹ # ind = $Pm \cdot (1 - Tp_j) / 2 - TRm$ pour génisses
= $Pm \cdot (1 - Tp_j) / 2$ pour taurillons
= TRm Pour gén. de rempl.
- *² Tugb = $\sum \Pi (\#ind; \text{colonne})$
- *³ Sp = $Tugb / \text{Camp}$
- *⁴ Sal = $Tal \cdot (1 + P) / Rdmt$

Elevage bovin viandeux - Grevisse															
Par vache allaitante par an															
	#ind ¹	UGBi	#UGB	Ep	Mét	EC	EH	Foin	Ql	TR	PV	PVa	PCa	Pva	Qee
Vache	1,00	0,85	0,85			1400	1400	400	935	0,10	600	57,14	31,43	20,74	7,67
Taureau	0,02	1,00	0,02			1680	1680	480	24	0	1000	0	0	0	0,12
Taurillon de l'année	0,50	0,40	0,20	270				1200	222	0		0	0	0	1,24
Génisse de l'année	0,50	0,40	0,20	270				1200	222	0		0	0	0	1,24
Taurillon 1 an et +	0,50	0,60	0,30		393			2000	333	1,00	675	340	201	132	2,42
Génisse 1 an et +	0,41	0,60	0,25			352	352	1850	270	1,00	675	275	143	95	1,96
Génisse de remplacement (j 17 mois)	0,10	0,80	0,08			1315	1315	300	84	0	0	0	0	0	0,46
		Total	1,90	272	198	1707	1707	3413	1445					248	15,11
		Rendement		0,32	0,45	0,80	1,00	1,00							
Pâturage (ha)	0,95	Pertes		0	0	0	0,20	0,20							
		Surface		850	440	2133	2048	4096							

Elevage bovin viandeux - Graux													
Par vache allaitante par an													
	#ind ¹	UGBi	#UGB	Mét	Hf	Ql	TR	PV	PVa	PCa	Pva	Qee	
Vache	1,00	0,85	0,85		3240	595	0,10	600	60	33	19,8	7,08	
Taureau	0,02	1,00	0,02		3240	15	0	1000	0	0	0	0,19	
Taurillon de l'année	0,50	0,40	0,20		1296	141	0		0	0	0	1,68	
Génisse de l'année	0,50	0,40	0,20		1296	141	0		0	0	0	1,68	
Taurillon 1 an et +	0,50	0,60	0,30	178	1944	211	1,00	675	340,2	200,7	132,5	2,52	
Génisse 1 an et +	0,41	0,60	0,25	178	1944	171	1,00	675	275,9	182,1	120,2	2,04	
Génisse de remplacement (j 17 mois)	0,10	0,80	0,08		3049	53	0	0	0	0	0	0,63	
		Total	1,82	162	163	920					272,5	15,19	
		Rendement		0,45	1,00								
Pâturage (ha)	0,91	Pertes		0,00	0,20								
		Surface		362,06	195,51								

Chevrerie										
Par chèvre et sa suite										
	#ind ¹	UGBi	#UGB	TAP	Foin	LVec	LVen	Ql	PLm	Qee
Chèvre	1,00	0,17	0,17	231	1000			170	392	1,00
Bouc	0,05	0,17	0,01	18	1200			8,5		0,05
Chevrette (jusqu'à 15 kilos)	0,30	0,09	0,03		7,50	43	87	27		0,16
Chevrette après sevrage (jusqu'à 30 kilos)	0,30	0,09	0,03	72	270			27		0,16
		Total	0,23	253	1062	13	26	186,7	392	1,37
		Rendement		0,45	1,00					
Pâturage (ha)	0,14	Pertes		0,00	0,20					
		Surface		563	1274					

Par brebis - Elevage ovin allaitant														
	#ind ¹	UGBi	#UGB	OP	EAP	TAP	Foin	Ql	TR	PV	PVa	PCa	Pva	Qee
Brebis	1,00	0,15	0,15	82,5	41,2	41,2	300	112,	0,20	80	16	7,5	6,0	1,00
Bélier	0,10	0,15	0,02	99,0	49,5	49,5		11,2	0,00	0	0	0	0	0,10
Agneau né en mars	0,97	0,05	0,05	26,2	13,1	13,1		36,4	1,00	45	44	20,4	16,5	0,32
Agneau né en novembre	0,54	0,07	0,04	30,0	15,0	15,0	0	28,1	1,00	45	24	11,2	9,1	0,18
Agnelle de remplacement : mars	0,20	0,05	0,01	26,2	13,1	13,1		7,50	0,00	0	0	0	0	0,07
		Total	0,26	134	69,6	69,6	300	165					31,6	1,67
		Rendement		0,45	0,45	0,45	1,00							
Pâturage (ha)	0,15	Pertes		0	0	0	0,20							
		Surface		297	149	155	360							