

**Faculté des bioingénieurs**

# **Identification de stratégies de couverts de sol et amendements en maraichage de petite surface**

**LBIRA2130 – Projet disciplinaire en agronomie**

Auteurs : Georges Jeremiah, Lurkin Mara, Rahali Masbouri Khadija, Verhelst Samuel  
Enseignant : Lobet Guillaume  
Année académique 2023-2024

# Rapport de projet :

## Identification de stratégies de couverts de sol et amendements en maraîchage de petite surface

LBIRA2130 - Projet disciplinaire en agronomie

### Étudiants

Georges Jeremiah

Lurkin Mara

Rahali Masbouri Khadija

Verhelst Samuel

### Enseignant

Lobet Guillaume

## Résumé

L'objectif de ce travail est de proposer un plan expérimental visant à déterminer l'intérêt de différents couverts du sol sur l'environnement et la production en maraîchage petites surfaces. Ce plan expérimental devrait être appliqué à un sujet de mémoire en lien avec Guillaume Lobet et la faculté des bioingénieurs de l'UCLouvain dans les prochaines années. Ce plan expérimental est prévu dans le but de lancer une expérimentation agronomique long-terme avec la finalité d'informer les maraîchers sur des pratiques alternatives possibles à la bâche en plastique comme couvert de culture (témoin dans notre expérience) et de mettre en lumière leurs avantages et inconvénients.

La première partie du rapport vise à faire un état des connaissances actuelles sur les différents couverts possibles (non-organiques, organiques vivants et organiques non-vivants) et leurs impacts sur les propriétés du sol, sur les populations de micro-organismes, sur les adventices, sur la rétention d'eau et enfin sur le rendement des cultures. L'état de l'art se poursuit par une caractérisation de différents couverts vivants (monocotylédones, dicotylédones légumineuses et dicotylédones non-légumineuses). Enfin, cette partie se termine par quelques exemples d'expérimentations similaires en Belgique et par les objectifs de notre étude.

Le plan expérimental est détaillé dans la seconde partie du rapport. Le contexte initial de la parcelle est caractérisé pédologiquement et climatiquement. Les types de couverts choisis y sont détaillés de même que les cultures principales (voir figure 12). Pour cette expérience, nous avons sélectionné comme couvert, la bâche en plastique, une association mélilot-moha, le BRF, la paille et un mélange de trèfle. Leurs caractéristiques principales et besoins sont également repris. Dans cette même section, les différentes mesures à prendre sont détaillées (chimiques, structurale, biologiques et hydriques).

Enfin, le rapport se termine par une brève discussion combinée à la conclusion dans laquelle seront mentionnés les points possibles d'amélioration de l'expérience.

**Mots clés :** couverture du sol, maraîchage, plan expérimental, expérience long terme  
**Nombre de caractères :** 99.854

# Table des matières

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>État de l'art</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1      | Introduction . . . . .  | 6         |
| 2.2      | Défis rencontrés en maraîchage . . . . .                                | 7         |
| 2.3      | Couvertures du sol . . . . .  | 7         |
| 2.3.1    | Couvertures inorganiques . . . . .                                      | 7         |
| 2.3.2    | Couvertures organiques . . . . .  | 7         |
| 2.3.2.1  | Rôle des couvertures organiques sur les propriétés du sol               | 9         |
| 2.3.2.2  | Rôle des couvertures organiques sur la population microbienne . . . . . | 9         |
| 2.3.2.3  | Rôle des couvertures organiques sur les adventices . . . . .            | 9         |
| 2.3.2.4  | Rôle des couvertures organiques sur la rétention en eau . . . . .       | 9         |
| 2.3.3    | Couvertures vivantes . . . . .  | 9         |
| 2.3.3.1  | Monocotylédones . . . . .   | 10        |
| 2.3.3.2  | Dicotylédones légumineuses . . . . .                                    | 10        |
| 2.3.3.3  | Dicotylédones non-légumineuses . . . . .                                | 11        |
| 2.4      | Essais expérimentaux sur les couvertures du sol en Belgique . . . . .   | 11        |
| 2.5      | Expérimentations agronomiques long terme . . . . .                      | 13        |
| 2.6      | Objectif de l'étude . . . . .   | 14        |
| <b>3</b> | <b>Plan expérimental</b>  | <b>15</b> |
| 3.1      | Lieu d'expérimentation . . . . .  | 15        |
| 3.1.1    | Localisation . . . . .  | 15        |
| 3.1.2    | Climat . . . . .  | 16        |
| 3.1.3    | Pédologie, géologie et hydrographie . . . . .                           | 17        |
| 3.1.4    | Occupation du territoire . . . . .                                      | 17        |
| 3.2      | Type de couvert . . . . .   | 17        |
| 3.2.1    | Couvert témoin . . . . .  | 18        |
| 3.2.2    | Paille . . . . .  | 18        |
| 3.2.3    | BRF (Bois Raméal Fragmenté) . . . . .                                   | 18        |
| 3.2.4    | Couvert végétal mixte . . . . .   | 19        |
| 3.2.4.1  | Mélilot . . . . .   | 19        |
| 3.2.4.2  | Moha . . . . .  | 20        |
| 3.2.4.3  | Choix des modalités du mélange . . . . .                                | 21        |
| 3.2.4.4  | Apport du couvert . . . . .   | 21        |
| 3.2.5    | Mélange de trèfles . . . . .  | 22        |
| 3.2.5.1  | Trèfle incarnat . . . . .   | 22        |
| 3.2.5.2  | Trèfle Perse . . . . .  | 22        |
| 3.2.5.3  | Trèfle Michelii . . . . .   | 22        |
| 3.3      | Mesures des propriétés du sol . . . . .                                 | 23        |
| 3.3.1    | Analyse chimique . . . . .  | 23        |
| 3.3.1.1  | pH . . . . .  | 23        |
| 3.3.1.2  | Éléments principaux : P, K, N, C, Mg et Ca . . . . .                    | 24        |
| 3.3.1.3  | Capacité d'échange cationique . . . . .                                 | 24        |
| 3.3.1.4  | Matière organique . . . . .   | 24        |
| 3.3.2    | Analyse structurale . . . . .   | 25        |
| 3.3.2.1  | Granulométrie . . . . .   | 25        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.3.3    | Analyse de biodiversité . . . . .                               | 25        |
| 3.3.3.1  | Pièges à carabes . . . . .                                      | 26        |
| 3.3.3.2  | Pièges à vers de terre . . . . .                                | 27        |
| 3.3.3.3  | Tea bag index . . . . .   | 28        |
| 3.3.4    | Analyse hydrique . . . . .                                      | 31        |
| 3.3.4.1  | Tension . . . . .   | 31        |
| 3.3.4.2  | Infiltration . . . . .  | 31        |
| 3.3.5    | Mesures pour la caractérisation initiale du sol . . . . .       | 31        |
| 3.3.6    | Mesures pour la caractérisation de l'évolution du sol . . . . . | 32        |
| 3.4      | Cultures principales . . . . .                                  | 33        |
| 3.4.1    | Sélections des cultures principales . . . . .                   | 33        |
| 3.4.2    | Caractérisation des besoins des cultures principales . . . . .  | 35        |
| 3.4.2.1  | L'oignon . . . . .  | 35        |
| 3.4.2.2  | Le haricot . . . . .  | 35        |
| 3.4.2.3  | Les épinards . . . . .  | 36        |
| 3.4.2.4  | Les courges . . . . .   | 36        |
| 3.4.2.5  | Les choux . . . . .   | 37        |
| <b>4</b> | <b>Discussion et conclusion</b>                                 | <b>38</b> |
| <b>5</b> | <b>Annexes</b>  | <b>48</b> |

# 1 Introduction

Une question revient souvent chez les maraîchers : "*Quels couverts de sol utiliser lors de mes cultures maraîchères ?*". Ce rapport a pour but d'essayer de répondre à cette question. Grâce à l'aide du professeur Guillaume Lobet et de la ferme universitaire de Lauzelle, un protocole expérimental a été imaginé afin de tester plusieurs couverts de sol sur des parcelles maraîchères en activité.

Notre objectif consiste donc à comparer différentes stratégies de couverture du sol et d'amendement sur une exploitation maraîchère, et de proposer un protocole expérimental sur le long terme pour les tester sur le site de la ferme de Lauzelle. Cette expérience se déroulerait sur 25 ans et comparerait 5 types de couverts différents sur une vingtaine de parcelles maraîchères, avec un cycle cultural fixé. Ce protocole a été élaboré sur la base de nombreuses recherches bibliographiques et des conseils de Simon Vanderveken, fermier de la ferme de Lauzelle.

Ce rapport est divisé en plusieurs parties distinctes. Il débute par un état de l'art composé de recherches bibliographiques sur les différents types de couverts en maraîchage, leur rôle et leurs bienfaits, ainsi que sur les expériences agronomiques long terme. Ces recherches serviront à situer notre problématique et à aider à la rédaction de notre plan expérimental. Celui-ci comprendra la caractérisation de notre lieu d'étude, les types de couverts utilisés ainsi que le cycle cultural maraîcher utilisé. Une partie concernant la description de nos mesures sur les propriétés des sols est également incluse dans notre plan expérimental, décrivant ainsi la collecte et le traitement des données. Enfin, la dernière partie de ce rapport servira de conclusion.

## 2 État de l'art

### 2.1 Introduction

Dans le vaste domaine de l'agriculture, le maraîchage occupe une place importante. D'après le dictionnaire Cambridge, il s'agit de "la production à relativement petite échelle de légumes et de fruits, et la vente de ces productions à un public" [36]. En Wallonie, en 2018, les légumes cultivés en plein air représentaient 18.143 ha, c'est-à-dire 2,5% de la superficie agricole wallonne [86]. Les principaux légumes cultivés durant l'intervalle de temps 2010-2018 étaient : les petits pois, les haricots et les carottes. Les oignons et les épinards sont également bien représentés en Wallonie [86]. Beaucoup des légumes en plein air sont également cultivés en agriculture biologique. En 2021, la culture de légumes en agriculture biologique représentait 2.659 hectares, soit environ 3% de la totalité des surfaces agricoles dédiées à l'agriculture biologique. Concernant les légumes cultivés en "bio", les pois et les carottes sont les cultures les plus représentées [19]. Mis à part la distinction entre les cultures biologiques et celles dites "conventionnelles", il est possible de classifier les producteurs de légumes selon la superficie de leur exploitation. Il y a le maraîchage sur petites surfaces (superficie brute de légumes < 2,5 ha), le maraîchage sur moyennes surfaces (superficie brute de légumes de 2-10 ha), et le maraîchage sur grande surface (superficie brute de 12-38 ha). Dans le cadre de ce projet, nous nous intéresserons qu'au maraîchage biologique sur petites et moyennes surfaces [38].

## **2.2 Défis rencontrés en maraîchage**

Ces cultures légumières sont très demandeuses en fertilisants, irrigation et en labour [62] [106] [29]. Cependant, bien que cela permet d'augmenter le rendement en légumes et les profits, l'utilisation excessive de fertilisants et un labour fréquent sont néfastes pour l'environnement. En effet, les systèmes horticoles tendent à être très sensibles à la perte en azote inorganique, et une fertilisation trop importante en azote peut donc entraîner plusieurs dégradations de l'environnement, en particulier la contamination des eaux par la lixiviation du nitrate [35]. Il est donc nécessaire d'adapter nos systèmes de production horticoles pour qu'ils soient moins demandeurs en fertilisants. De possibles solutions d'adaptation seront discutées dans les prochaines parties.

Concernant le labour, il est utilisé presque systématiquement pour préparer le lit de semis, incorporer les fertilisants ou fumiers dans le sol, ou encore pour le contrôle des adventices [81] [47]. Toutefois, un labour excessif présente également de nombreux inconvénients. En effet, cela entraîne une diminution de la qualité des sols car elle fait diminuer la matière organique présente dans les sols, déstructuration du sol (en détruisant les agrégats), une perte des nutriments et du carbone des sols, ainsi qu'une perte de biodiversité [106]. Cependant, il est difficile de se passer du labour, en particulier à cause de son importance dans la gestion des adventices. Implémenter de nouvelles méthodes pour réduire l'utilisation du travail du sol sont donc nécessaires [78]. Dans les parties qui vont suivre seront détaillées des méthodes alternatives qui permettent d'un côté de gérer la fertilisation des sols, et d'un autre côté de lutter contre la présence d'adventices.

## **2.3 Couvertures du sol**

### **2.3.1 Couvertures inorganiques**

Les couvertures du sol sont une des solutions aux problèmes de fertilisation et de gestion des adventices. Toutefois, ce terme est très vaste et peut être divisé en deux grandes catégories : couvertures “végétales” ou organiques et couvertures “non-végétales” ou inorganiques. Quand on parle de couverture “non-vivante”, on pense typiquement aux bâches en plastique. Ces dernières comprennent plusieurs types de bâches. Parmi ceux-ci, on trouve des bâches faites de polyvinyle chlorure (PVC), de films de polyéthylène, incluant le polyéthylène haute densité (HDPE), le polyéthylène basse densité (LDPE) qui est majoritairement utilisé chez les agriculteurs, ainsi que le polyéthylène noir. Cependant, ces derniers n'offrent aucune source de fertilisation et peuvent être même nocifs pour l'environnement, en libérant dans les sols des microparticules de plastiques REF. En outre, des matériaux tels que le sable, le gravier et le béton sont également considérés comme des couvertures inorganiques, bien qu'ils soient rarement utilisés en raison de leur coût élevé et de leur apport inexistant en nutriments. Il existe également des options de couvertures photodégradables ou biodégradables, offrant des alternatives plus écologiques, mais peu abordables également [111].

### **2.3.2 Couvertures organiques**

Concernant les couvertures dites “organiques”, elles sont composées de matière d'origine végétale ou animale. Ces dernières sont efficaces pour minimiser la lixiviation des nitrates, booster les qualités physiques du sol, améliorer l'activité biologique, apporter de la matière organique, contrôler la température et la rétention en eau, ainsi que réduire l'érosion. Cependant, la mise en application de ces méthodes est très limitée (surtout pour des applications à grande échelle) à cause des coûts, des problèmes logistiques, et

parce que cela nécessite un effort humain important [102].

Ces couvertures organiques sont également divisibles en deux catégories : les couvertures “vivantes” (aussi appelés “living mulches” ou “cover crops” en anglais) et les couvertures organiques “mortes”(appelés “mulches” en anglais). Parmi ces derniers, le matériel le plus régulièrement utilisé est la paille, qui est un produit de certaines productions agricoles, majoritairement des céréales [66] [30].

On peut citer d’autres matériaux utilisés comme des paillis de papier, composés de papier d’emballage, et qui offrent une alternative moins coûteuse comparée à la paille. Toujours dans ce thème, les journaux en papier sont également une bonne idée de couverture du sol. En effet, il s’agit d’une solution peu chère et facile à mettre en place, et permet de réduire considérablement la quantité d’adventices issues de la saison précédente [53].

Les excréments d’animaux sont également une bonne alternative, car ils contiennent une quantité de matière organique très importante [25]. Toutefois, des brûlures au niveau des feuilles peuvent se produire suite à l’application de ces excréments. En effet, cette réponse physiologique peut être le résultat de la libération rapide de l’ammoniac à partir de l’urée et de l’ammonium contenu dans les excréments [107]. De plus, la décomposition de cet engrais entraîne une compétition avec les besoins de la plante, due au phénomène de la faim d’azote [74].

Le compost est aussi une excellente couverture du sol, car il peut être facilement préparé à la maison avec une grande variété de déchets organiques comme des feuilles, de l’herbe, et d’autres déchets de plantes. Le compostage permet de booster les propriétés du sol, ainsi que la concentration en carbone du sol, ce qui permet d’améliorer la santé du sol et sa capacité à retenir l’eau. Cependant, dû à sa grande concentration en azote, le compostage n’est pas recommandé pour la culture légumière, car il augmente les chances de croissance d’adventices [39].

Les déchets de bois peuvent également servir comme couverture du sol. En général, le ratio C/N des conifères est plus élevé que celui des feuillus, et bien que ce ratio varie beaucoup d’une espèce d’arbre à une autre et au sein d’un même arbre (242-1569 pour l’aubier et 38 pour l’écorce), il dépasse souvent le ratio 12-16 :1 recommandé [17] [23]. Ce haut ratio C :N est problématique, car il limite la quantité d’azote disponible pour la plante [17]. Parmi ces couvertures à base de déchets de bois, on peut citer plusieurs types différents. Le paillage d’écorce est une couverture du sol très efficace, car il retient l’humidité très longtemps, ce qui prolonge la disponibilité en eau pour la culture. Cependant, comme ce dernier est acide, il ne doit pas être utilisé pour les cultures de légumes. Ce type de paillis est toutefois idéal pour recouvrir les chemins entre les lits de culture [66]. La sciure de bois peut également être utilisée comme couverture du sol. Bien qu’elle soit capable de retenir l’humidité pendant une grande période de temps, la sciure en tant que couverture possède quelques inconvénients. Tout d’abord, sa valeur nutritionnelle est faible comparé à la paille, seulement la moitié des nutriments qui constituent la paille. Ensuite, son haut ratio C :N diminue la disponibilité en azote du sol, ce qui nécessite l’utilisation régulière de fertilisants. Enfin, de par sa nature acide, il ne doit pas être utilisé sur des sols à pH faible [97].

#### **2.3.2.1 Rôle des couvertures organiques sur les propriétés du sol**

Le type de couvert utilisé ainsi que la quantité apportée a un impact sur les caractéristiques du sol, tel que la matière organique, l'humidité, la salinité, la texture et la porosité, ce qui impacte le rendement final des cultures [108] [26]. De manière générale, l'application de couvertures organiques non vivantes améliore la santé des sols, ce qui entraîne un rendement plus élevé de la culture. En plus de cela, d'autres propriétés chimiques telles que la capacité d'échange cationique (CEC) et la conductivité électrique (EC) sont également améliorées [27].

#### **2.3.2.2 Rôle des couvertures organiques sur la population microbienne**

Les micro-organismes du sol ont un rôle très important dans les systèmes agricoles, ainsi que pour la disponibilité des nutriments et la qualité des sols [27]. Le mulching améliore le nombre de microbes du sol, ce qui entraîne de meilleures conditions anaérobiques et une meilleure température et humidité du sol. Ces conditions entraînent une accélération de la décomposition microbienne, ce qui améliore la fertilité des sols et donc la croissance et la productivité des plantes qui y poussent. La population microbienne et l'activité de ces microbes dépendent du type de couvert utilisé [27]. Comme mentionné précédemment, l'utilisation excessive de fertilisant est nocive pour l'environnement. Toutefois, l'utilisation de couvert permet d'améliorer la biologie des sols. Cela permet d'accroître la disponibilité en nutriments, donc moins de fertilisants sont nécessaires [27].

#### **2.3.2.3 Rôle des couvertures organiques sur les adventices**

L'un des aspects les plus difficiles de tenir une exploitation agricole est la gestion des adventices [45]. Ces derniers sont en concurrence avec la culture principale pour la lumière, la nourriture, l'eau, les nutriments et l'espace. Elles libèrent également des substances allélopathiques qui réduisent la productivité et la qualité des cultures principales [103]. Toutefois, c'est majoritairement en diminuant la quantité de radiation solaire disponible que les couvertures du sol limitent la présence d'adventices [50]. Il est généralement conseillé de couvrir le sol d'une épaisseur de 5 cm afin de réduire le développement des adventices, car la lumière n'atteindrait le sol que sur les premiers centimètres [73].

#### **2.3.2.4 Rôle des couvertures organiques sur la rétention en eau**

Les couvertures organiques permettent de maintenir l'humidité des sols en couvrant la surface de ceux-ci. Cela permet de diminuer les facteurs qui font perdre de l'eau telle que les radiations solaires, le vent, ou la chaleur [40]. L'application de paille ferait, par exemple, réduire l'évaporation de l'eau des sols d'environ 35% [51]. Ces couvertures organiques sont d'autant plus utiles comparés aux couvertures plastiques, car elles n'empêchent pas l'infiltration et la rétention de l'eau des sols, et sont plus efficaces à conserver l'eau. Utiliser le bon type de couverture peut donc faire diminuer la fréquence d'irrigation et, dans certains cas, de s'en passer complètement. Il est à noter que l'efficacité de ces couvertures organiques dépend entre autres des propriétés du sol et des conditions climatiques du site considéré [39].

### **2.3.3 Couvertures vivantes**

Un autre type de couverture est également utilisé. Il s'agit des couvertures vivantes, aussi appelées couverts végétaux ou "living mulches" en anglais. Ces cultures de couvertures sont l'une des plus anciennes pratiques agricoles, et cette dernière commence à attirer l'attention partout dans le monde [87]. Ces couverts végétaux comprennent tout type de

plante qui sont utilisées à des fins autres que pour obtenir une récolte. Ils sont généralement classifiés en 3 catégories : les légumineuses dicotylées, les dicotylées non-légumineuses, et les monocotylédones (herbes).

Plusieurs études ont démontré les avantages des cultures de couvertures dans la production agricole. Il a par exemple été montré que ces couverts végétaux contribuent à réduire l'évaporation de l'eau du sol, et par conséquent préserver l'humidité du sol pour les prochaines cultures [94]. Ils permettent également d'améliorer la santé des sols en stimulant l'activité des microorganismes ainsi que la diversité de ces microorganismes et leur abondance [67]. En plus de cela, les cultures de couverture pourraient servir de source de matière organique non-négligeable, ce qui permet de réduire l'érosion des sols, et pour certaines espèces, permet également de limiter la lixiviation de l'azote en réduisant le ratio C :N des résidus de culture [90]. Toutefois, l'effet de ces 'living mulches' dépend non seulement du type de sol, et de l'élévation des sols, mais aussi des conditions climatiques pendant la période de croissance de ces couverts végétaux [82].

### 2.3.3.1 Monocotylédones

Parlons tout d'abord des monocotylédones en tant que couverts végétaux. On peut citer par exemple l'orge, le sorgho, le millet, l'avoine, le seigle, le ray-grass, le triticale, et le blé. La culture de couverture idéale serait celle qui croît vite et fournit rapidement une couverture du sol en suffisance, mais aussi qu'elle soit facilement détruite, de manière mécanique par exemple. La destruction en hiver est également une méthode populaire, à condition de choisir des espèces qui ne sont pas résistantes au froid de l'hiver [67].

Ces types de végétaux sont très adaptés pour réduire l'érosion des sols et améliorer la structure de ces sols [75]. Ils permettent également de puiser des quantités importantes d'azote provenant du sol, ce qui limite la lixiviation des nitrates [89]. Cependant, comme ces espèces prélèvent beaucoup d'azote des sols, elles peuvent quelquefois limiter la disponibilité en azote pour les cultures principales [31] [79]. Il est donc important de bien choisir les dates de plantations et de destruction de ces cultures de couvertures pour maximiser les bénéfices de ces dernières et limiter au maximum les potentiels effets négatifs sur la culture principale [67].

En plus de leur effet bénéfique sur la gestion des nutriments des sols, ces couverts permettent de contribuer au développement des micro et macro-organismes bénéfiques pour les sols, et permet également de se débarrasser de certaines maladies et pathogènes des plantes [65] [99].

Un autre avantage de ces couverts est qu'ils permettent de réduire drastiquement la quantité d'adventices, car ils produisent, d'une part, beaucoup de biomasses et donc laissent moins de lumières aux adventices, et d'autre part, ils sont très compétitifs en termes de prélèvement de nutriments, ce qui est un désavantage pour les adventices [67]. Une expérience menée dans l'état de Baden-Württemberg, en Allemagne, a montré que ces cultures de couvertures permettent de lutter efficacement contre les adventices [93].

### 2.3.3.2 Dicotylédones légumineuses

Ensuite, on retrouve les légumineuses. Cette famille inclut en outre le trèfle, le dolique, la féverole, le pois, le soja, le crotalaria et la vesce. Leur avantage principal comparé aux non-légumineuses (monocotylées et dicotylées) est leur capacité à obtenir l'azote nécessaire grâce à une relation symbiotique avec des bactéries situées dans les nodules de leurs

racines, ces bactéries fixant l'azote provenant de l'atmosphère. Donc, les légumineuses utilisées en tant que cultures de couvertures permettent de fournir en azote les sols pour les cultures suivantes. Toutefois, chaque espèce de légumineuse produit différente quantité d'azote en fonction de sa biomasse : plus la biomasse produite est importante, plus la plante va fournir une quantité importante d'azote au sol [67].

### 2.3.3.3 Dicotylédones non-légumineuses

Enfin, on termine avec les dicotylédones qui ne sont pas des légumineuses. Parmi ces derniers, le sarrasin, le lin, la phacélie, le radis, le colza, le carthame, le tournesol, et le navet sont des couverts végétaux souvent utilisés [67].

Ces espèces sont assez populaires, car elles se décomposent rapidement, ce qui permet de libérer plus vite les nutriments, et améliore la structure du sol en diminuant sa compaction (car les racines de ces plantes sont plus profondes). D'une part, sa décomposition rapide en fait un excellent choix, comparé aux monocotylédones en général. En effet, la décomposition rapide de leur biomasse due à leur faible C :N ratio permet de limiter la perte de nutriments tout en apportant une fertilisation adéquate pour satisfaire aux besoins de la culture principale. D'autre part, ces espèces possèdent des racines profondes, ce qui permet d'améliorer l'aération des sols, ainsi que l'infiltration de l'eau [67].

De plus, certaines espèces de Brassicacées sont particulièrement bénéfiques pour le contrôle des pathogènes du sol. En effet, ces derniers libèrent des composés appelés glucosinolates et qui se libèrent dans le sol lorsque la plante se décompose. Ce processus est couramment appelé la biofumigation [96]. On peut également mentionner le fait que certaines espèces, comme le sarrasin, le lin, et le tournesol, sont très attractives pour les polliniseurs. Cela est d'autant plus important pour les systèmes de cultures annuels, qui dépendent grandement de ces polliniseurs [67].

Il est également possible de mélanger plusieurs espèces de couverts différents, c'est-à-dire mélanger des monocotylées, des dicotylées légumineuses et des dicotylées non-légumineuses. L'avantage d'un tel mélange serait surtout qu'au moins une des espèces pourra se développer chaque année et produire suffisamment de biomasses pour lutter contre les adventices et améliorer les propriétés des sols [67].

## 2.4 Essais expérimentaux sur les couvertures du sol en Belgique

Après avoir parlé des avantages et inconvénients de ces couverts, il est intéressant de mentionner les différentes études menées en Belgique concernant l'utilisation des cultures de couvertures. Ci-dessous sont détaillées certaines études qui cherchent à quantifier l'effet des couvertures du sol sur divers paramètres, comme la présence de pathogène ou la quantité en azote des sols.

### Impact des cultures de couverture sur la densité de population du nématode racinaire à lésions *Pratylenchus penetrans*

L'objectif de l'étude était d'évaluer le potentiel reproductif de *Pratylenchus penetrans*, un nématode racinaire à lésion qui affecte beaucoup les cultures horticoles, sur différents cultivars de cultures de couvertures, en test en pots dans un premier temps, et en expériences de terrain par la suite. Dans le cadre de cette étude, 23 cultivars différents ont été évalués contre *P. penetrans* à faible et à haute densité initiale d'inoculum sous conditions

de serre. Ensuite, d'après les préférences des agriculteurs et les résultats des tests en pots, diverses cultures de couverture ont été sélectionnées pour l'étude de terrain. À la suite de cette expérience, il a pu être montré que certains cultivars comme le radis fourrager 'Doublet' et 'Defender' et le trèfle pied-d'oiseau 'Lotar' se sont révélés être de mauvais hôtes de nématodes à faible densité initiale d'inoculum. En expérience de champs, des cultivars comme le radis fourrager 'Doublet', l'avoine japonaise 'Delux', la moutarde jaune 'Chacha', la phalécie 'Natra' et le ray-grass italien 'Fedra' ont réduit la population de nématodes racinaires à lésions. Donc, avec un choix approprié de cultivars de cultures de couvertures, il est possible de réduire la pression en nématodes racinaires à lésions [98].

### **Dynamique des populations de *Verticillium* dans les champs de choux-fleurs : influence de la rotation des cultures, de l'enlèvement des débris et de l'incorporation du ray-grass**

Le but de cette étude était d'examiner l'impact des résidus de chou-fleur sur la densité en inoculum des microsclérotes de *Verticillium* (champignon phytopathogène) et l'effet de l'incorporation de ray-grass sur les microsclérotes de *Verticillium* et sur la maladie du flétrissement chez le chou-fleur. Des expériences en champs ont donc été menées de 2006 à 2010 dans deux champs de chou-fleur en Flandre. Trois systèmes de cultures principales (chou-fleur avec jachère, chou-fleur, et chou-fleur suivi de l'élimination des débris), ainsi que deux systèmes de cultures de couverture (sans culture de couverture et avec ray-grass) ont été testés. Pour les résultats, il a été observé que la rotation intensive de chou-fleur n'affecte pas la densité d'inoculum, et que la densité reste similaire même avec la présence de jachère dans la rotation, ou l'élimination des débris de chou-fleur en fin de culture. Toutefois, l'amendement du sol avec du ray-grass riche en lignine permet de réduire l'inoculum dans le sol, même si l'effet sur l'incidence et la gravité de la maladie de flétrissement des choux-fleurs n'est pas clair [49].

### **La méthode et le moment de l'arrêt des cultures de service agroécologiques influencent l'azote minéral du sol, le rendement du chou et la croissance des racines dans cinq sites d'Europe du Nord et de l'Ouest**

L'étude compare l'effet de deux méthodes de terminaison des cultures de couvertures sur la production de choux biologiques en Europe du Nord et de l'Ouest : par incorporation complète dans le sol ou par rouleau-crimper sans travail du sol, et ce pour trois types de couverts différents (légumineuse, légumineuse et graminée, et graminée seule). Ces expériences de terrains ont mené à une location en Estonie et au Danemark, et à trois locations en Belgique durant deux cycles de cultures (2015/2016 et 2016/2017). Les résultats montrent que les cultures de couvertures, en particulier les céréales, réduisent la disponibilité de l'azote pour les choux suivants, ce qui peut affecter le rendement. L'utilisation du rouleau-crimper a quant à lui entraîné une diminution significative de rendement dans la plupart des cas. Quant à la croissance racinaire, elle était généralement augmentée quand la biomasse aérienne était importante (sauf en Flandre-Orientale, avec l'utilisation du rouleau-crimper). D'autres recherches doivent cependant être menées pour vérifier si le rendement est augmenté sur le long terme avec utilisation du rouleau-crimper comme méthode de terminaison des cultures de couvertures [55].

Cependant, les recherches belges mentionnées ci-dessus se concentrent principalement sur les cultures légumières à grande échelle plutôt que sur les petites ou moyennes surfaces caractéristiques du maraîchage. De plus, aucune de ces études n'aborde spécifiquement les cultures légumières dans le contexte de l'agriculture biologique. Une nouvelle recherche,

cette fois menée en France, a été donc trouvée. Elle porte sur l'implantation de cultures dans des couverts végétaux d'automne couchés au rouleau faca, dans le cadre du maraîchage biologique.

Cette étude avait pour objectif d'étudier des techniques maraîchères pour réduire l'enherbement, préserver la qualité des sols, et diminuer l'utilisation d'énergies fossiles. Plus précisément, l'essai visait à évaluer l'implantation de cultures dans des couverts végétaux couchés par un rouleau faca. Ces expériences ont été réalisées sur un terrain de 1000m<sup>2</sup> à Avignon, en France. Durant ces expériences, diverses modalités étaient comparées : sol nu, mélanges d'espèces pour les couverts végétaux, incorporation dans le sol des couverts, et couchage des couverts végétaux par rouleau faca. Des mesures sur les couverts, le sol, ainsi que les cultures ont été réalisées. Les résultats montrent des différences significatives dans la gestion des adventices, la température et l'humidité du sol, ainsi que sur l'alimentation azotée et le rendement des cultures selon les méthodes utilisées. Par exemple, il a été constaté que le rendement en courges butternut était supérieur quand l'engrais vert était incorporé dans le sol, comparé à un couchage au rouleau faca [55].

Au terme de cet article, deux préoccupations ont été mentionnées : le manque d'études concernant l'usage des cultures de couvertures en maraîchages biologiques, car la plupart des études concernant les cultures de couvertures sont réalisées sur de grandes cultures, ainsi que le manque d'essais sur plusieurs années pour observer les effets longs termes de l'implantations de ces couverts (sur l'enherbement et la fertilisation des sols notamment). Mener des expériences longs termes sur le sujet s'avèrerait donc fort intéressant.

## 2.5 Expérimentations agronomiques long terme

La définition d'une expérience long-terme est très simple : il s'agit d'une manipulation planifiée d'un système sur une période de temps assez importante. Toutefois, la durée à partir de laquelle une expérience peut être classifiée comme long terme est très variable, car cela dépend de la dynamique temporelle du phénomène que l'on veut étudier. En général, on parle au minimum de 15-20 ans pour qu'une expérience soit classée comme "long terme" [21].

Les avantages de mettre en place une expérimentation agronomique long-terme sont multiples. Tout d'abord, il s'agit de la seule manière d'identifier des tendances et de comparer des systèmes stables sur le long terme de manière planifiée, et cela est essentiel pour le développement et le test de modèle qui caractérisent des phénomènes longs termes. Avec ces expériences, il est également possible de récolter des échantillons et de les archiver pour pouvoir être utilisés dans de nouvelles études [21].

Toutefois, mettre en place une expérience de ce type présente aussi des inconvénients. Tout d'abord, il est compliqué de trouver un compromis entre le nombre de traitements à appliquer et la taille des parcelles d'expérimentation. En effet, la taille du site d'expérimentation est souvent limitée, et son choix doit être réfléchi, car ce type d'expérience implique un temps d'occupation du site très élevé (et donc indisponible pendant plusieurs années) [21]. Si on décide d'avoir des planches d'expérience assez grandes, on obtient des résultats proches de ce qui peut se passer en champs, et on limite les effets de bordure [80]. Cependant, utiliser des planches de grandes tailles présente également des inconvénients. D'une part, les planches de grandes tailles sont plus affectées par l'hétérogénéité des propriétés du sol, contrairement aux petites parcelles, ou le sol y est souvent homo-

gène. D'autre part, dans une perspective long-terme, les besoins des futures recherches sont inconnues, et donc une expérience avec beaucoup de traitements aura plus d'utilité dans le futur qu'une expérience avec peu de traitements [21].

Ensuite, les méthodes analytiques (comme les méthodes de mesures) changent avec le temps, ce qui peut créer des problèmes de comparaisons si on travaille sur un grand intervalle de temps (à moins que l'on décide d'archiver des échantillons). Puis, on peut citer que l'urbanisation aura sur l'expérience. En effet, l'urbanisation peut changer les conditions microclimatiques, donc on aura plus de mal à distinguer l'évolution réelle du climat des effets locaux dus à l'urbanisation. Enfin, le fait de conserver des échantillons pour des analyses futures pose également problème. En effet, les coûts de stockage et l'organisation de ces échantillons ne sont pas aisés et sont à prendre en compte si on compte réaliser des prélèvements pour les archiver [21].

## 2.6 Objectif de l'étude

L'objectif principal de notre projet est de mettre en place un plan expérimental visant à comprendre l'impact à long terme de différentes stratégies de couverture du sol en maraîchage biologique sur la qualité globale des sols. Ce plan expérimental sera basé sur une revue de littérature approfondie et mettra particulièrement l'accent sur la fertilité et la biologie du sol, ainsi que sur la gestion des adventices.

Dans le cadre de ce travail, nous avons réalisé une analyse détaillée des différentes couvertures du sol et des cultures maraîchères afin de sélectionner les options les plus pertinentes à tester. De plus, nous avons identifié des mesures et des indicateurs potentiels pour quantifier l'effet des différentes stratégies de couverture du sol. Ces mesures nous permettront d'évaluer les changements dans la fertilité du sol, la biodiversité du sol et la suppression des adventices résultant de l'utilisation de différentes pratiques de couverture du sol.

Nous avons également développé un modèle permettant de prédire l'effet de différentes stratégies de couverture sur la fertilité des sols. Ce modèle sera utilisé pour comparer les prédictions avec les mesures réelles effectuées sur le terrain, ce qui sera utile pour valider et affiner les résultats qui seront obtenus lors de la mise en place de ce plan expérimental.

### 3 Plan expérimental

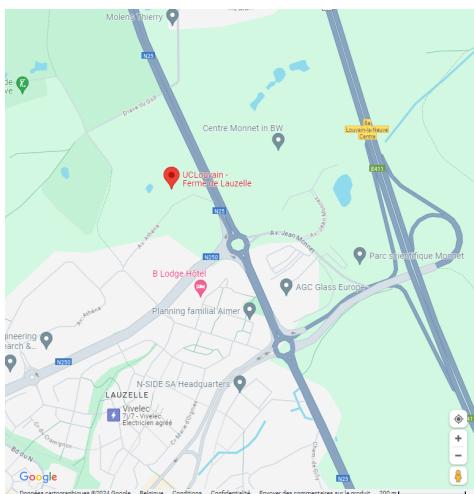
#### 3.1 Lieu d'expérimentation

Pour que la réalisation d'un plan expérimental se passe au mieux, il est important de prendre en compte et de comprendre le contexte dans lequel on se trouve. Dans cet esprit, cette partie développe l'analyse initiale de la ferme de Lauzelle ainsi que des sols à notre disposition.

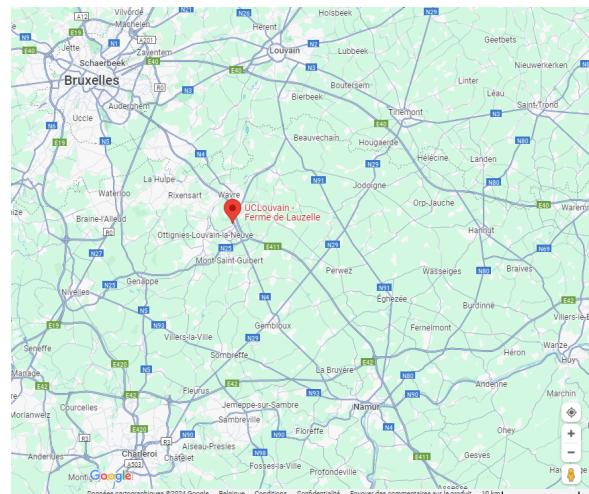
##### 3.1.1 Localisation

La ferme de Lauzelle est une ferme possédant 3 hectares de cultures consacrées à l'expérimentation scientifique en maraîchage biologique de petite ou moyenne surface. Elle est située aux abords d'Ottignies-Louvain-la-Neuve, de Corroy-le-Grand et de Wavre dans le Brabant Wallon[100].

La localisation plus précise est visible sur la figure 1 ci-dessous.



(a) Localisation à petite échelle



(b) Localisation à plus grande échelle

FIGURE 1. Localisation de la ferme de Lauzelle sur une carte de la Belgique

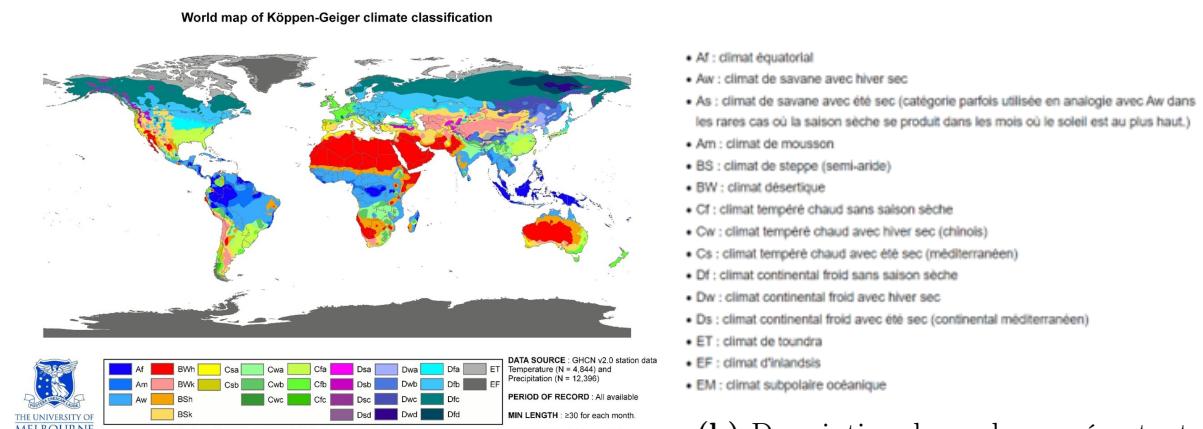
Sur la figure 2 présente ci-dessous, une vue plus détaillée des différentes parcelles de culture est présentée. Notre parcelle d'intérêt est la parcelle C. Elle se divise en 10 planches que nous avons décidé de subdiviser en demi planches A et B.



**FIGURE 2.** Localisation des différentes planches d'intérêt

### 3.1.2 Climat

Au niveau du climat local, nous voyons grâce à la classification de Köppen de la figure 3 que la Belgique est située sur une zone à climat tempéré chaud sans saison sèche (Cfb) et donc plutôt océanique avec des hivers doux et humides avec des étés plus frais [10].



**(b)** Description des codes représentant les climats

**FIGURE 3.** Localisation des différents types de climat par la classification de Köppen-Geiger



**FIGURE 4.** Moyennes météorologiques mensuelles à Ottignies-Louvain-la-Neuve  
10.2°C de température annuelle moyenne mais, en dessus des 910 millimètres mensuels mesurés sur l'ensemble du territoire belge [28].

### 3.1.3 Pédologie, géologie et hydrographie

La position particulière de la ferme ainsi que la géologie et la topographie du territoire mènent à une pédologie assez variable. Nous pouvons donc trouver une multitude de types de sols différents allant des sols calcaires assez bien drainés à des sols plus argileux ou présentant plus d'alluvions [83].

La ferme est également située dans une zone du pays qui présente principalement des couches sédimentaires. Nous pouvons observer des formations du Dévonien et du Carbonifère avec des alluvions déposées plus récemment dans les vallées [85] [46].

La zone d'Ottignies Louvain-la-Neuve possède un réseau hydrographique assez fourni et diversifié possédant entre autres des ruisseaux et rivières locales qui sont alimentés par les pluies et les eaux du sol (le Train, la Lasne, l'Orne...). De nombreux espaces artificiels comme des lacs ou des étangs sont également présents (Lac de Louvain-la-Neuve). En plus de cela, la région est traversée par la Dyle qui est un affluent de l'Escaut [84] [13].

### 3.1.4 Occupation du territoire

Étant donné que les recherches de la ferme portent sur le maraîchage, les cultures majoritairement présentes sur les parcelles sont des fruits et des légumes qui peuvent parfois être combinés avec les arbustes.

La ferme possède le label bio depuis fin 2019, toutes les cultures respectent donc le cahier des charges de l'agriculture biologique et minimisent les dégâts infligés au sol et à l'environnement [11].

## 3.2 Type de couvert

Dans cette section, nous allons discuter des différents couverts que nous allons utiliser. Nous avons décidé de tester 5 couverts différents. Il y aura donc un couvert témoin ainsi

Nous pouvons également faire une analyse plus quantitative grâce aux données du National Center for Environmental Information.

Nous observons sur la figure 4 une température moyenne annuelle de 10.6°C avec une moyenne de 3.2°C en janvier (hiver) et de 18.3°C en juillet (été).

Au niveau des précipitations, la moyenne est 820 millimètres par an et de 9,18 jours de pluie observable mensuellement.

Nous nous situons donc au-dessus des 10.2°C de température annuelle moyenne mais, en dessus des 910 millimètres mensuels mesurés sur l'ensemble du territoire belge [28].

que deux organiques non-vivants et deux couverts végétaux. Le choix de ceux-ci, ainsi que leur fonctionnement, est détaillé ci-dessous.

### 3.2.1 Couvert témoin

Notre témoin sera une parcelle couverte par des bâches plastiques à laquelle nous apporterons du fumier pour avoir un apport nutritif conséquent afin de fertiliser le sol. Cette pratique est assez classique dans le milieu du maraîchage. Le tunnel maraîcher agricole permet une protection efficace contre le soleil, les intempéries, les ravageurs, mais surtout contre l'enherbement. Cette technique maraîchère permettra également de limiter la transmission de maladie entre les plants.

Pour résumer, ce paillage est une solution économique, mais également peu chronophage, deux arguments qui sont souvent prônés dans le choix du type de couvert d'un agriculteur. Pour notre expérience, nous allons ajouter du fumier de vaches, car celui-ci est plus facilement accessible dans nos conditions. Pour ce qui est de la période pour épandre le fumier, celui-ci doit l'être quatre mois avant la semence. Nous allons donc l'incorporer en octobre par labourage. Cependant, pour les cycles plus longs comme celui des choux, nous l'incorporerons à la fin de la récolte. Au niveau de la bâche utilisée, on utilisera une bâche classique de paillage constituée de polypropylène tissé. Celle-ci est répandue dans le marché et maintient l'humidité du sol tout en laissant passer l'eau.

### 3.2.2 Paille

Dans le paysage des cultures maraîchères, le paillage en paille est un système de couverture assez répandu, comme mentionné dans l'état de l'art. Celui-ci offre un rapport C/N élevé (50-150) [91]. Ce système limite grandement l'avancée d'adventice uniquement si la couche de paillage est conséquente pour provoquer une oblitération de la lumière. Cependant, quelques indésirables, tels que le chardon ou le rumex, arrivent à surpasser le paillage. Il est donc conseillé de remettre fréquemment de la paille si la couche est trop faible. Pour bien faire, il faut déplacer le paillage à la fin de la culture pour éviter une faim d'azote et donc renouveler le paillage en fin de cycle. Un des grands points forts de ce couvert est qu'il offre une meilleure structure du sol, car il est plus riche en humus et qu'il favorise l'activité biologique. Il limite également l'érosion et la battance en augmentant la rétention de l'eau. Il freine également la propagation des limaces sur les cultures et stabilise la température du sol. Il faut cependant garder en tête que le paillage nourrit la vie du sol, mais elle ne remplace pas l'effet de décompactations que peut offrir les systèmes racinaires d'un couvert végétal [8].

### 3.2.3 BRF (Bois Raméal Fragmenté)

La méthode de couvert avec du BRF, *Bois Raméal Fragmenté* consiste à utiliser des fragments de rameaux et de petites branches incorporées sur et dans le sol. Les points forts de cette pratique sont multiples et permettent une bonne exploitation des terres. Un de ces gros points forts est la rétention de l'eau. Le bois en lui-même est capable de stocker une grande quantité d'eau, mais une fois l'humus créé sur celui-ci, cette capacité augmente drastiquement. La lignine contenue dans ces bois est également un apport équilibré en minéraux et améliore rapidement l'état d'un sol. Il introduit du magnésium, du phosphore de la potasse et du calcium. La propagation d'adventice est également freinée. La période de dégradation de ce paillage est assez élevée et nécessite l'action de champignon.

Le BRF a quand même quelques défauts. Son rapport C/N étant assez élevé (60-150) [92], une faim d'azote peut se faire ressentir, surtout lors des premières années d'utilisation.

Le BRF n'est pas adapté à tous les types de sols. Il faut un sol de préférence plutôt caillouteux et bien drainé. Un sol trop humide ou argileux ne conviendrait pas.

Pour fabriquer ce couvert, il faut broyer des rameaux de feuillus, surtout des noisetiers, hêtres et charmes, ayant un diamètre inférieur à 7 cm. On peut y retrouver des traces de résineux, mais ceux-ci doivent être présents à moins de 20 %.

Concernant la mise en place, il faut épandre une couche d'environ 3 cm en automne sur le sol en n'oubliant pas un équilibrage en hiver s'il y a besoin pour éviter la pousse de grosses adventices. Au point de vue pratique, il faudra limiter voir diminuer la couche de paillage lors de la semence des différents légumes afin que ceux-ci puissent débuter leur croissance sans se faire trop restreindre par le couvert.

### 3.2.4 Couvert végétal mixte

Pour le prochain couvert, nous allons associer deux types de couverts végétaux ensemble. Nous avons choisi de mélanger du mélilot jaune, une légumineuse, avec du moha qui est une graminée. Ce choix est expliqué ci-dessous.

#### 3.2.4.1 Mélilot

Le mélilot est une légumineuse de la famille des Fabacées. Cette plante est utilisée comme fourrage ou engrais vert et a également des propriétés médicinales intéressantes. Il existe plusieurs espèces de mélilot mais celles qui nous intéressent le plus sont les mélilots blancs (*Melilotus albus*) et jaunes (*Melilotus officinalis*). Ces deux espèces sont propices à être utilisé comme couvert végétal, car elles ont une plus grande capacité à fixer l'azote de l'air et à structurer le sol [1]. Ces deux espèces ne diffèrent quasiment pas au niveau de leur besoin nutritionnel et cultural. Nous allons cependant devoir prendre le mélilot jaune dans nos expériences, car celui-ci est beaucoup mieux commercialisé que son homologue blanc et que l'accessibilité du produit est importante pour les agriculteurs. De plus, le mélilot jaune est un peu plus petit que le blanc, car il peut atteindre les 100 cm tandis que le blanc peut atteindre jusqu'à 150 cm, ce qui surement trop élevé pour le moha avec lequel on va le mélanger.

Utiliser du mélilot comme couvert à plusieurs avantages. Premièrement, en séchant, la plante dégage une odeur vanillée, ce qui attire de nombreux insectes pollinisateurs. Cette plante méllifère a également un système racinaire profond ce qui engendre une recherche des nutriments en profondeur ainsi qu'une résistance à la sécheresse et au gel (jusqu'à -15°C). Celle-ci sert aussi à limiter l'enherbement des cultures et offre de bons résultats en termes de retour d'azote.

Au niveau de la méthode de semis, il faut semer à la volée à raison de 2 g/m<sup>2</sup>. la période de semis se trouve entre avril et septembre et peut se faire sur tous les types de sols. La plante reste généralement enfouie 6 à 8 semaines après le semis ce qui nous arrange bien, car nous pourrons le semer moins tardivement [64].

Le fauchage peut être une bonne méthode pour prévenir la repousse du mélilot, conserver l'humidité du sol et réduire les mauvaises herbes si on le laisse en paillage. Cela présente des avantages tels qu'une réduction des coûts, une exécution plus rapide et une diminution des risques d'érosion du sol. Toutefois, le fauchage peut entraîner des risques de réduction du rendement et de la qualité, notamment une germination moins favorable des cultures suivantes. Après le fauchage, on aurait également pu broyer et incorporer les végétaux aux couches superficielles du sol, mais ceci demande plus de travail et donc plus de frais pour les agriculteurs donc nous avons décidé de seulement garder la fauche en paillage.



**FIGURE 5.** Photo de mélilot  
[95]

### 3.2.4.2 Moha

Le moha , plus précisément *Setaria italica subsp. moharia*, est une plante de la famille des graminées. On l'utilise souvent comme culture fourragère monocoupe, mais également comme couvert végétal. Son utilisation en temps que couvert végétal peut apporter pas mal d'avantages.

Premièrement, cette plante est très sensible au froid et au gel, ce qui rend sa destruction en fin de cycle assez aisée. Deuxièmement, elle supporte bien les conditions sèches, grâce à son système racinaire fasciculé performant.

Le moha a également quelques défauts. Sa culture attire les pucerons mais a une faible appétence pour les limaces. [7] Il vaut mieux favoriser les variétés tardives pour ne pas rencontrer leur stade de germination.

Au niveau pratique, le moha peut être semé à la volée. Il doit être semé à partir des périodes estivales, car les graines ne germeront pas en dessous de 10°C. Lors de nos expériences, nous le planterons plus tardivement c'est-à-dire mi-août, date limite de semence. Le coût moyen de la semence se situe autour des 19 euros/ha et il faut en moyenne 15 kg/ha de semis en culture simple [7]. Le moha est également un grand amateur d'azote et d'eau. Les associations culturales de moha avec une légumineuse dans le cadre d'un couvert végétal sont souvent appréciées.

Au niveau des exportations par tonne de grain, nous retrouvons [43] :

- N : 16 kg/T
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 3 kg/T
- K<sub>2</sub>O : 3 kg/T



**FIGURE 6.** Couvert de Moha  
[88]

#### **3.2.4.3 Choix des modalités du mélange**

Nous avons donc décidé d'associer du moha et du mélilot dans notre mélange. Le moha a l'habitude d'être mélangé avec d'autres légumineuses comme du trèfle d'Alexandrie ou du pois fourrager. Nous avons cependant voulu introduire une autre légumineuse, un peu moins connue du grand public, afin de tester son efficacité en couvert mixte. Celle-ci apporte du nitrate en suffisance et a une méthode de semis assez pratique. Concernant le moha, son utilisation dans le domaine des couverts végétaux est en augmentation et elle offre tous les avantages que peut offrir une graminée. Son utilisation est donc peu risquée. Ce couvert est le plus expérimental de tous, mais nous voulions tester une alternative innovante aux couverts conventionnels que nous testions.

Au niveau de la composition de notre couvert, nous nous sommes basés sur des mélanges de moha avec d'autres légumineuses et avons déduit qu'il faudrait un mélange de 2 pour 3. C'est-à-dire qu'il faudrait 10kg/ha de mélilot pour 15kg/ha de moha. Ces chiffres ont été approximés par nos soins à partir de recherche bibliographique. Cette proportion n'ayant pas été expérimentée au préalable, elle peut être sujette à des améliorations lors de l'expérimentation. Les semences seront incorporées à la volée dans les différentes planches de cultures.

#### **3.2.4.4 Apport du couvert**

Au niveau des besoins et apports du couvert, n'ayant pas de donnée concrète, nous avons dû faire des estimations par le biais de moyennes entre les apports des 2 plantes.

Nous avons donc estimé que le couvert exporterait :

- 12.2 kg/tMS de potasse
- 4.6 kg/tMS de phosphore
- 16.4 kg/tMS d'azote Ces chiffres sont bien évidemment à prendre avec des pincettes et peuvent être rectifiés par la suite.

### 3.2.5 Mélange de trèfles

Pour ce dernier type de couvert, nous allons utiliser un mélange de différents type de trèfle, des trèfles incarnats, Micheli et Perse. Les trèfles sont des légumineuses qui offrent une architecture aérienne basse. Ces semences nécessitent un entretien minimal et sont très peu chères. Comme chaque légumineuse, celui-ci est connu pour fixer de l'azote qui sera rajouté dans le sol.

Le but de ce mélange est d'avoir une majorité de trèfles incarnats car celui-ci est plus performant. Les deux autres sont présents dans le mélange pour aider le trèfle lors d'événements plus extrêmes comme de la sécheresse, des fortes pluies ou encore du gel. Au niveau des proportions, nous nous sommes basés sur un mélange existant[5]. Celui-ci est composé de 6 kg/ha de trèfle incarnat, 3 kg/ha de trèfle Perse et 1 kg/ha de trèfle de Micheli pour un total de 10 kg/ha et un coût d'environ 41 euros/ha.

Nous faucherons le couvert et le labourerons dans le sol car cette espèce est assez résistante aux autres moyens de destruction et ceci permettra d'assimiler une partie de la matière organique dans le sol [6]. Pour semer le couvert, nous procèderons par un semis à la volée suivi d'un passage au rouleau pour enfouire les semences à leur profondeur optimale d'environ 1 centimètre. On peut le semer de mi-mars à mi-septembre. Nous le planterons donc à la fin des cultures en septembre.

#### 3.2.5.1 Trèfle incarnat

Le trèfle incarnat, appelé également *Trifolium incarnatum*, est un trèfle assez commun dans les couverts végétaux. Celui-ci est un trèfle bisannuel qui résiste assez bien à l'hiver. Son implantation en automne est moins lente que d'autres espèces de trèfles, ce qui est important pour notre expérimentation. Au niveau de la productivité du trèfle incarnat, il a un rapport C/N équivalent à 16, une restitution potentielle d'azote de 17 kg/tMS [34]. Pour une tonne de MS de trèfle, celui-ci exporte 26 kg de potasse et 7 kg de phosphore [33].// Par manque de données, nous ferons l'hypothèse que toutes ces données équivalent au données globales du couvert, car ce mélange est en grande partie constitué de trèfle incarnat. Au niveau des apports, le trèfle incarnat apporte 85 kg d'azote par hectare pour environ 2 tonnes de matières sèches [3].

#### 3.2.5.2 Trèfle Perse

Ce trèfle est une espèce montagnarde qui a un moindre rendement, mais qui est assez résistant au froid et à la sécheresse [42]. Cet atout va nous servir pour rendre plus résistant notre couvert malgré une petite perte de rendement pure.

#### 3.2.5.3 Trèfle Micheli

Cette espèce a un comportement similaire au trèfle incarnat, mais offre un peu moins de rendement que celui-ci. Son grand point fort est qu'il résiste mieux aux excès d'eau dans le sol et aux périodes de sécheresse [42]. L'incorporer dans notre mélange permettra

au couvert d'être plus résistant aux intempéries. Cette espèce s'adapte également à tous types de sols.

### 3.3 Mesures des propriétés du sol

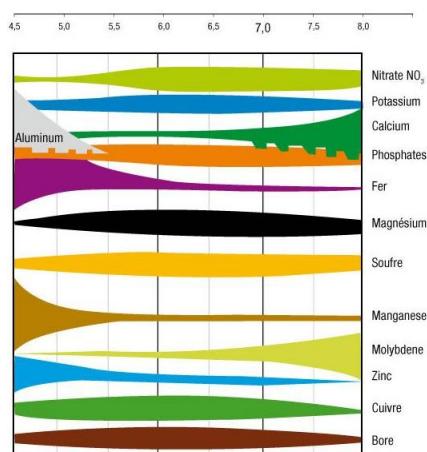
Pour pouvoir réaliser l'expérience long terme de maraîchage biologique et l'analyse de l'impact de nos différents couverts, nous devons tout d'abord approfondir notre connaissance de l'état initial du sol. Grâce à cette étape, nous pourrons mieux comprendre les modifications de composition, de structure ou encore de fertilité de notre sol et mieux identifier les besoins de celui-ci au cours du temps.

Bien que notre objectif initial soit d'analyser différents couverts, nous devons également nous assurer du bon développement de nos cultures afin que nos données soient exploitables et qu'une quantité suffisante de légumes puisse être récoltée tout au long de l'expérience. Pour obtenir cette production, notre sol doit être dans un état correct, bien drainé, avec un pH adéquat, mais aussi une teneur en matière organique et en éléments nutritifs correctes [104]. Les mesures à prendre pour s'assurer de ceci sont donc détaillées ci-dessous.

#### 3.3.1 Analyse chimique

La composition de notre sol va dicter la disponibilité en nutriments pour les cultures et, dans une certaine mesure, influer leur capacité à capter l'eau du sol. Ces analyses nous permettent de définir si le sol présente initialement des carences ou des excès en certains éléments et d'adapter la gestion du sol en conséquence.

##### 3.3.1.1 pH



**FIGURE 7.** Solubilisation des minéraux principaux en fonction du pH

appelés acidité réelle et potentielle du sol.

Pour les mesurer, on mélange une quantité donnée de sols avec soit de l'eau distillée, soit une solution de chlorure de potassium. On mesure ensuite le pH du mélange avec un pH-mètre.

La mesure de pH va nous indiquer le caractère acide ou basique de notre parcelle. Il va également nous permettre de s'assurer que nous ne nous trouvons pas dans une situation où l'assimilation de minéraux plus toxiques a lieu. Par exemple, la solubilisation de formes toxiques d'aluminium en dessous d'un pH de 5,5 qui mène à de grosses diminutions du rendement visible sur la figure 7. [2]

Dans notre cas, il est intéressant de réaliser deux mesures de pH appelées  $pH_{eau}$  et  $pH_{KCl}$ . Le premier donne une indication de la concentration en protons dans la solution du sol tandis que le deuxième évalue l'importance du pouvoir tampon du sol, et donc, sa résistance aux changements de pH. Ils peuvent donc aussi être

Sur la figure 8, un tableau présentant l'interprétation des résultats obtenus pour le  $pH_{KCl}$  est présenté.

Si le pH est trop extrême, nous pouvons réaliser un chaulage qui va permettre une meilleure décomposition de la matière organique et ramener le pH à un niveau plus raisonnable pour les cultures maraîchères. Il faut tout de même être attentif à éviter une remontée du pH trop rapide afin de ne pas trop influer sur la disponibilité en minéraux [37].

| $pH_{KCl}$  | Qualification du sol | Interprétation |
|-------------|----------------------|----------------|
| < 4,5       | Très acide           | À corriger     |
| [4,5 à 5,3[ | Acide                | À corriger     |
| [5,3 à 6,2[ | Légèrement acide     | À surveiller   |
| [6,2 à 6,8[ | Neutre               | Correct        |
| [6,8 à 7,2[ | Légèrement basique   | Élevé          |
| $\geq 7,2$  | Basique              | Élevé          |

**FIGURE 8.** Interprétation des résultats de  $pH_{KCl}$  du sol

### 3.3.1.2 Éléments principaux : P, K, N, C, Mg et Ca

Les éléments minéraux du sol sont très importants pour le développement des cultures se trouvant sur celui-ci. Certains peuvent être toxiques ou nécessaires ou agir sur d'autres mécanismes. Par exemple, les carences en calcium observables dans les plantes lors d'un manque de magnésium dans le sol.

Pour réaliser cette analyse, il faut prélever une partie de sol allant de la surface à environ 15 centimètres de profondeur et les envoyer en laboratoire.

### 3.3.1.3 Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique (CEC) mesure la quantité d'ions positifs que notre sol peut retenir dans son complexe absorbant à un pH fixe. Elle donne donc également des informations sur l'importance des éléments nutritifs disponibles dans le sol pour les plantes [9].

En plus de cela, nous pouvons mesurer le taux de saturation qui correspond au nombre de cations hors protons et ions d'aluminiums présents dans la CEC.

Ces mesures peuvent être réalisées en laboratoire avec les teneurs en éléments minéraux décrits ci-dessus, mais nous pouvons aussi estimer la CEC comme suit :

$$CEC = (\%argile * 0.37) + (\%carbone * 2.73)$$

Le but est d'obtenir une CEC comprise entre 8 et 15 centimoles par kilogramme de sol. Si les résultats obtenus sont considérés comme trop bas, on peut augmenter manuellement le stock de matière organique du sol. Des résultats trop hauts sont moins problématiques [37].

### 3.3.1.4 Matière organique

Le taux de matière organique est directement lié à la concentration en éléments minéraux nutritifs ou non ainsi qu'aux propriétés physiques du sol concerné.

L'objectif est donc de garder une teneur assez stable et suffisante de matières organiques mortes ou vivantes par des apports qui sont réalisés par les cultures, les couverts et/ou par un apport manuel.

La mesure standard de matière organique est réalisée comme suit [57] :

$$\%MO = \%Carbone * 1.72$$

### 3.3.2 Analyse structurale

La structure d'un sol influence énormément sur le développement des cultures. Elle impacte la circulation de l'eau et de l'air, mais aussi la possibilité de croissance des racines. Une bonne structure permet généralement une meilleure résistance aux stress extérieurs et un meilleur enracinement.

#### 3.3.2.1 Granulométrie

L'analyse granulométrique consiste à différencier les composants d'un sol en fonction de leur taille sans prendre en compte la composition. Nous considérons pour des particules sphériques que les sables ont des diamètres supérieurs à 50 micromètres, que les limons sont compris entre 2 et 50 micromètres, tandis que les argiles sont inférieurs à 2 micromètres.

Pour déterminer la proportion massique d'argile, de limon et de sable, nous pouvons faire appel à un laboratoire ou réaliser des tests un peu moins précis, mais plus abordables et rapides à réaliser.

Nous pouvons par exemple prendre une petite portion de terre et la frotter entre les trois premiers doigts de la main. Selon la sensation observée, nous pouvons déterminer l'élément majoritaire du sol (plus collant = argile, plus dou = limon, plus râche = sable).

Nous pouvons également réaliser le test du boudin en réalisant un cylindre de terre légèrement mouillée si besoin et estimer le taux d'argile comme présenté dans le tableau 1. [14]

| État de la terre            | taux d'argile estimé |
|-----------------------------|----------------------|
| Pas de boudin possible      | < 10% d'argile       |
| Tube                        | +/- 10% d'argile     |
| Anneau qui ne se défait pas | > 15% d'argile       |

**TABLE 1 :** Estimation du taux d'argile par la méthode du boudin

En fonction des résultats obtenus, nous pouvons déduire plusieurs caractéristiques du sol comme entre autres la perméabilité du sol. En effet, plus la teneur en argile est grande, plus le coefficient de perméabilité est petit, ce qui signifie que l'eau va difficilement passer d'un endroit à un autre. Ceci peut causer des problèmes de rétentions d'eau et de manque d'aération ce qui peut affecter négativement la croissance des plantes. À l'inverse, si le sol est plus sableux, la perméabilité augmente et nous pourrions nous retrouver avec un sol bien plus facilement érodé et trop drainé et donc un lessivage important des nutriments [41].

### 3.3.3 Analyse de biodiversité

Dans cette sous-section, plusieurs formes d'indicateurs biologiques visant à mesurer l'activité biologique du sol et donc l'impact de différents couverts végétaux seront détaillés. Le but étant de démontrer leurs efficacités et leurs impacts sur l'agréoécosystème et ses composants. En effet, les micro-organismes du sol aident à la décomposition de la matière

organique, mais aussi à la fixation de l'azote organique. Les macro-organismes quant à eux, aident à améliorer la structure du sol et la circulation de l'air et de l'eau. Les méthodes évaluées seront les pièges à carabes, le test du "sachet de thé" et les pièges à vers de terre.

Un bio-indicateur peut être défini de manière générale comme une espèce ou un groupe d'espèces qui reflète l'état abiotique ou biotique de l'environnement, représente l'impact du changement environnemental sur un habitat, une communauté ou des écosystèmes, ou indique la diversité d'autres espèces ([72]).

L'un des principaux intérêts à utiliser des bio-indicateurs est de pouvoir mesurer et identifier de manière relativement fiable la santé de l'écosystème et les perturbations de l'environnement au cours du temps, par exemple, par extrapolation (présence de polluants, indicateurs de changement, évaluation de la richesse d'une communauté...). Leurs intérêts réside aussi dans le fait qu'ils peuvent donner des informations rapidement et avec peu de coûts. Ils permettent également de déduire les réponses de nombreuses espèces difficilement identifiables et quantifiables par les mesures de certaines espèces clés.

### 3.3.3.1 Pièges à carabes

La famille des carabes rassemble l'ensemble des coléoptères de grande taille. Les carabes sont répartis en 40 000 espèces et 1800 genres. La taille et la couleur peut fortement varier en fonction de l'espèce (de quelques millimètres à plusieurs centimètres) Ils représentent des auxiliaires importants dans les agro-écosystèmes par les nombreux services écosystémiques qu'ils peuvent rendre à une exploitation [59].

Une grande partie de ces services écosystémiques sont liés à leurs régimes alimentaires. Les insectes représentent une part de leurs régimes alimentaires pour 80 % des espèces adultes et 90 % dans les stades juvéniles. Les carabes sont non seulement des prédateurs d'insectes et d'espèces inversives telles que les limaces (genre *Scaphynotus*) et de puces, mais également de graines de mauvaises herbes. En fonction de l'espèce, ces graines peuvent représenter une part majeure de leurs alimentations. Plusieurs études démontrent l'impact réducteur sur le nombre de mauvaises herbes dans les parcelles [16] [32].

Ces insectes sont utilisés depuis longtemps comme indicateurs dans des domaines très variés car ils ont une sensibilisation importante aux changements dans la végétation, mais également dans les variations de l'humidité et de la température [70] [54] [24] [77]

Pour mesurer la diversité dans les populations de carabes et l'abondance de ceux-ci, la méthode d'observation utilisée sera celle du piège Barber [22]. Cette méthode consiste à enterrer un récipient aux parois lisses qui affleurent le sol. Le fond du récipient peut être rempli d'eau pour éviter que les insectes ne s'échappent. En cas de pluies abondantes il faut également prévoir un couvercle pour éviter que le récipient se remplisse d'eau mais il faut tout de même que ce couvercle permette encore aux carabes de tomber dans le piège [22].

Le choix de ce piège en particulier est relativement arbitraire, car il existe de nombreux autres pièges comme des pièges à colle, des pièges Malaisie, le ramassage à la main et bien d'autres. Cependant le piège Barber est la méthode la plus utilisée, elle est efficace pour les carabes, elle représente un coût faible et nécessite peu de main-d'œuvre [63]. En fonction des possibilités lors de la mise en place de l'expérience, une collecte manuelle



**FIGURE 9.** Exemple de piège Barber  
[22]

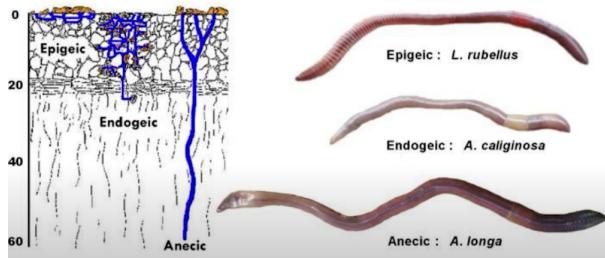
des différentes espèces de carabes présentes dans les parcelles pourrait également s'avérer utile, car le piège Barber a tendance à collecter les espèces de plus grande taille et la collecte manuelle amène souvent à des résultats de diversité d'espèce différent [58].

### 3.3.3.2 Pièges à vers de terre

Les vers de terres représentent une part majoritaire de la biomasse présente dans les sols en régions tempérées. Ils sont responsables de changements importants dans la porosité du sol. Ces changements entraînent des améliorations dans les capacités du sol de rétention et d'infiltration de l'eau [71]. Ces changements sont peu décrits dans les systèmes agricoles des régions tempérées, mais on sait que les populations varient de 100 à 200 individus par mètre carré. Dans les systèmes naturels moins influencés par les activités anthropomorphiques, ce nombre peut fortement augmenter. Par exemple, dans les prairies, on dépasse généralement les 500 verres de terres par mètre carré [69]. Ils sont capables de digérer de 2 à 30 fois leurs masses en sol par jours et sont souvent décrits comme les ingénieurs du sol. Ils sont souvent décrits dans la littérature comme une espèce clé dans la santé de nos écosystèmes (keystone species) [110] [18] [68].

Les vers de terres peuvent être séparés en 3 catégories dans la classification écologiques. On les distingue par leur morphologie et par la profondeur de sol dans laquelle ils évoluent. Le premier groupe est composé des verres anéciques, ils forment des galeries verticales entre 1 et 2 mètres de profondeur à partir desquelles ils vont prélever de la matière organique en décomposition à la surface du sol la nuit. Ils entraînent cette matière organique dans leurs terriers ou ils s'en nourrissent. Une manière d'identifier leurs présences est de détecter à la surface des petites tours de défections (turricules) qu'ils génèrent à chaque remontée à la surface. La deuxième catégorie est composée des verres endogés. Ils creusent des galeries horizontales, mais ceux-ci se nourrissent directement dans celles-ci. Leurs défections rebouchent généralement leurs tunnels ce qui les rend plus durs à détecter par observations des galeries dans une coupe de sol. C'est un groupe assez vaste avec des régimes alimentaires et des profondeurs d'activités variables. Le troisième groupe est composé des épigés, ils sont présents uniquement à la surface du sol et se nourrissent de litière, de défections d'autres animaux ou de bois en décomposition [105]. Ci-dessous une représentation de ces 3 groupes et des profondeurs auxquelles ils évoluent.

Pour évaluer la présence et l'impact des vers de terre dans ce projet, il faut mettre en



**FIGURE 10.** Les 3 catégories de verres de terre selon la classification écologique [105]

place une méthode efficace et quantitative tout en limitant le temps nécessaire aux mesures et le coût économique de celles-ci. L'extraction à la main ou par la chaleur sont parmi les méthodes les plus efficaces, mais elles demandent beaucoup de temps. De plus le tri à la main entraîne souvent une sous-évaluation des populations surtout pour repérer les stades juvéniles et les cocons. Les mesures seront fortement influencées par la rigueur de l'individu effectuant la mesure. Une alternative à ces problèmes est de forcer l'extraction des verres de terres de manière chimique (par exemple à l'aide d'huile de moutarde). Bien que plus rapides ces méthodes génèrent souvent une surévaluation des verres anéciques comme ils ne rebouchent pas leurs galeries avec leurs défections (contrairement aux verres endogés qui sont donc sous-évalués) [109].

Une autre méthode intéressante pour évaluer les populations de verres de terres appartenant aux anéciques serait de compter les turricles présents à la surface du sol sur une surface délimitée. Cette méthode ne renseigne pas sur le nombre d'individus ni sur la présence des autres groupes, mais si elle est prise à plusieurs reprises dans le temps elle permettrait d'évaluer l'évolution de l'activité biologiques de ce groupe de ver de terre spécifique. De plus, elle représente une des méthodes les moins impactantes sur le sol. C'est également une méthode assez rapide et avec un coût économique nul. C'est donc la méthode qui sera sélectionnée pour ce travail. L'objectif de cette mesure sera d'estimer l'activité réelle des vers. Pratiquement parlant, de la paille sera placée dans une "cage à vers de terre" (contenant rempli de paille dans lequel les vers de terre peuvent se déplacer librement) à la surface du sol. Tous les 15 jours, le nombre de turricule sont comptés et si cette mesure est réalisée pendant assez longtemps (généralement sur une période de 6 mois, on peut mesurer l'évolution de ces populations).

### 3.3.3.3 Tea bag index

L'évolution du taux de carbone dans les sols est déterminée par 2 procédés biochimiques de base, la respiration et la photosynthèse. Dans les sols agricoles, la majeure partie de cette respiration et donc de l'émission de carbone est liée à la décomposition de la matière organique végétale. Ces mécanismes de décomposition sont complexes et induisent de nombreuses variables biologiques par les nombreuses espèces actrices (champignons, bactéries, insectes...) mais également des variables environnementales comme la teneur en eau dans les sols, la température et le rapport C/N. Plusieurs études ont pu démontrer que les variations de la teneur en eau des sols et de la température expliquent 50 à 70 % des variations de dégradation de la matière organique [15] [61] [101]. À noter que 2 de ces sources sont spécifiques aux forêts mais elles permettent quand même de se rendre compte de la prépondérance de ces paramètres.

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer l'évolution du taux de décomposition de la ma-

tière organique, mais nous cherchons ici une méthode simple et économiquement viable. Les mécanismes de décomposition seront ici envisagés comme un modèle boîte noire. Autrement dit, le système est étudié comme une seule unité. Il n'est pas question ici de tenter de comprendre sa structure interne, mais simplement de mesurer l'évolution de la décomposition de la matière organique au cours du temps. Les différentes méthodes varient surtout par le type de matière organique utilisée pour les tests et la taille de la maille des sacs dans laquelle celle-ci est contenue lors de son enfouissement.

Le principe du tea bag indexe consiste donc à enfouir des sachets de thé dans le sol et de mesurer la variation de leurs poids après une période de temps fixée. Les mailles des sachets de thé étant relativement étroites, celles-ci limitent la taille des organismes acteurs dans la décomposition, mais ces sachets de thé. Il faut donc garder à l'esprit que ces sachets ne permettront pas de mesurer l'activité de la macrophage mais uniquement celle de la micro et mésafaune [52]. Cette méthode permet cependant d'obtenir des mesures standardisées et comparables entre différents biomes. Les 2 types de sachets de thé couramment utilisés sont le thé vert et rouge (rooibos) de la marque Lipton [60]. Un autre avantage d'utiliser ces 2 sachets de thé de cette marque spécifique est que leurs caractéristiques chimiques ont déjà été déterminées dans d'autres études [76]. Les caractéristiques d'intérêt sont reprises dans le tableau ci-dessous.

**TABLE 2 :** Caractéristiques chimiques et massiques des sachets de thé vert et rouge de la marque Lipton

|                                  | thé vert Lipton | thé rouge Lipton |
|----------------------------------|-----------------|------------------|
| Carbon Total (%)                 | 49.055 ± 0.109  | 50.511 ± 0.286   |
| Azote Total (%)                  | 4.019 ± 0.049   | 1.185 ± 0.048    |
| Rapport C/N                      | 12.229 ± 0.129  | 42.870 ± 1.841   |
| Poids total du sachet de thé (g) | 2.019 ± 0.026   | 2.152 ± 0.013    |
| Poids du sachet vide (g)         | 0.246 ± 0.001   | 0.245 ± 0.001    |

La teneur en carbone et en azote et le rapport C/N qui en découle ont été mesurés à l'aide d'un analyseur CHN après un séchage au four à 70°C. Des données plus détaillées et complètes sont présentes dans leurs recherches [76]. Comme on peut voir dans ce tableau le thé vert à un taux d'azote plus important que le thé rouge. Cette différence entraîne un taux de décomposition plus rapide pour le thé vert. Plusieurs études conseillent d'enfouir les sachets de thé à une profondeur de 8 cm (un séchage au four préliminaire à 70 degrés pendant 48 heures est préconisé). Ce choix permet d'éviter des mouvements indésirables des sachets de thé au cours du temps tout en s'assurant qu'il se situe encore dans les strates biologiquement actives du sol [56] [44]. Un autre intérêt d'enfouir les sachets de thé assez profondément est de s'assurer de faibles variations dans la température et le taux d'humidité.

En ce qui concerne la méthode d'enfouissement, le CRA-W a développé un protocole visant à limiter au minimum la perturbation du sol et donc les sources d'erreurs. Ce protocole consiste à réaliser 2 coups de bêche en forme de croix, de déplacer la motte

et de placer le sachet de thé dans la fissure formée. La mesure de décomposition sera déterminée à partir de la différence de poids des sachets de thé secs après une durée d'enfouissement de 90 jours. Lors de la récupération des sachets de thé, ceux-ci sont séchés au four comme avant de lancer l'expérience pour s'assurer de mesurer une différence de poids sec. Deux informations peuvent être obtenues de cette expérience, le taux de stabilisation de la matière organique S et taux de décomposition k [60]. Le facteur de stabilisation sera déterminé à l'aide du sachet de thé vert comme celui-ci se dégrade rapidement. Il dépasse la première phase de décomposition après les 90 jours et la matière restante peut être considérée comme stabilisée. Ce n'est pas le cas pour le sachet de thé rouge qui se dégrade beaucoup plus lentement. Celui-ci sera utilisé pour déterminer le taux de décomposition. Après 90 jours il est toujours dans la première phase de décomposition et on estime que la matière n'a pas encore atteint une phase de stabilisation. Les formules exactes pour obtenir des valeurs précises de S (équations 1 et 2) et k (équations 3, 4 et 5) sont détaillées ci-dessous et proviennent du mémoire d'Alice Wilkin [4].

$$a_g = 1 - \frac{m_{fg}}{m_{ig}} \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{a_g}{H_g} \quad (2)$$

$$a_r = H_r(1 - S) \quad (3)$$

$$W_r = \frac{m_{fr}}{m_{ir}} \quad (4)$$

$$k = \frac{\ln\left(\frac{a_r}{W_r - (1-a_r)}\right)}{t} \quad (5)$$

**TABLE 3 :** Liste des paramètres repris dans les équations de S et de K pour le Tea Bag Index.[4]

|          |  |          |   |
|----------|--|----------|---|
| $a_g$    | Fraction décomposable du thé vert                    | $a_r$    | Fraction décomposable du thé Rooibos                    |
| $m_{ig}$ | Masse initiale du thé vert (g)                       | $m_{ir}$ | Masse initiale du thé Rooibos (g)                       |
| $m_{fg}$ | Masse finale du thé vert (g)                         | $m_{fr}$ | Masse finale du thé Rooibos (g)                         |
| $H_g$    | Fraction hydrolysable du thé vert et vaut 0,842 [60] | $H_r$    | Fraction hydrolysable du thé Rooibos et vaut 0,552 [60] |
| $S$      | Coefficient de stabilisation                         | $k$      | Taux de décomposition                                   |
| $W_r$    | Fraction massique restante du thé Rooibos            | $t$      | Temps d'enfouissement (jours)                           |

Grâce à ces données et aux équations détaillées ci-dessus il est possible de suivre l'évolution de l'activité biologique au cours des années et donc de déterminer l'amélioration de la santé du sol au cours du temps. Les seules données utilisées directement dans ces 5

équations sont  $H_g$  et  $H_r$  [60].

### 3.3.4 Analyse hydrique

Lors d'une analyse de sol, il est important de prendre en compte l'eau présente dans celui-ci. La rétention d'eau est donc un paramètre nécessaire si nous voulons nous assurer que nos cultures disposeront d'un apport en eau suffisamment constant lors de leurs croissances. Ces mesures seront d'autant plus importantes pour des sols pouvant présenter des stress hydriques.

#### 3.3.4.1 Tension

Grâce à un appareil appelé tensiomètre que l'on insère dans le sol à différentes profondeurs, on arrive à estimer les variations de la tension de l'eau en fonction de l'endroit auquel on se trouve. Nous obtenons un indice de grandeur quant à la capacité du sol à retenir l'eau et donc indirectement la possibilité pour les plantes de capter celle-ci.

Les résultats peuvent être analysés comme présenté sur le tableau de la figure 11. [20]

|                    | Lecture du tensiomètre (kPa) | Interprétation   |
|--------------------|------------------------------|--|
| Sol presque saturé | 0                            | Le sol est presque saturé pendant le ou les deux jours qui suivent l'irrigation. Il peut y avoir danger de mauvaise aération du sol, d'une nappe d'eau haute ou de décharge du tensiomètre si la lecture persiste.   |
|                    | 10                           |  |
| Capacité au champ  | 11                           | Capacité au champ. L'irrigation est interrompue à ces valeurs pour prévenir les pertes par l'infiltration profonde et le lessivage des éléments nutritifs de la zone des racines. Les sols sableux seront à capacité au champ vers 11 kPa et les sols argileux vers 25 à 30 kPa.   |
|                    | 20                           |  |
|                    | 30                           |  |
| Irrigation         | 30 à 40                      | Valeurs habituelles pour commencer l'irrigation. Pas de problèmes d'aération du sol. En général, l'irrigation commence à des lectures de 30 à 40 kPa dans les sols sableux (sable loameux et loam sableux), de 40 à 50 kPa dans des sols loameux (loam sableux très fin, loam limoneux) et de 50 à 60 kPa dans les sols argileux (loam limono-argileux et argile limoneuse). En commençant l'irrigation à ces valeurs, on maintient la réserve utile à un niveau normal. |
|                    | 50                           |  |
|                    | 60                           |  |
| Sol sec            |                              | Valeur du stress hydrique. Toutefois, la culture n'est pas nécessairement endommagée ni le rendement compromis. Un peu d'eau est encore facilement utilisable par la plante, mais la réserve facilement utilisable devient dangereusement basse.   |
|                    | 70                           | Valeur maximale qui peut être mesurée par un tensiomètre.  |

FIGURE 11. Interprétation des résultats du tensiomètre

#### 3.3.4.2 Infiltration

Une deuxième mesure nous aidant à définir la disponibilité de l'eau pour les cultures est le taux d'infiltration.

Nous pouvons mesurer cela avec un infiltromètre ou avec une méthode moins précise, mais plus économique en temps et en argent. Pour cela, on sature en eau une zone définie de notre planche qui est sécurisée de façon à éviter les écoulements latéraux. La saturation a lieu de façon uniforme et on chronomètre le temps qu'il faut à l'eau pour atteindre différentes profondeurs. Avec ces mesures, nous obtenons une vitesse d'infiltration de l'eau dans notre sol [12].

### 3.3.5 Mesures pour la caractérisation initiale du sol

Pour ce qui est de la situation initiale du sol, l'idéal serait de réaliser toutes les mesures présentées entre le point 4.3.1 et le point 4.3.4. Bien que celles-ci soient nombreuses, elles ne sont qu'à réaliser une seule fois et permettront d'être bien certains du type de planche sur lequel nous allons travailler. En effet, il ne faudrait pas que des modifications dans l'évolution des cultures soient attribuées aux couverts si elles sont simplement dues à l'évolution standard du sol sur lequel on se trouve.

### 3.3.6 Mesures pour la caractérisation de l'évolution du sol

Au cours de notre expérience long terme, nous devons également inclure dans le calendrier une série de mesures pour évaluer l'évolution de l'état du sol au cours du temps. Cette partie du plan expérimental est essentielle pour déterminer si des changements dans les propriétés ou dans la composition du sol ont lieu ainsi que pour évaluer l'efficacité des l'association couvert/culture mis en place lors de l'expérience.

Tout d'abord, une analyse de sol standard devra être réalisée annuellement en laboratoire avec des échantillons de sol prélevés en début de saison de culture.

Cette analyse comprendrait :

- La mesure des  $pH_{KCl}$  et  $pH_{H_2O}$
- Les taux des éléments principaux : Azote, Phosphore et Potassium (N, P, K)
- Les taux des éléments secondaires : Calcium et Magnésium (Ca, Mg)
- Les taux de carbone organique et d'humus

Pour réaliser cela, les échantillons devraient être réalisés jusqu'à une profondeur d'environ 25-30 centimètres de profondeur selon une grille d'échantillonnage stratifiée. Il faut donc prélever des petits échantillons dans les différentes couches du sol puis les mélanger afin d'obtenir un échantillon représentatif. Les résultats des analyses réalisées par un laboratoire spécialisé seront ensuite utilisées pour évaluer l'état actuel du sol et comparer avec les valeurs initiales et des années précédentes pour évaluer de potentiels changements de composition. Une analyse réalisée en 2023 à la ferme de Lauzelle est disponible en Annexe 1 afin de visualiser le type de résultats attendus.

Ensuite, une analyse granulométrique par sédimentation gravitaire sera faite afin de visualiser la distribution des différents types de particules dans le sol.

Les échantillons seront prélevés de la même façon que pour l'analyse en laboratoire et placés sur une grille dans le haut d'un bocal rempli d'eau. Grâce à cela, nous aurons une séparation des fractions de sable, de limon et d'argile de notre planche de culture. Étant donné que la granulométrie d'un sol est étroitement liée à sa composition, nous pourrons ensuite croiser nos résultats afin d'expliquer l'évolution de celle-ci au fil du temps.

Une autre mesure importante dans le cas de cultures maraîchères biologiques est la capacité d'échange cationique (CEC) car, comme expliqué dans le point 4.3.1.3, elle fournit de nombreuses informations sur la capacité du sol à fournir, retenir et échanger des nutriments avec les plantes cultivées. Étant donné que notre expérience se réalise avec des pratiques agricoles durables et biologiques, l'apport en nutriment est majoritairement assuré par la décomposition de la matière dans le sol. Nous pensons donc qu'une mesure annuelle de la CEC est pertinente.

Cette mesure sera réalisée de la même façon qu'au point 4.3.1.3 en réalisant le calcul suivant :

$$CEC = (\% \text{argile} * 0.37) + (\% \text{carbone} * 2.73)$$

Si pour des raisons propres au maraîcher au moment de l'expérience, cette mesure doit être plus précise, il est possible de la demander lors de l'analyse de sol en laboratoire également.

Pour évaluer l'efficacité des différents couverts expérimentés sur la productivité, nous trouvons également pertinent de mesurer le poids moyen des produits comestibles récoltés à la fin de chaque saison de culture. Cette mesure simple nous permettra de quantifier

la quantité de récolte par unité de surface et de comparer les rendements entre les différentes années de cultures, les différents couverts utilisés et les différentes conditions climatiques ayant eu lieu cette année-là. Voici les parties à peser dans chaque type de culture :

- Légumes feuilles : total des feuilles par plant (épinards)
- Légumes en gousse : total de tous les légumes d'un même plant (haricots)
- Légumes individuels : poids d'un légume à la fois (courges, oignon, choux)

Pour ce qui est de la biodiversité du sol, nous utiliserons la méthode du teabag index et la méthode des pièges à vers de terre également décrite ci-dessus (point 4.3.3). Ces mesures devraient idéalement être réalisées après la dernière récolte (septembre ou décembre) afin de comprendre l'impact des différentes cultures en fonction du couvert associé sur cette biodiversité.

Pour finir, nous surveillerons la variation du taux en eau du sol via une sonde de profil PR2. Pour prendre la mesure, il faut placer la sonde après un forage dans le sol et celle-ci s'occupe de mesure la teneur en eau du sol à différentes profondeurs (100, 200, 300 et 400 mm). Elle fonctionne sur base de mesures de la constante diélectrique du sol qui varie selon le contenu en eau. Grâce à cela, nous obtenons le taux d'humidité du sol à différentes profondeurs en pourcentage.

Ces données pourront être utilisées pour analyser la consommation en eau de certaines cultures par rapport aux autres, mais aussi l'impact de nos couverts sur la conservation de celle-ci. Les mesures auront donc lieu juste à la fin de la période de culture, juste avant la récolte. Il sera également important de noter les conditions climatiques globales au moment des mesures, car les interprétations des résultats seront évidemment différentes après une période de sécheresse ou après l'hiver.

En résumé, la réalisation de ces mesures à intervalles réguliers durant toute l'expérience permettra une comparaison des rendements obtenus pour différentes cultures associées à différents couverts et donc l'identification d'une tendance ou non dans l'évolution de ceux-ci afin de déterminer si les couverts ont bel et bien une plus-value dans le cadre d'un maraîchage biologique de petite surface à long terme.

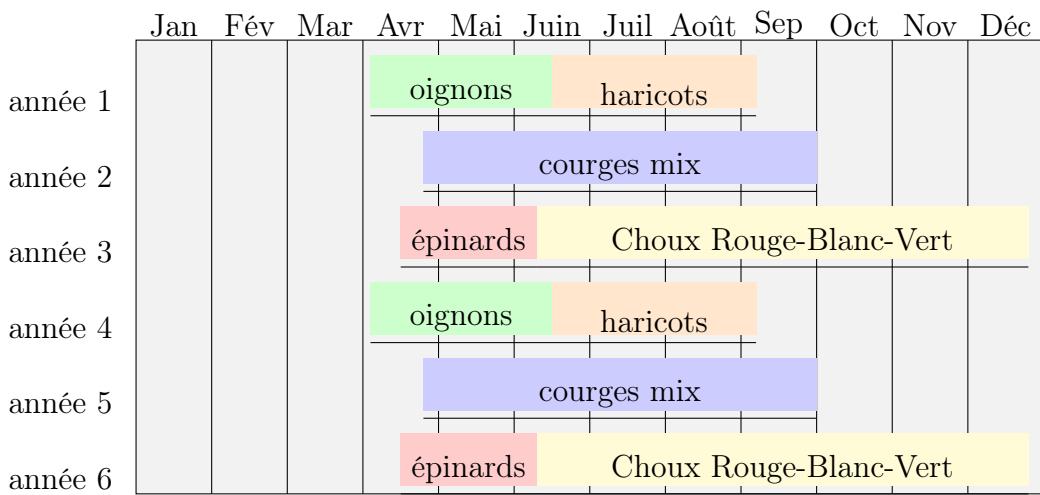
## 3.4 Cultures principales

### 3.4.1 Sélections des cultures principales

La sélection des cultures principales est relativement arbitraire. Elle est issue de choix réalisés en vue de se rapprocher de situations réelles dans des exploitations maraîchères. Pour sélectionner les légumes et définir des cycles de rotation sur les différentes parcelles, nous avons suivi quelques principes de base. Premièrement, essayer d'assurer au maximum une rotation entre familles de légumes pour éviter que 2 mêmes familles ne se suivent sur une même parcelle. Les 4 familles botaniques principales sont les Fabaceae (légumineuses) comme les haricots et les petits pois, les solanaceae comme les tomates et les pommes de terre, les brassicaceae comme les choux et les navets et les cucurbitaceae comme les citrouilles et les courgettes. Cette rotation entre différents types de légumes vise à maximiser la diversité de besoins en nutriments et donc de limiter au maximum l'épuisement du sol et les carences. Il est encore précisé ici que ce choix de rotation est arbitraire, une autre façon de séparer les cultures serait de classer les légumes par catégories

d'organes consommés. On aurait alors 8 familles de légumes ,les légumes à fruits (tomates courgettes,etc), à feuilles (épinards, salades, etc.), à fleurs (brocolis, choux-fleurs, etc.), à tubercules (pomme de terre, topinambour, etc.), à gaines (petits pois, fèves, etc.), à tiges (asperges, céleris, etc.), à bulbes (oignons, ail, etc.) et à racines (carottes, panais, etc.).

Le deuxième principe de base que nous essayerons de maximiser est de mettre en place des cultures avec peu de chances de perte de récoltes. Le but de cette manœuvre est de minimiser les pertes de données sur la qualité des récoltes. Le poids de chaque récolte étant la mesure principale visant à déterminer l'intérêt des différents couverts végétaux, nous essayons de réduire au maximum les pertes de données par pertes de récolte. Enfin, notre sélection est limitée par la liste de légumes d'ores et déjà cultivés à la ferme. Cette liste nous a été transmise par Simon Vanderveken (employé de l'UCL responsable de la production maraîchère de la ferme de Lauzelle) et est disponible en annexe. À l'aide de cette liste, nous avons déterminé la rotation de légumes nous semblant la plus pertinente pour une rotation triennale. Celle-ci est détaillée dans la figure ci-dessous.



**FIGURE 12.** Plan de rotation de légumes dans une production maraîchère

En ce qui concerne le respect des quelques principes de base mentionnés ci-dessus, quelques modifications ont été nécessaires. Premièrement vous pouvez vous rendre compte qu'aucune espèce de la famille des solanaceae n'a été sélectionnée. Ce choix découle de plusieurs raisons. En ce qui concerne la tomate, celle-ci a été rapidement écartée, car elle est à haut risque pour le mildiou en présence d'humidité. Ce facteur est souvent contrôlé en maraîchage par la présence de serres (communément des serres de type tunnel) mais comme ce ne sera pas le cas à la ferme de Lauzelle, cette culture perd en pertinence. Nous avions également envisagé la pomme de terre, mais après quelques discussions avec Simon Vanderveken, cette culture est peu intéressante en maraîchage sans mécanisation. La récolte est assez lourde à la main et il n'y a pas vraiment de plus-value à effectuer ce type de culture en petit surface face à la compétition mécanisée. De plus, la pomme de terre tout comme la tomate est assez sensible aux ravageurs bien que ce critère soit moins grave pour celle-ci. Nous avons donc décidé de remplacer la culture de solanaceae par une espèce de liliacée, l'oignon et une espèce de chenopodiaceae, les épinards. Les légumineuses, les brasicacea et les cucurbitacea sont quant à eux présents dans la rotation avec respectivement des haricots, les choux rouges, verts et blancs et le mix de courges.

Par cette sélection, 2 autres points permettent de maximiser la diversité de besoins en nutriments. Le fait d'avoir plusieurs variétés de choux et de courges, mais également le fait de varier le plus possible le type de légumes par catégories d'organes consommés.

L'oignon est un légume bulbe, le haricot un légume graine, les courges un légume fruit et les choux et les épinards des légumes à feuilles. En ce qui concerne notre deuxième principe de minimiser les risques de pertes de culture, toutes les cultures sélectionnées nous semble relativement stables face aux ravageurs et aux aléas climatiques.

On peut noter qu'en fonction de l'année de culture, le couvert végétal aura plus ou moins de temps seul sur la parcelle. Ce paramètre sera intéressant à prendre en compte dans la suite de notre plan expérimental si l'on souhaite valoriser le couvert végétal en plus de la culture en le faisant atteindre des stades de développement précis. Certains couverts pourraient être plus adaptés à des cultures principales qui finissent vite pour pouvoir maximiser leur croissance par la suite (par exemple dans un cas où le couvert serait utilisé comme fourrage dans une exploitation associant culture et élevage ou pour essayer de maximiser le captage d'azote atmosphérique dans le cas de couvert de type légumineuses).

### 3.4.2 Caractérisation des besoins des cultures principales

Les informations concernant les besoins spécifiques des différentes cultures choisis détaillées ci-dessous sont issues de l'ouvrage "La culture biologique des légumes" écrit par Denis La France [48].

#### 3.4.2.1 L'oignon

Son système racinaire étant peu développé (30 cm max jusqu'au stade 8 feuilles, plus jusqu'à 60 cm), il pousse préférentiellement sur des sols riches. Avec des besoins spécifiques en potasse et en phosphore. Le pH idéal est de 6 à 7 en terre minérale et de 5,3 à 5,8 en terre noire (type de sol riche en humus). Dans le tableau ci-dessous sont reprises les exportations moyennes attendues par la culture d'oignon.

**TABLE 4 :** Exportations moyennes pour l'oignon

| (t/ha)                    | N (kg/ha) | $P_2O_5$ (kg/ha) | $K_2O$ (kg/ha) |
|---------------------------|-----------|------------------|----------------|
| <b>Racines</b>            |           |                  |                |
| 35                        | 65-75     | 23-32            | 70-80          |
| 25                        | 45-55     | 16-23            | 50-60          |
| <b>Oignons à botteler</b> |           |                  |                |
| 15-30                     | 40-80     | 12-25            | 50-80          |

#### 3.4.2.2 Le haricot

Les haricots jouent un rôle important dans la rotation des cultures de par leurs appartenances à la famille des légumineuses. Les résidus de cultures, riche en azote fixé à partir de l'atmosphère permettent d'enrichir le sol pour la prochaine culture. Ils germent rapidement et arrive à maturité assez vite ce qui permet donc de les cultiver avant ou après une autre culture sur une même saison. Le haricot possède un enracinement très profond ce qui lui permet d'exploiter au maximum les ressources du sol. Cependant, les

racines sont très sensibles à la décomposition de la matière organique. Tout ajout de matière organique fraîche doit être réalisé suffisamment tôt dans la saison pour ne pas avoir d'impact sur la culture. Comme les oignons ne possèdent que très peu de résidus de culture utilisée comme engrais vert, le fait de les faire précéder une culture de haricots ne devrait pas poser de problème. En cas de surabondance d'azote, une caractéristique facilement observable est une surcroissance du feuillage au détriment des organes fruits. Le haricot est également sensible aux carences en éléments mineurs (exception du bore), spécialement pour le manganèse et le zinc si le pH devient trop élevé. Dans le tableau ci-dessous sont reprises les exportations moyennes attendues par la culture de haricots.

**TABLE 5 :** Exportations moyennes pour le haricot

| Haricots             | N (kg/ha) | $P_2O_5$ (kg/ha) | $K_2O$ (kg/ha) |
|----------------------|-----------|------------------|----------------|
| 5 à 8 tonnes vendues | 14-23     | 4-7              | 18-29          |
| Teneur des plants    | 170       | 45               | 100            |

À noter que ces valeurs ne prennent pas en compte quel partie de l'azote exporté provient de la fixation de l'azote atmosphérique par les nodules. C'est simplement la quantité d'azote exportée par 5 à 8 tonnes vendues et la teneur dans les plantes complètes (parties racinaires et aériennes).

#### 3.4.2.3 Les épinards

L'épinard est une plante annuelle semi-rustique. Il a besoin de beaucoup d'eau et d'éléments nutritifs tels que le calcium et l'azote pour pousser correctement. Les sols idéaux à sa culture sont sableux ou organiques et très riches en compost. Il se développe dans le sous-sol avec une racine pivotante pouvant atteindre des profondeurs de 1,2 m. Dans le tableau ci-dessous sont reprises les exportations moyennes attendues par la culture des épinards.

**TABLE 6 :** Exportations moyennes pour les épinards

| Feuilles (t/ha) | N (kg/ha) | $P_2O_5$ (kg/ha) | $K_2O$ (kg/ha) |
|-----------------|-----------|------------------|----------------|
| 12              | 60        | 14               | 80             |

#### 3.4.2.4 Les courges

Le mix de courges plantées à la ferme maraîchère regroupe des potimarrons, des butternuts, des potirons et l'une ou l'autre variété différente qui représente maximum 20 % du total des courges. Ces variétés en plus sont sélectionnées par Simon Vanderveken, le maraîcher de la ferme. Dans tous les cas, il s'agit uniquement de courges d'hiver (en opposition aux courges d'été). Il s'agit de plantes annuelles très sensibles au froid dont le feuillage peut s'étendre sur de grandes surfaces en fonction de la variété (coureuse, buissonnante ou semi-buissonnante). Dans le tableau ci-dessous sont reprises les exportations moyennes attendues par la culture de courges.

**TABLE 7 :** Exportations moyennes pour les courges

| Courges (t/ha) | N (kg/ha) | $P_2O_5$ (kg/ha) | $K_2O$ (kg/ha) |
|----------------|-----------|------------------|----------------|
| 40             | 64-130    | 30               | 135-170        |

### 3.4.2.5 Les choux

Les choux sont des plantes bisannuelles (cultivés comme des plantes annuelles) très résistantes au gel. Ils sont cultivables sur tout type de sol et s'adaptent aux conditions climatiques, ce qui en fait une culture très résiliente. Ils ont une croissance rapide et un enracinement vigoureux, mais possèdent des besoins spécifiques en souffre et nécessite un apport en eau important. Dans le tableau ci-dessous sont reprises les exportations moyennes attendues par la culture de choux.

**TABLE 8 :** Exportations moyennes pour les choux

| Choux (t/ha) | N (kg/ha) | $P_2O_5$ (kg/ha) | $K_2O$ (kg/ha) |
|--------------|-----------|------------------|----------------|
| 60           | 115       | 31               | 185            |

## 4 Discussion et conclusion

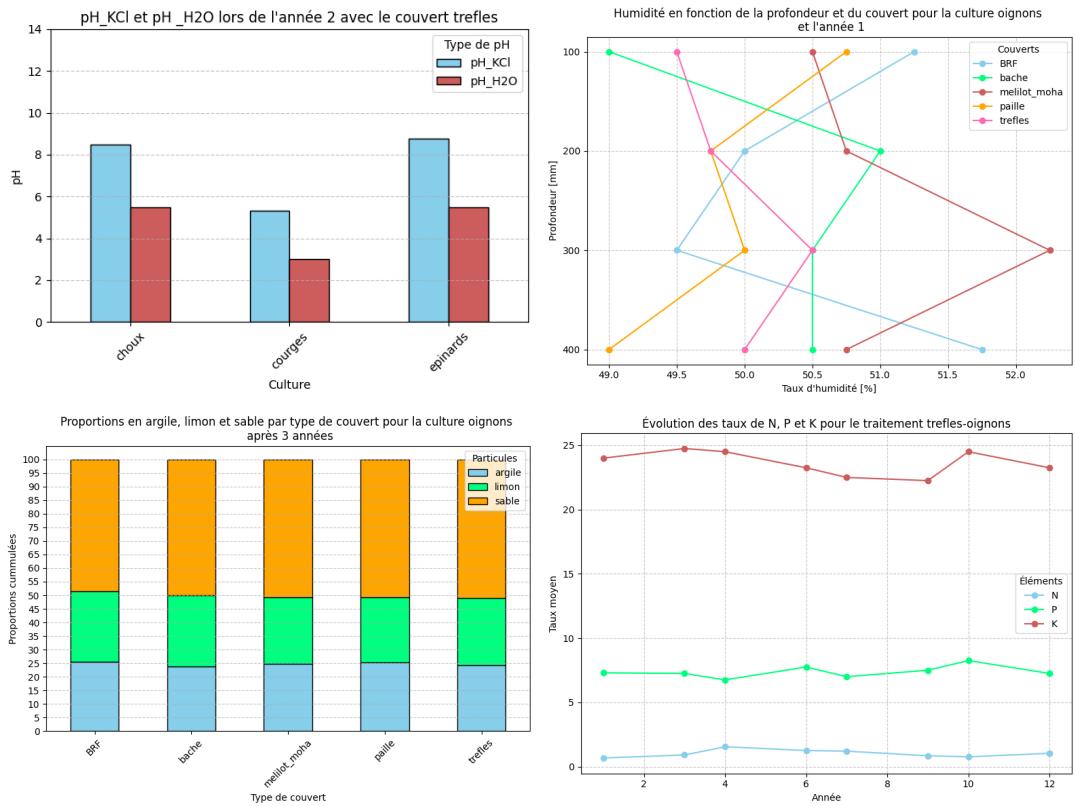
L'objectif de ce rapport a été de développer un plan expérimental permettant de mettre en lumière les avantages et désavantages de différents couverts sur les rendements agricoles et l'environnement en maraîchage petite surface.

Concernant les différents couverts, la première étape consiste à sélectionner un témoin. La bâche en plastique avec un apport de fumier est le choix le plus pertinent pour pource travail car elle représente le couvert le plus classique en maraîchage. Elle comporte de nombreux avantages comme la lutte contre les adventices, maladies et ravageurs, elle limite les pertes d'eau et prend peu de temps à mettre en place. Par la ensuite, 2 couverts organiques non vivants ont été sélectionnés, la paille et le BRF, leurs rapports C/N sont assez similaires mais les vitesses de décomposition et les capacités de rétention d'eau sont différentes. En termes de couverts vivants, un mélange de trèfle et une combinaison moha (graminée) et mélilot (légumineuse) ont été sélectionnés. Cette décision a été prise sur base d'une discussion avec Simon Vanderveken. Dans les couverts vivants, les associations entre légumineuses et graminées sont souvent plus performantes que ces mêmes cultures isolées. Le moha et le mélilot sont des plantes peu connues du grand public et peu étudiées par la communauté scientifique. C'est donc l'occasion de développer les connaissances sur ces couverts.

Pour ce qui est du planning de culture, l'accent a été porté sur la diversité des familles cultivées. Le plan de culture prévoit une rotation triennale avec en première année une culture d'oignons et de haricots, en deuxième année un mélange de courges et en troisième année des épinards et des choux rouges, blancs et verts. Ce qui correspond donc respectivement à une liliacée, une légumineuse, une cucurbitacée, une chénopodiacée et une brassicacée.

Les différents couverts végétaux seront répartis sur 20 demi-planches (voir figure 2) référencées de 1 à 10, a et b. Ces couverts ne changeront évidemment jamais de parcelles et les rotations de cultures se feront 2 planches par 2 planches pour chaque couvert. La première année, seuls les cultures de l'année 1 et 2 de la figure 12 seront présentes par exemple. Pour plus de détail, un fichier Excel reprenant le planning détaillé mois après mois est disponible.

Plusieurs mesures seront prises tout au long de l'expérimentation pour déterminer les changements dans l'activité biologique, dans la productivité en légumes et dans la santé, la structure et la teneur en eau du sol. Celles-ci pourront être visualisées grâce à un code python lié à un tableau Excel tous deux détaillés sur la page Github de ce projet : [https://github.com/mara0896/LBIRA2130\\_Couverts](https://github.com/mara0896/LBIRA2130_Couverts). Différents exemples sont présentés ci-dessous :



**FIGURE 13.** Graphiques visibles après remplissage des Excels de mesures du Github du projet

Tout au long de ce travail l'accent a été mis sur la prévention des éventuels problèmes qui pourraient survenir durant la mise en application du protocole cependant il est fort probable que certains problèmes ai été négligés. Comme expliqué plus haut, il a été impossible de rencontrer des maraîchers mise à part Simon Vanderveken. Il serait judicieux de consulter d'autres maraîchers avant la mise en place de l'expérimentation, leurs expériences ne peuvent qu'être bénéfiques pour répondre au mieux aux besoins des producteurs. Un autre problème relevé sur lequel il serait intéressant de se pencher est le fait que le sol restera à nu pendant certaines périodes de l'année pour les couverts vivants. Cette situation n'est pas idéale pour la santé du sol, mais malheureusement aucune solution n'a été trouvée durant le travail. Un autre choix se pose au niveau des bâches en plastiques pour les planches témoins. Il est possible de réutiliser des bâches de silos (comme c'est actuellement le cas à la ferme) ou décider d'utiliser des bâches neuves pour plus de standardisation. Cette décision est laissé aux futures mémorants car elle dépend également de facteurs économiques qui sont encore inconnus à ce stade de l'expérimentation.

Avec cette expérience, l'objectif principale est de mettre en avant des solutions aux défis actuels de l'agriculture wallonne en proposant des alternatives à la bâche en plastique. Le but est d'augmenter la résilience des systèmes agricoles face aux aléas environnementaux sans compromettre la rentabilité économique. Les différents couverts vivants proposés visent à réduire les besoins en labour, en fertilisants et en eau. Les systèmes racinaires peuvent remplir la fonction d'ameublissement et d'aération du sol tout en limitant le développement des adventices et l'évaporation de l'eau. Ils peuvent également enrichir le sol en maximisant la photosynthèse et la capture d'azote atmosphérique (pour les légumineuses).

## Références

- [1] Agriconomie. Cultiver et utiliser le mélilot en agriculture. [https://www.agriconomie.com/blog/cultures/melilot#:~:text=Couvert%20v%C3%A9g%C3%A9tal%20\(m%C3%A9lilots%20blanc%20et,m%C3%A9lange%20urnomm%C3%A9%20E2%80%9Cluzerne%20royale%20E2%80%9D](https://www.agriconomie.com/blog/cultures/melilot#:~:text=Couvert%20v%C3%A9g%C3%A9tal%20(m%C3%A9lilots%20blanc%20et,m%C3%A9lange%20urnomm%C3%A9%20E2%80%9Cluzerne%20royale%20E2%80%9D).
- [2] AgroLeague. Analyse de sol : 4 paramètres à prendre en compte. <https://www.agro-league.com/analyse-de-sol>.
- [3] Agroleague. Réussir la culture du trèfle incarnat. <https://www.agro-league.com/trefle-incarnat> :text=Le
- [4] Wilkin Alice and Legast Harold. *Conversion de prairies permanentes pour le maraîchage : risque environnemental et influence sur les propriétés chimiques, biologiques et physiques du sol.* UCLouvain, 2022.
- [5] arvalis. Les fiches couverts trèfle de perse + trèfle incarnat + trèfle de micheli. [https://fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche\\_couvert.php?mode=fc&type\\_couv=melanges&id\\_couvert=611](https://fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche_couvert.php?mode=fc&type_couv=melanges&id_couvert=611).
- [6] arvalis. Les fiches couverts trèfle incarnat. [https://fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche\\_couvert.php?mode=fc&type\\_couv=pures&id\\_couvert=158](https://fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche_couvert.php?mode=fc&type_couv=pures&id_couvert=158).
- [7] Arvalis. Moha - fiche couvert végétal. [https://fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche\\_couvert.php?mode=fc&type\\_couv=pures&id\\_couvert=136](https://fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche_couvert.php?mode=fc&type_couv=pures&id_couvert=136).
- [8] asez agroécologie. [https://osez-agroecologie.org/images/imagesCK/files/bibliographie/f7%\\_brochureagricarbone17x23cmgabb32vf-2.pdf](https://osez-agroecologie.org/images/imagesCK/files/bibliographie/f7%_brochureagricarbone17x23cmgabb32vf-2.pdf).
- [9] Contributeurs aux projets Wikimedia. Capacité d'échange cationique. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9\\_d%27échange\\_cationique#:~:text=La%20capacit%C3%A9%20d%C3%A9pend%20%C3%A9galement%20la%20capacit%C3%A9%20organique%20%C3%A0%20CEC%20souvent%20%C3%A9lev%C3%A9e](https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9_d%27échange_cationique#:~:text=La%20capacit%C3%A9%20d%C3%A9pend%20%C3%A9galement%20la%20capacit%C3%A9%20organique%20%C3%A0%20CEC%20souvent%20%C3%A9lev%C3%A9e).
- [10] Contributeurs aux projets Wikimedia. Classification de köppen. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Classification\\_de\\_K%C3%B6ppen](https://fr.wikipedia.org/wiki/Classification_de_K%C3%B6ppen).
- [11] Contributeurs aux projets Wikimedia. Ferme de lauzelle. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ferme\\_de\\_Lauzelle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ferme_de_Lauzelle).
- [12] Contributeurs aux projets Wikimedia. Infiltration (hydrologie). [https://fr.wikipedia.org/wiki/Infiltration\\_\(hydrologie\)#:~:text=L'infiltration%20est%20mesur%C3%A9e%20dans,%20aide%20d'un%20infiltrom%C3%A8tre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Infiltration_(hydrologie)#:~:text=L'infiltration%20est%20mesur%C3%A9e%20dans,%20aide%20d'un%20infiltrom%C3%A8tre).
- [13] Contributeurs aux projets Wikimedia. Ottignies-louvain-la-neuve. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ottignies-Louvain-la-Neuve>.
- [14] Contributeurs aux projets Wikimedia. Texture du sol. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Texture\\_du\\_sol](https://fr.wikipedia.org/wiki/Texture_du_sol).
- [15] Berg B., Berg M.P., Bottner P., Box E., Bremeyer A., Calvo de Anta R., and al. *Litter mass loss rates in pine forests of Europe and Eastern United States : some relationships with climate and litter quality.* 127–159. Biogeochemistry 20, 1993.
- [16] Frei B., Guenay Y., Bohan D.A., and al. Molecular analysis indicates high levels of carabid weed seed consumption in cereal fields across central europe. j pest sci 92, 935–942. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01109-5>, 2019.
- [17] A. Bantle, W. Borken, R. H. Ellerbrock, E. D. Schulze, W. W. Weisser, and E. Matzner. Quantity and quality of dissolved organic carbon released from coarse woody debris of different tree species in the early phase of decomposition. *Forest Ecology and Management*, 329 :287–294, October 2014.

- [18] Mark D. Bartlett, Maria J.I. Briones, Roy Neilson, Olaf Schmidt, David Spurgeon, and Rachel E. Creamer. *A critical review of current methods in earthworm ecology : From individuals to populations, Issue 2*. European Journal of Soil Biology Volume 46, 2010.
- [19] Ariane Beaudelot, Julien Capozziello, and Bruno Craeye. biowallonne.com. <https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2023/06/ChiffresDuBio-2022-BD.pdf>, 2020. [Accessed 11-05-2024].
- [20] Daniel Bergeron. Mieux irriguer avec les tensiomÈtres. <https://www.agrireseau.net/pdt/documents/Tensiometre.pdf>.
- [21] Antonio Berti, Anna Dalla Marta, Marco Mazzoncini, and Francesco Tei. An overview on long-term agro-ecosystem experiments : Present situation and future potential. *European Journal of Agronomy*, 77 :236–241, July 2016.
- [22] Christophe Bouget and L.M. Nageleisen. *Inv.Ent.For. en forêt tempérée : chap. 2, part III.1 Le piÈge à fosse. L'etude des insectes en foret : methodes et techniques, elements essentiels pour une standardisation*, ONF, pp.53-57, 2009, 978-2-84207-343-5. fffhal-02593483. Les dossiers forestiers n° 19, 2020.
- [23] Piotr Bucki and Piotr Siwek. Organic and non-organic mulches - Impact on environmental conditions, yield, and quality of Cucurbitaceae. *Folia Horticulturae*, 31, May 2019.
- [24] J. BUTTERFIELD. Carabid life-cycle strategies and climate change : a study on an altitude transect. *Ecological Entomology*, 21(1) :9–16, 1996.
- [25] Ranko Cabilovski, Maja Manojlović, Darinka Bogdanovic, Nenad Magazin, Zoran Keserovic, and Bishal Sitaula. Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) production : Impact on soil fertility and yield. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101 :67–74, March 2014.
- [26] Haixin Chen, Jingjing Liu, Afeng Zhang, Jing Chen, Gong Cheng, Benhua Sun, Xiaomin Pi, Miles Dyck, Bingcheng Si, Ying Zhao, and Hao Feng. Effects of straw and plastic film mulching on greenhouse gas emissions in Loess Plateau, China : A field study of 2 consecutive wheat-maize rotation cycles. *Science of The Total Environment*, 579 :814–824, February 2017.
- [27] Ning Chen, Xianyue Li, Jirí Šimûnek, Haibin Shi, Qi Hu, and Yuehong Zhang. Evaluating the effects of biodegradable and plastic film mulching on soil temperature in a drip-irrigated field. *Soil and Tillage Research*, 213 :105116, September 2021.
- [28] Climate-Data. Climat louvain-la-neuve. <https://fr.climate-data.org/europe/belgique/wallonie/louvain-la-neuve-12832/>.
- [29] K. A. Congreves and L. L. Van Eerd. Nitrogen cycling and management in intensive horticultural systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 102(3) :299–318, July 2015.
- [30] Sarah Cook, Fiona Nicholson, Daniel Kindred, A. Bhogal, Susie Roques, Jonny Kerley, Susan Twining, Tom Brassington, Peter Gladders, Helen Balshaw, and Steve Ellis. Straw incorporation review. *AHDB*, July 2013.
- [31] S. M. Crandall, M. L. Ruffo, and G. A. Bollero. Cropping system and nitrogen dynamics under a cereal winter cover crop preceding corn. *Plant and Soil*, 268(1) :209–219, January 2005.
- [32] Bohan D.A., Boursault A., Brooks D.R., and Petit S. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology*, 48 : 888-898. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02008.x>, 2011.

- [33] Semence de France. Fourragères : La fertilisation. <https://www.semencesdefrance.com/dossier/fourrageres-la-fertilisation/>.
- [34] Chambre de l'agriculture française. Trèfle incarnat. [https://tarn.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Occitanie/074\\_Inst-Tarn/1-PRODUCTIONS\\_TECHNIQUES/Viticulture/couverts/Trefle\\_incarnat.pdf](https://tarn.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/074_Inst-Tarn/1-PRODUCTIONS_TECHNIQUES/Viticulture/couverts/Trefle_incarnat.pdf).
- [35] H.J. Di and K.C. Cameron. Nitrate leaching in temperate agroecosystems : sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64(3) :237–256, November 2002.
- [36] Cambridge Dictionary. Market gardening. <https://dictionary.cambridge.org/fr/dictionnaire/anglais/market-gardening>, 2024. [Accessed 11-05-2024].
- [37] Biowallonie Laurent Dombret. Interpréter l'analyse de terre pour la culture maraîchère : comprendre les résultats. <https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2022/05/Interprete-analyse-de-terre-pour-la-culture-maraichere-comprendre-les-resultats.pdf>.
- [38] Antoinette Dumont. *Analyse systémique des conditions de travail et d'emploi dans la production de légumes pour le marché du frais en Région wallonne (Belgique), dans une perspective de transition agroécologique*. PhD thesis, UCL - Université Catholique de Louvain, 2017.
- [39] Hossam S. El-Beltagi, Abdul Basit, Heba I. Mohamed, Iftikhar Ali, Sana Ullah, Ehab A. R. Kamel, Tarek A. Shalaby, Khaled M. A. Ramadan, Abdulmalik A. Alkhateeb, and Hesham S. Ghazzawy. Mulching as a Sustainable Water and Soil Saving Practice in Agriculture : A Review. *Agronomy*, 12(8) :1881, August 2022. Number : 8 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [40] El-Ganainy, El-Bakery, and Hafez. Humic Acid-Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Confer Resistance to Acremonium Wilt Disease and Improve Physiological and Morphological Attributes of Grain Sorghum. *Polymers*, 2022.
- [41] O2D Environnement. Perméabilité des sols, test de perméabilité et coefficient k. <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/test-de-permeabilite-sols-etude-coefficient/>.
- [42] Frédéric Thomas et Matthieu Archambeaud. Couverts végétaux d'interculture : Quelques espèces vues, testées et mélangées. *Theoretical Computer Science*, 2015.
- [43] Agricultures et territoires. Moha. [https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Nouvelle-Aquitaine/094\\_Inst-Nouvelle-Aquitaine/Documents/innovation/4.Fiche\\_Moha.pdf](https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/094_Inst-Nouvelle-Aquitaine/Documents/innovation/4.Fiche_Moha.pdf).
- [44] Laio F., D'Odorico P., and Ridolfi L. *An analytical model to relate the vertical root distribution to climate and soil properties*, L18401. *Geophysical Research Letters* 33, 2006.
- [45] M. Farooq, K. C. Flower, K. Jabran, A. Wahid, and Kadambot H. M. Siddique. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. *Soil and Tillage Research*, 117 :172–183, December 2011.
- [46] Pr Dr F.Boulvain and Dr J-L Pingot. Une introduction à la géologie de la wallonie. <https://www.geolsed.uliege.be/upload/docs/application/pdf/2023-02/geolwal.pdf>.
- [47] Leiji Feike, Ghezzehei Teamrat, and Or Dani. Modeling the dynamics of the soil pore size distribution. *Soil and Tillage Research*, 2002.

- [48] Denis La France. *La culture biologique des légumes*. Berger, 2010.
- [49] Soraya França, Katrijn Spiessens, Sabien Pollet, Jane Debode, Luc De Rooster, Danny Callens, and Monica Höfte. Population dynamics of *Verticillium* species in cauliflower fields : influence of crop rotation, debris removal and ryegrass incorporation. *CROP PROTECTION*, 54 :134–141, 2013.
- [50] Rajan Ghimire, Sushil Lamichhane, Bharat Sharma Acharya, Prakriti Bista, and Upendra Man Sainju. Tillage, crop residue, and nutrient management effects on soil organic carbon in rice-based cropping systems : A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(1) :1–15, January 2017.
- [51] Bernard A. Goodman. Utilization of waste straw and husks from rice production : A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(3) :143–162, August 2020.
- [52] Setälä H., Marshall V.G., and Trofymow J.A. *Influence of body size of soil fauna on litter decomposition and 15 N uptake by poplar in a pot trial, 1661–1675*. Soil Biology and Biochemistry 28, 1996.
- [53] Tapani Haapala, Pauliina Palonen, Korpela Antti, and Ahokas Jukka. Feasibility of paper mulches in crop production —A review Tapani Haapala, Pauliina Palonen, Antti Korpela and Jukka Ahokas. *Agricultural and Food Science*, Agricultural and Food Science :60–79, August 2013.
- [54] Eero Halme and Jari Niemelä. Carabid beetles in fragments of coniferous forest. *Annales Zoologici Fennici*, 30 :17–30, 1993.
- [55] Margita Hefner, Stefano Canali, Koen Willekens, Peter Lootens, Pauline Deltour, Annelies Beeckman, Donatienne Arlotti, Kalvi Tamm, Ingrid Bender, Rodrigo Labouriau, and Hanne Lakkeneborg Kristensen. Termination method and time of agro-ecological service crops influence soil mineral nitrogen, cabbage yield and root growth across five locations in Northern and Western Europe. *European Journal of Agronomy*, 120 :126144, October 2020.
- [56] Schenk H.J. and Jackson R.B. *The global biogeography of roots*, 311. Ecological Monographs 72, 2002.
- [57] Inconnu. Chapitre 4 : Analyses agronomiques. <https://www.mvad-reunion.org/wp-content/uploads/2019/10/Chap4.pdf>.
- [58] Niemela J., Haila Y., Halme E., Lahti T., Pajunen T., and Punttila P. *The distribution of carabid beetles in fragments of old coniferous taiga and adjacent managed forest. 107–119.6*. Annales Zoologici Fennici 25, 1988.
- [59] Rainio J. and J. Niemelä. *Ground Beetles (Coleoptera : Carabidae) as Bioindicators* 487-506. Biodiversity and Conservation 12, 2003.
- [60] Keuskamp J.A., Dingemans B.J.J., Lehtinen T., Sarneel J.M., and Hefting M.M. *Tea Bag Index : a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. 1070-1075*. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>. Methods Ecol Evol 4, 2013.
- [61] Trofymow J.A., Moore T.R., Titus B., Prescott C., Morrison I., Siltanen M., and al. *Rates of litter decomposition over 6 years in Canadian forests : influence of litter quality and climate. 789–804*. Canadian Journal of Forest Research 32, 2002.
- [62] L. E Jackson, I Ramirez, R Yokota, S. A Fennimore, S. T Koike, D. M Henderson, W. E Chaney, F. J Calderón, and K Klonsky. On-farm assessment of organic matter and tillage management on vegetable yield, soil, weeds, pests, and economics in California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(3) :443–463, August 2004.
- [63] Niemela J K and Spence J R. *Distnbution of forest dwelling carabids (Coleoptera) spatial scale and the concept of communities. 166-175*. Ecography 17, 1994.

- [64] Associations Kokopelli. semence mélilot jaune. <https://kokopelli-semences.fr/fr/p/V0010-Jaune#:~:text=Le%20semis%20peut%20s'effectuer,del%C3%A0%20de%20%2D%2015%20%C2%BOC>.
- [65] Tayfun Korucu, Martin J. Shipitalo, and Thomas C. Kaspar. Rye cover crop increases earthworm populations and reduces losses of broadcast, fall-applied, fertilizers in surface runoff. *Soil and Tillage Research*, 180 :99–106, August 2018.
- [66] Edya Kosterna. Organic Mulches in the Vegetable Cultivation (A Review). *Ecological Chemistry and Engineering A*, 2014.
- [67] Komlan Koudahe, Samuel C. Allen, and Koffi Djaman. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(3) :343–354, September 2022.
- [68] Frelich L.E. and al. *Earthworm invasion into previously earthworm-free temperate and boreal forests*. In : Hendrit, P.F. (eds) *Biological Invasions Belowground : Earthworms as Invasive Species*. Springer, 2006.
- [69] Lefèvre and Adelise. *Influence de la composition spécifique de couverts végétaux sur les paramètres physiques, chimiques et biologiques du système sol-plante : étude de la biologie du sol*. PhD thesis, Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain, 2018.
- [70] M.L. Luff, M.D. Eyre, and S.P. Rushton. Classification and prediction of grassland habitats using ground beetles (coleoptera, carabidae). *Journal of Environmental Management*, 35(4) :301–315, 1992.
- [71] Lamandé M., Hallaire V., Curmi P., Pérès G., and Cluzeau D. *Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. 637 – 649. DOI 10.1016/S0341-8162(03)00114-0*. *Catena* 54, 2003.
- [72] McGeoch M. *The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. 181–201*. *Biological Reviews* 73, 1998.
- [73] S. Christopher Marble, Andrew K. Koeser, and Gitta Hasing. A Review of Weed Control Practices in Landscape Planting Beds : Part II—Chemical Weed Control Methods. *HortScience*, 50(6) :857–862, June 2015. Publisher : American Society for Horticultural Science Section : HortScience.
- [74] Catherine Mazollier and Hélène Vedie-Grab. LES ENGRAIS VERTS EN MARAÎCHAGE BIOLOGIQUE, 2008.
- [75] Glenn McGourty and John Reganold. Managing Vineyard Soil Organic Matter with Cover Crops Managing Vineyard Soil Organic Matter with Cover Crops. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2005.
- [76] Ryan M.G., Melillo J.M., and Ricca A. *A comparison of methods for determining proximate carbon fractions of forest litter. 166–171*. *Canadian Journal of Forest Research* 20, 1990.
- [77] Jari Niemelä. Carabid beetles (coleoptera : Carabidae) and habitat fragmentation : A review. *European Journal of Entomology*, 98 :127–132, 06 2001.
- [78] Charlotte E. Norris and Katelyn A. Congreves. Alternative Management Practices Improve Soil Health Indices in Intensive Vegetable Cropping Systems : A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 6 :50, June 2018.
- [79] Jose L. Pantoja, Krishna P. Woli, John E. Sawyer, and Daniel W. Barker. Winter Rye Cover Crop Biomass Production, Degradation, and Nitrogen Recycling. *Agronomy Journal*, 108(2) :841–853, 2016. \_eprint : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronj2015.0336>.

- [80] Roger William Payne. *The Design and Analysis of Long-term Rotation Experiments*, chapter 11, pages 299–317. John Wiley Sons, Ltd, 2018.
- [81] Ronald E. Phillips, Grant W. Thomas, Robert L. Blevins, Wilbur W. Frye, and Shirley H. Phillips. No-Tillage Agriculture. *Science*, 208(4448) :1108–1113, June 1980. Publisher : American Association for the Advancement of Science.
- [82] Christopher Poeplau and Axel Don. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200 :33–41, February 2015.
- [83] Service public de Wallonie. Carte géologique interactive de wallonie. Cigale4.3pourlāŽinternet. (s.d.). <https://geoapps.wallonie.be/Cigale/Public/#VIEWER=CGEOL#BBOX=119028.55389044112,300268.4997036661,-6164.274828549664,206164.27482854965>.
- [84] Service public de Wallonie. Carte hydrogéologique interactive de wallonie. <http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo/index.htm#>.
- [85] Service public de Wallonie (SPW) Alain Herbosch and Sabine Blockmans. Carte géologique de wallonie : Wavre/chaumont-gistoux. [https://geologie.wallonie.be/files/ressources/geologie/notices/40-1-2\\_Wavre\\_Chaumont.pdf](https://geologie.wallonie.be/files/ressources/geologie/notices/40-1-2_Wavre_Chaumont.pdf).
- [86] Anton Riera, Clémentine Antier, and Philippe Baret. État des lieux et scénarios à horizon 2050 de la filière légumière en Région wallonne, 2020.
- [87] Sana Romdhane, Aymé Spor, Hugues Busset, Laurent Falchetto, Juliette Martin, Florian Bizouard, David Bru, Marie-Christine Breuil, Laurent Philippot, and Stéphane Cordeau. Cover Crop Management Practices Rather Than Composition of Cover Crop Mixtures Affect Bacterial Communities in No-Till Agroecosystems. *Frontiers in Microbiology*, 10, July 2019. Publisher : Frontiers.
- [88] RTBFinfo. Dans les fourons, une plante africaine pour s'adapter à la sécheresse. <https://www.rtb.be/article/dans-les-fourons-une-plante-africaine-pour-s-adapter-a-la-secheresse-10556582>.
- [89] Matías L. Ruffo and Germán A. Bollero. Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fractions using principal-component regression. *Agronomy Journal*, 95(4) :1034–1040, July 2003.
- [90] Upendra M. Sainju, Wayne F. Whitehead, and Bharat P. Singh. Biculture legume–cereal cover crops for enhanced biomass yield and carbon and nitrogen. *Agronomy Journal*, 97(5) :1403–1412, 2005.
- [91] Prisca sallets. Les payages végétaux en maraîchage. <https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2020/05/Les-paillages-v%C3%A9g%C3%A9taux-en-mara%C3%AEchage-septembre-2018.pdf>.
- [92] Prisca sallets. Les payages végétaux en maraîchage. <https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2020/05/Les-paillages-v%C3%A9g%C3%A9taux-en-mara%C3%AEchage-septembre-2018.pdf>.
- [93] Alexandra Schappert, Miriam H. Messelhäuser, Marcus Saile, Gerassimos G. Petinatos, and Roland Gerhards. Weed Suppressive Ability of Cover Crop Mixtures Compared to Repeated Stubble Tillage and Glyphosate Treatments. *Agriculture*, 8(9) :144, September 2018. Number : 9 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [94] Parmodh Sharma, Atinderpal Singh, Charanjit Singh Kahlon, Amandeep Singh Brar, Kulbhushan K. Grover, Mahendra Dia, and Robert L. Steiner. The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture—A Review Paper. *American Journal of Plant Sciences*, 9(9) :1935–1951, August 2018. Number : 9 Publisher : Scientific Research Publishing.

- [95] Silenes. Mélilot officinal. <https://silenes-grainesdumorvan.fr/produit/melilot-officinal/>.
- [96] Krishna V. Subbarao and J. C. Hubbard. Interactive effects of broccoli residue and temperature on *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil and on wilt in cauliflower. *Phytopathology*, 86 :1303–1310, 1996.
- [97] Zhijian Tan, Yongjian Yi, and Honying Wang. Applied Sciences | Free Full-Text | Physical and Degradable Properties of Mulching Films Prepared from Natural Fibers and Biodegradable Polymers.
- [98] L. M. Taning, L. Lippens, E. Formesyn, S. Fleerakkers, and W. M. L. Wesemael. Impact of cover crops on the population density of the root-lesion nematode *Praetylechus penetrans*. *European Journal of Plant Pathology*, 169(1) :81–97, May 2024.
- [99] Glynn Tillman, Harry Schomberg, Sharad Phatak, Benjamin Mullinix, Sharon Lachnicht, Patricia Timper, and Dawn Olson. Influence of cover crops on insect pests and predators in conservation tillage cotton. *Journal of Economic Entomology*, 97(4) :1217–1232, August 2004.
- [100] UCLouvain. Le maraîchage - ferme de lauzelle. <https://uclouvain.be/fr/facultes/agro/ferm/maraichage-ferme-de-lauzelle.html>.
- [101] Parton W., Silver W.L., Burke I.C., Grassens L., and Harmon M.E. *Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition*. 361–364. Science 315, 2007.
- [102] Hong Wang, Jianen Gao, Xinghua Li, Hongjie Wang, and Yuanxing Zhang. Effects of Soil and Water Conservation Measures on Groundwater Levels and Recharge. *Water*, 6(12) :3783–3806, December 2014. Number : 12 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [103] Xiukang Wang, Junliang Fan, Yingying Xing, Guoce Xu, Haidong Wang, Jian Deng, Yanfeng Wang, Fucang Zhang, Peng Li, and Zhanbin Li. Chapter Three - The Effects of Mulch and Nitrogen Fertilizer on the Soil Environment of Crop Plants. In Donald L. Sparks, editor, *Advances in Agronomy*, volume 153, pages 121–173. Academic Press, January 2019.
- [104] Anne Weil and Jean Duval. *Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée, Module 6, Gestion du sol : état de santé, drainage, chaulage et travail du sol*. Bio-Action, 2009.
- [105] Wikipédia. Lumbricina. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lumbricina>.
- [106] Koen Willekens, Bart Vandecasteele, David Buchan, and Stefaan De Neve. Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, 82 :61–71, October 2014.
- [107] Paul J. A. Withers, Colin Neal, Helen P. Jarvie, and Donnacha G. Doody. Agriculture and Eutrophication : Where Do We Go from Here ? *Sustainability*, 6(9) :5853–5875, September 2014. Number : 9 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [108] Changcai Wu, Yajie Ma, Dan Wang, Yongpan Shan, Xianpeng Song, Hongyan Hu, Xiangliang Ren, Xiaoyan Ma, Jinjie Cui, and Yan Ma. Integrated microbiology and metabolomics analysis reveal plastic mulch film residue affects soil microorganisms and their metabolic functions. *Journal of Hazardous Materials*, 423 :127258, February 2022.
- [109] Guofan Zhu, Ruijun Du, Daolin Du, Jiazhong Qian, and Mao Ye. *A critical review of current methods in earthworm ecology : From individuals to populations, Issue 2*. European Journal of Soil Biology Volume 46, 2010.

- [110] Guofan Zhu, Ruijun Du, Daolin Du, Jiazhong Qian, and Mao Ye. *IKeystone taxa shared between earthworm gut and soil indigenous microbial communities collaboratively resist chlordane stress?* Environmental Pollution Volume 283, 2021.
- [111] Michael Thomas Zumstein, Arno Schintlmeister, Taylor Frederick Nelson, Rebekka Baumgartner, Dagmar Woebken, Michael Wagner, Hans-Peter E. Kohler, Christopher McNeill, and Michael Sander. Biodegradation of synthetic polymers in soils : Tracking carbon into CO<sub>2</sub> and microbial biomass. *Science Advances*, 4(7) :eaas9024, July 2018.

## 5 Annexes

### Annexe 1 : Résultats d'analyse de sol en laboratoire de 2023 - Partie 1



#### CENTRE PROVINCIAL DE L'AGRICULTURE ET DE LA RURALITE.

17, rue Saint-Nicolas B-1310 La Hulpe  
Tél: 02/656 09 70  
Membre de REQUASUD

UCL Centre Alphonse de Marbais

Rue Laïd Burnia, 30  
1325 Corroy-le-Grand

#### BULLETIN D'ANALYSE CHIMIQUE DE TERRE

(BA N° T23/0725)

|                         |                            |  |        |                        |          |
|-------------------------|----------------------------|--|--------|------------------------|----------|
| Date d'échantillonage : | 8/02/2023                  | Echantilleur :                         | Wiseur | N°d'analyse chimique : | T23/0725 |
| Date de réception :     | 9/02/2023                  | N°de boîte :                           | 3272   |                        |          |
| Date d'édition :        | 24/02/2023                 | Profondeur de prélèvement :            | 25 cm  |                        |          |
| Dates d'analyses :      | Du 9/02/2023 au 24/02/2023 | Etat de l'échantillon à la réception : | Bon    |                        |          |

#### 1. Renseignements concernant la parcelle

Nom de la parcelle : N°47-48-49-50 Maraichage  
Superficie : 0,4 ha  
Texture : Limon

#### 2. Renseignements concernant l'échantillonnage

Méthode : PTCPS1 dérivée de ISO 18400-(101-102-104-107-202-205) et ISO 18512.  
Mode de prélèvement : Zig-zag Charge caillouteuse : <10%  
Etat de la parcelle : Hétérogène Prélèvement sur : Parcelle entière  
Source d'hétérogénéité : Relief  
Ecart par rapport à la procédure : Prélèvement dans une zone hétérogène. Hétérogénéité liée au relief et précédent.

► L'échantillonnage est couvert par l'accréditation BELAC. Le plan d'échantillonnage est disponible sur demande.

#### 3. Renseignements phytotechniques

Culture précédente : POTAGER - LEGUMES  
Culture projetée : POTAGER - LEGUMES

#### 4. Tableaux des résultats

PTCPS2 : Prélèvement des échantillons. Méthode dérivée de NF ISO 11464 : sol séché ( $T^* < 40^\circ\text{C}$ ) et broyé à 2 mm. Utilisation d'un broyeur à brosses.

| Éléments                    | Méthodes  | Teneurs de terre sèche | Appréciations <sup>a,b</sup> | Zone de référence <sup>a</sup> mg/100g de terre sèche |
|-----------------------------|---|------------------------|------------------------------|---|
| ► Phosphore <sup>1</sup> P  | PTC510-Colorimétrie au bieu de Molybdène. Méthode propre.                                 | 8,1 mg/100g            | Elevé                        | 4,6 - 7,5   |
| ► Potassium <sup>1</sup> K  | PTC812-Spectrophotométrie d'absorption atomique. Méthode propre                           | 24 mg/100g             | élevé                        | 14 - 21   |
| ► Magnésium <sup>1</sup> Mg |   | 13 mg/100g             | très élevé                   | 7 - 10  |
| ► Calcium <sup>1</sup> Ca   |   | 198 mg/100g            |                              |   |
| ► pH KCl 1N                 | PTC83-NF ISO 10390  | 6,0                    | légèrement acide             | pH KCl idéal : 6,6                                    |
| ► Carbone organique         | PTC88-Dérivée de NF ISO 10694<br>Valeur calculée. Carbone organique x 2. D.W. Pribyl-2010 | 20,6 g/kg              | excellent                    |   |
| ► Humus                     |   | 4,1 %                  |                              |   |

► Carbone total : 20,6 g/kg PTC88-Dérivée de NF ISO 10694  
CaCO<sub>3</sub> : PTPS2-dérivée de NF ISO 10693

L'incertitude de mesure sur les résultats d'analyses et d'échantillonnage accrédités peut être obtenue sur simple demande.



► Analyses réalisées sous accréditation BELAC.

N° 280-TEST

Ce rapport ne concerne que l'échantillon soumis aux analyses. Les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Ce rapport doit être reproduit dans son intégralité.

Page 1/2

# Annexe 1 : Résultats d'analyse de sol en laboratoire de 2023 -

## Partie 2

BA N° T23/0725

UCL Centre Alphonse de Marbais  
Rue Laid Burnia, 30  
1325 Corroy-le-Grand

| Paramètres                    | Méthodes                      | Teneurs  | Appréciations <sup>2,3</sup> | Zone de référence <sup>2</sup> |
|-------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|
| Fer <sup>1</sup>              | Fe                            |  |                              |                                |
| Manganèse <sup>1</sup>        | Mn                            | PTCB12-Spectroscopie d'absorption atomique. Méthode propre |                              |                                |
| Cuivre <sup>1</sup>           | Cu                            |  |                              |                                |
| Zinc <sup>1</sup>             | Zn                            |  |                              |                                |
| Sodium <sup>1</sup>           | Na                            |  |                              |                                |
| ► Azote total                 | PTC88-Dérivée de NF ISO 13878 | 0,19 %   | normalement pourvu           |                                |
| Carbone/Azote                 | Valeur calculée.              | 11   | bon                          | 8 - 12                         |
| Chlorure de sodium            | Méthode de Mohr               |  |                              |                                |
| Conductivité                  | PTC815-ISO 11265              |  |                              |                                |
| pH_eau                        | PTC83-NF ISO 10360            |  |                              |                                |
| Capacité d'échange cationique |                               |  |                              |                                |
| Calcaire Actif                |                               |  |                              |                                |

L'incertitude de mesure sur les résultats d'analyses et d'échantillonnage accréditée peut être obtenue sur simple demande.

La Responsable du pôle Laboratoires d'analyses agricoles,  
Dr. Ir. M. Renneson.

### 5. Avis de fumure <sup>3</sup>

Fumure pour : **POTAGER - LEGUMES** Dosage à l' ARE

Pour votre culture, les fumures suivantes qui correspondent aux appréciations ci-dessus sont à appliquer en kg à l'are :

| Type d'élément | Type d'engrais  | Quantités en kg/are |
|----------------|---|---------------------|
| Phosphore P    | super triple à 45%                                      | 0                   |
| Potassium K    | sulfate de potasse K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> à 50% | 2                   |
| Magnésium Mg   | kiésérite MgSO <sub>4</sub> à 26%                       | 0                   |
| Chaux Ca       | MAERL à 50% V.N.  | 23                  |
| Azote N        | sulfate d'ammoniaque à 20%                              | 4                   |

Une indication claire et précise de la texture du sol lors de la remise de l'échantillon est essentielle: en effet, la texture conditionne une bonne fumure. En cas de doute, nous vous conseillons de demander l'analyse granulométrique.

Remarque: si vous ne comprenez pas un résultat ou si vous désirez demander un complément d'information, n'hésitez pas à nous contacter au 02/656 09 70.

La Responsable du pôle Laboratoires d'analyses agricoles,  
Dr. Ir. M. Renneson.

<sup>1</sup> Nature de l'extrait: Acétate d'ammonium 0,05N - EDTA 0,02M, pH 4,65 - LAKANEN-ERVIÖ (1971) CWSA 54-12, points 6 et 7.10/PTCB9.

<sup>2</sup> Les zones de référence et les interprétations sont basées sur des essais effectués dans le cadre de la Commission des Solis de Wallonie par Ir. A.Descamps (Essais non publiés).

<sup>3</sup> Les avis et appréciations ne sont pas couverts par l'accréditation. Ils sont communiqués sans tenir compte de l'incertitude de mesure sur les résultats.

Les informations contenues ou générées au cours des activités des laboratoires ainsi que les informations obtenues par l'intermédiaire de la client sont destinées à caractériser entre les laboratoires et le client. Les données à caractère personnel sont réservées et traitées dans le but de répondre à la demande de service et de renseignement. Elles ne seront pas utilisées à des fins de prospection. Par contre, nous pouvons faire modifier ou supprimer les données vous concernant via l'adresse mail: app@belac.be. Les coordonnées géographiques couplées aux résultats d'analyses de vos parcelles agricoles peuvent être transmises à l'asbl RÉGULATUO afin d'élaborer des statistiques rendues anonymes, sur l'îlot des sols wallons.



Analyses réalisées sous accréditation BELAC.

N° 2BD-TEST

Ce rapport ne concerne que l'échantillon soumis aux analyses. Les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Ce rapport doit être reproduit dans son intégralité.

Page 2/2

## Annexe 2 : plan de cultures actuel de la ferme maraichage bio de l'UCLouvain-Partie 1

Automne 2023

1

| Emplacement | avr. | mai               | juin                | juil.                  | août | sept.             | oct. | nov. | déc. | janv. | févr. | mars |
|-------------|------|-------------------|---------------------|------------------------|------|-------------------|------|------|------|-------|-------|------|
| A1          |      |                   |                     | 21 Co, courges mix     | 35   | 39                |      |      |      |       |       |      |
| A2          |      |                   |                     | 21 Co, potimarron      | 35   | 39                |      |      |      |       |       |      |
| A3          |      |                   |                     | 21 Co, potimarron      | 35   | 39                |      |      |      |       |       |      |
| A4          |      |                   |                     | 21 Co, potimarron      | 35   | 39                |      |      |      |       |       |      |
| A5          |      |                   |                     | 21 Co, courges mix     | 35   | 39                |      |      |      |       |       |      |
| A6          |      |                   |                     |                        |      |                   |      |      |      |       |       |      |
| A7          |      |                   | 20 Po, Poivron mix  | 31                     |      | 43                |      |      |      |       |       |      |
| A8          |      |                   | 20 Au, Aubergine    | 30                     |      | 39                |      |      |      |       |       |      |
| A9          |      |                   | 22 To, Tomate Mix   | 33                     |      | 42                |      |      |      |       |       |      |
| A10         |      |                   | 23 Co, courgette    | 30                     |      | 44                |      |      |      |       |       |      |
| B1          |      | 19 Co, courgette  | 26                  |                        |      | 44                |      |      |      |       |       |      |
| B2          |      | 19 Co, courgette  | 26                  |                        |      | 44                |      |      |      |       |       |      |
| B3          |      | 19 Co, courgette  | 26                  |                        |      | 44                |      |      |      |       |       |      |
| B4          |      |                   | 22 To, Tomate Mix   | 33                     |      | 42                |      |      |      |       |       |      |
| B5          |      |                   | 22 To, Tomate Mix   | 33                     |      | 42                |      |      |      |       |       |      |
|             |      |                   | 24 Co, concombre    | 33                     |      | 41                |      |      |      |       |       |      |
| B6          |      |                   | 21 Pa, Panais Turga | 41                     |      |                   | 1    |      |      |       |       |      |
| B7          |      |                   |                     | 27 Be, Betterave Rouge | 35   |                   | 44   |      |      |       |       |      |
| B8          |      |                   |                     | 27 Be, Betterave Rouge | 35   |                   | 44   |      |      |       |       |      |
| B9          |      | 16 Ep, Epinard... | 22                  |                        |      | 33 Ep, Epinard... | 39   |      |      |       |       |      |

## Annexe 2 : plan de cultures actuel de la ferme maraichage bio de l'UCLouvain-Partie 2

Automne 2023

2

| Emplacement | avr. | mai                         | juin                           | juil.                            | août                   | sept.                  | oct. | nov. | déc. | janv. | févr. | mars |
|-------------|------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|------|------|------|-------|-------|------|
| B10         |      | 12 Bi, Bette Mélancolie     | 21                             |                                  | 35                     |                        |      |      |      |       |       |      |
| C1          |      | 14 Fe, Fenouil Solaris      | 23                             |                                  | 27 Fe, Fenouil Solaris | 35                     |      |      |      |       |       |      |
|             |      | 16 Fe, Fenouil Solaris      | 25                             |                                  | 20 Fe, Fenouil Solaris | 29                     |      |      |      |       |       |      |
|             |      |                             | 20 Fe, Fenouil Solaris         | 29                               |                        |                        |      |      |      |       |       |      |
| C2          |      | 19 Cé, Céleri branche Tango | 29                             | 32                               |                        |                        |      |      |      |       |       |      |
|             |      |                             |                                |                                  | 25 Fe, Fenouil Solaris | 34                     |      |      |      |       |       |      |
|             |      |                             |                                |                                  |                        | 31 Fe, Fenouil Solaris | 39   |      |      |       |       |      |
| C3          |      | 13 Pe, Persil plat et frisé | 25                             |                                  |                        |                        | 51   |      |      |       |       |      |
| C4          |      |                             |                                | 26 Ca, Carotte orange et couleur |                        | 44                     | 48   |      |      |       |       |      |
| C5          |      |                             |                                | 28 Ca, Carotte orange et couleur |                        | 46                     | 50   |      |      |       |       |      |
| C6          |      |                             |                                |                                  |                        |                        |      |      |      |       |       |      |
| C7          |      |                             |                                |                                  |                        |                        |      |      |      |       |       |      |
| C8          |      |                             |                                |                                  |                        |                        |      |      |      |       |       |      |
| C9          |      |                             |                                |                                  |                        |                        |      |      |      |       |       |      |
| C10         |      | 18 cé, Céleri rave Monarch  |                                |                                  | 35                     |                        | 48   |      |      |       |       |      |
|             |      |                             |                                | 21 Pa, Panais Turga              |                        | 41                     |      | 1    |      |       |       |      |
| D1          |      |                             | 20 Ma, Maïs doux Golden Bantam | 35                               |                        |                        |      |      |      |       |       |      |
| D2          |      | 6                           |                                |                                  |                        |                        |      | 6    |      |       |       |      |
| D3          |      |                             |                                |                                  |                        |                        |      |      |      |       |       |      |

## Annexe 2 : plan de cultures actuel de la ferme maraichage bio de l'UCLouvain-Partie 3

Automne 2023

3

| Emplacement | avr.                         | mai | juin             | juil.                        | août | sept. | oct. | nov. | déc. | janv. | févr. | mars |
|-------------|------------------------------|-----|------------------|------------------------------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
| D4          |                              |     |                  | 23 Ch, Chou Blanc rouge vert |      |       | 43   | 51   |      |       |       |      |
| D5          | 6                            |     |                  |                              |      |       |      |      | 6    |       |       |      |
| D6          |                              |     |                  |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |
| D7          | 13 oi, Oignon...             | 19  | 25               |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |
|             | 15 oi, Oignon...             | 21  | 27               |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |
|             | 18 oi, Oignon...             | 24  | 30               |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |
|             | 20 oi, Oignon...             | 25  | 31               |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |
|             | 22 oi, Oignon ...            | 27  | 33               |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |
| D8          | 15 oi, Oignon et echal...    | 23  |                  | 38                           |      |       |      |      |      |       |       |      |
| D9          | 15 oi, Oignon et echal...    | 23  |                  | 38                           |      |       |      |      |      |       |       |      |
|             | 19 Ch, Ch de BXL Nautic F1   |     |                  |                              | 44   | 1     |      |      |      |       |       |      |
| D10         |                              |     |                  |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |
| E1          | 19 Ch, Ch de BXL Nautic F1   |     |                  |                              | 44   | 1     |      |      |      |       |       |      |
| E2          | 24 ch, Kale                  |     | 38               |                              |      |       | 3    |      |      |       |       |      |
| E3          | 23 Ch, Chou Blanc rouge vert |     |                  |                              | 43   | 51    |      |      |      |       |       |      |
| E4          | 23 Ch, Chou Blanc rouge vert |     |                  |                              | 43   | 51    |      |      |      |       |       |      |
| E5          | 23 Ch, Chou Blanc rouge vert |     |                  |                              | 43   | 51    |      |      |      |       |       |      |
| E6          |                              |     | 30 Ch, Ch Pointu |                              | 40   | 45    |      |      |      |       |       |      |
| E7          |                              |     |                  |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |
| E8          |                              |     |                  |                              |      |       |      |      |      |       |       |      |

## Annexe 2 : plan de cultures actuel de la ferme maraichage bio de l'UCLouvain-Partie 4

Automne 2023

4

| Emplacement | avr. | mai | juin                          | juil. | août | sept. | oct. | nov. | déc. | janv. | févr. | mars |
|-------------|------|-----|-------------------------------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
| E9          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| E10         |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| F1          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| F2          |      |     | 23 Ha, Haricot Roi des Belges | 34    |      |       |      |      |      |       |       |      |
| F3          |      |     | 23 Ha, Haricot Roi des Belges | 34    |      |       |      |      |      |       |       |      |
| F4          |      |     | 23 Ha, Haricot Roi des Belges | 34    |      |       |      |      |      |       |       |      |
| F5          |      |     | 23 Ha, Haricot Roi des Belges | 34    |      |       |      |      |      |       |       |      |
| F6          |      |     | 23 Ha, Haricot Roi des Belges | 34    |      |       |      |      |      |       |       |      |
| F7          |      |     | 23 Po, Poireau automnehiver   |       |      | 44    |      | 6    |      |       |       |      |
| F8          |      |     | 23 Po, Poireau automnehiver   |       |      | 44    |      | 6    |      |       |       |      |
| F9          |      |     | 23 Po, Poireau automnehiver   |       |      | 44    |      | 6    |      |       |       |      |
| F10         |      |     | 23 Po, Poireau automnehiver   |       |      | 44    |      | 6    |      |       |       |      |
| G1          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| G2          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| G3          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| G4          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| G5          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| G6          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| G7          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |
| G8          |      |     |                               |       |      |       |      |      |      |       |       |      |

**UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN**  
**Faculté des bioingénieurs**

Croix du Sud, 2 bte L7.05.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | [www.uclouvain.be/agro](http://www.uclouvain.be/agro)