# L’agriculture de conservation en maïs : expérimentation de la technique d’association avec des légumineuses

**François Dessart**

**2016-2017**

« La chose la plus dangereuse qui ait été inventée dans l'agriculture, c'est l'essuie-glace car il permet à l'agriculteur de travailler quand il pleut. »

Georges Oxley

« La nature offre de multiples services gratuits qui ne deviennent visibles que le jour où ils disparaissent. »

Frédéric Thomas (conférence du 28 juin 2017 à Corroy-le-Grand)

# Résumé

De plus en plus d'agriculteurs wallons se tournent vers l'agriculture de conservation (AC) pour des raisons sociales, environnementales, agronomiques et économiques. Ce travail de fin d'étude présentera les résultats obtenus grâce à une technique innovante de la culture de maïs.

Cette culture de maïs laissant une grande surface de sol à nu pendant le printemps et rendant le sol sensible à l'érosion est exigeante en termes de structure de sol et d'eau. Ce travail de fin d'études propose des itinéraires techniques performants en culture de maïs tant au niveau environnemental qu'économique en y associant des légumineuses.

Dans la première partie, une revue bibliographique présente les connaissances actuelles sur l'agriculture de conservation, le maïs et les légumineuses ainsi que les relations entre ces différents éléments.

La deuxième partie est consacrée à la mise en place et à l'étude d'un essai de sous-semis de légumineuses dans l'inter-rang du maïs à l'aide d'une désherbineuse et ce afin de mettre en évidence les services rendus par cette association comme l'amélioration de la structure du sol, la fixation d'azote, l'augmentation de la biodiversité, une diminution de l'érosion et des adventices. En plus de ces services, des mesures de biomasses, de comptages d'adventices, d'azote et de qualité nutritionnelle ont permis de mettre en évidence qu'une couverture de légumineuses semées à la désherbineuse incluant une réduction des produits phytopharmaceutique permettait de réaliser une économie sans pour autant pénaliser la croissance du maïs.

La dernière partie retrace le suivi de 4 autres essais maïs en rapport avec l'agriculture de conservation des sols. Même si ceux-ci sont réalisés de manière moins « scientifique », ils devraient permettre de guider les recherches ultérieures notamment en étant attentif aux moyens d'implantations, à l'historique des parcelles et au désherbage afin de mieux maîtriser le couvert et les adventices.

Mots clés :

Maïs, légumineuses, culture associée, agriculture de conservation.

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier, Monsieur Maxime Merchier pour m'avoir permis de réaliser ce stage de qualité ainsi que pour sa confiance et son aide précieuse. Madame Jacqueline Delvaux pour son soutien tout au long de mon cursus et Madame Marie-Pierre Laruelle pour sa contribution de lectrice.

Je tiens à remercier le CARAH, le CPAR de la Hulpe et Jean François Oost du CIPF pour leur collaboration dans la récolte et l'analyse des échantillons ainsi que Messieurs Vincent Renard, Ludovic Cattebeke, Sébastien Gelinne et Yves Goeis, chez qui les essais étaient mis en place.

Je remercie Monsieur Simon Dierickx qui fut non seulement un des meilleurs camarades durant mes études mais aussi un excellent partenaire de travail.

Et une pensée affectueuse pour ma famille qui a toujours cru en moi.

# Table des matières

Résumé ..... 2
Remerciements ..... 3
Table des matières ..... 4
Table des illustrations ..... 8
Table des tableaux ..... 11
Introduction générale ..... 12
Partie 1 : Revue bibliographique ..... 13
1. Introduction ..... 13
2. L'agriculture de conservation ..... 13
2.1 Définition ..... 13
2.2 Historique ..... 13
2.3 Techniques culturales ..... 14
2.4 Une vision du carbone plus raisonnée ..... 14
2.5 La fertilité des sols et la réintroduction des légumineuses ..... 15
2.6 En synthèse ..... 15
3. La culture du maïs en Belgique ..... 16
3.1 Superficie ..... 16
3.2 Production ..... 17
3.3 Débouchés ..... 19
3.4 Les avantages du maïs ..... 19
4. Problématiques liées au maïs ..... 21
4.1 La perte de vie biologique ..... 21
4.2 La perte de nitrates ..... 21
4.3 L'érosion et la couverture du sol ..... 21
4.4 Les adventices ..... 22
4.5 Le tassement ..... 23
5. Pistes d'amélioration de la culture du maïs en agriculture de conservation ..... 24
5.1 Perte de nitrate et de vie microbienne ..... 24

5.1.1 Légumineuses ..... 25
5.1.2 Le rhizobium ..... 26
5.1.3 Les graminées ..... 27
5.2 Erosion et la couverture du sol ..... 28
5.2.1 Les techniques culturales simplifiées (TCS) ..... 28
5.2.1.1 Le strip-till ..... 29
5.2.1.2 Le semis direct (SD) ..... 30
5.3 Synthèse des techniques d'implantation du maïs en association ..... 31
5.3.1 Maïs-graminées ..... 31
5.3.2 Maïs-légumineuses ..... 33
5.4 Lutte contre les adventices ..... 35
5.4.1 Introduction ..... 35
5.4.2 Lutte chimique ..... 35
5.4.2.1 Désherbage chimique du maïs en présence de sous semis. ..... 36
5.4.3 Lutte mécanique ..... 36
5.4.4 Lutte chimique et mécanique : la désherbineuse ..... 39
Partie 2 : Partie expérimentale ..... 41
1. Objectif général ..... 41
2. Détermination des essais expérimentaux ..... 41
3. Essai maïs avec sous semis de légumineuses ..... 43
3.1 Objectif ..... 43
3.2 Localisation ..... 44
3.3 Choix de l'emplacement de la parcelle expérimentale ..... 44
3.4 Choix des modalités ..... 45
3.5 Choix des légumineuses ..... 46
3.6 Itinéraire technique ..... 49
3.7 Plan de l'essai ..... 53
3.8 Evolution des modalités en images ..... 56
3.9 Conditions climatiques ..... 57
4. Mesures expérimentales réalisées ..... 58
4.1 Biomasse aérienne des sous semis ..... 58
4.2 Biomasse aérienne du maïs ..... 59

4.3 Azote ..... 60
4.4 Comptages adventices ..... 60
4.5 Rendements et qualités technologiques du grain ..... 61
5. Interprétation des résultats Vieusart ..... 62
5.1 Développement des couverts ..... 62
5.2 Développement du maïs ..... 64
5.3 Azote ..... 66
5.4 Développement des adventices ..... 68
5.5 Qualités technologiques de l'ensilage ..... 70
5.5.1 Analyse des VEM ..... 70
5.5.3 Analyse de la matière protéique totale ..... 71
5.6 Synthèse des résultats du sous-semis de légumineuses ..... 72
6. Discussions des interrelations entre les résultats de Vieusart ..... 73
6.1 Concurrence des couverts sur le maïs ..... 73
6.2 Concurrence des couverts sur le développement des adventices ..... 73
6.3 Influence des couverts sur la qualité du maïs ..... 73
6.4 Captage et relargage azoté des couverts de légumineuses ..... 74
7. Autres suivis d'essais en maïs ..... 75
7.1 Suivi de l'essai à Herquegies ..... 75
7.1.1 Présentation et but de l'essai ..... 75
7.1.2 Choix des modalités ..... 75
7.1.3 Discussion des observations ..... 77
7.2 Suivi de l'essai de Genappe ..... 80
7.2.1 Présentation de l'essai ..... 80
7.2.2 Choix des modalités ..... 80
7.2.3 Discussion des observations ..... 82
7.3 Suivi de l'essai de Merbes le Château ..... 84
7.3.1 Présentation de l'essai ..... 84
7.3.2 Choix des modalités ..... 84
7.3.3 Discussion des observations ..... 85
7.4 Suivi de l'essai de Bernissart ..... 86
7.4.1 Présentation de l'essai ..... 86

7.4.2 Choix des modalités ..... 86
7.4.3 Discussion des observations ..... 87
Conclusion ..... 88
Bibliographie ..... 89
Annexes ..... 93
Annexe 1 : Principaux type de sols en Wallonie ..... 93
Annexe 2 : Bilan climatologique printemps et été 2017 ..... 94
Annexe 3 : Listes d'éfficacité des produits phytosanitaires en pré-émergence et en post-émergence avec ou sans therbuthylazine en fonction des adventices présentes ..... 95
Annexe 4 : Légende de la carte des sols de Wallonie ..... 98
Annexe 5 : Tableau reprenant les données de biomasses des couverts de légumineuses. 99
Annexe 6 : Résultat des biomasses sèches du maïs ensilage ..... 101
Annexe 7 : Bulletin d'analyse des prélèvements ..... 102
Annexe 8 : Tableaux reprenant les comptages d'adventices ..... 104
Annexe 9 : Tableau reprenant l'analyse de la qualité de l'ensilage ..... 106

# Table des illustrations

La majorité des photos insérées dans ce travail sont personnelles et réalisées durant mon TFE (Février à Novembre 2017), sauf si signalées en légende.

Figure 1: Carte de la Wallonie représentant la somme des températures en base 6°C de 2003 à 2012 pour 23 stations de l'asbl Pameseb . Source : (Pameseb 2013)..... 17
Figure 2 : Carte des rendements moyen en maïs ensilage obtenus en Wallonie. Source : (Pameseb 2013)..... 18
Figure 3 : Consommation d'eau de diverses grandes cultures pour produire 1kg de matière sèche. Source : (AGPM 2012)..... 20
Figure 4 : Graphique représentant les périodes à risques concernant l'érosion des sols en maïs Source : (Laloy and Bielders 2010)..... 22
Figure 5 : Concurrence occasionnées par les adventices par rapport au maïs. Source : (Syngenta 2016) ..... 23
Figure 6 : Cinétique de croissance et de prélèvement N, P et K. Source : (Renoux 2014) ..... 24
Figure 7 : Caractéristiques des légumineuses (Wouez 2016) ..... 26
Figure 8 : Nodosités présentes sur une racine de vesce. (Photo personnel)..... 26
Figure 9 : Libération d'azote au printemps-été d'un fumier, d'un trèfle comparé à un témoin non fertilisé. Source : (Wouez 2016)..... 27
Figure 10 : Détails d'un strip-till couplé à un semoir à maïs ..... 29
Figure 11 : Fétuque semée avec le semoir Pottinger Aerosem en même temps que le maïs. Source : (CIPF 2017) ..... 32
Figure 12 : Graphique montrant l'impact des adventices sur le potentiel de rendement. Source : (Renoux 2014) ..... 35
Figure 13 : Désherbineuse du CIPF..... 39
Figure 14 : Buses permettant de traiter le rang de chaque côté ainsi que les dents permettant de biner l'inter-rang..... 39
Figure 15 : Carte de la Wallonie montrant les lieux d'essais en maïs de cette année. Source : (SPW 2016)..... 42
Figure 16 : Représentation du semis direct du froment dans un couvert de trèfle ayant été régulé de manière à le garder vivant dans le froment ou détruit. Source : (ARVALIS 2013) .. 43
Figure 17 : Visualisation de l'essai mis en place à Vieusart. Source : (SPW 2016) ..... 44
Figure 18 : Carte pédologique avec encadrement de la parcelle où se situe l'essai. Source : (SPW 2014)..... 44
Figure 19 : Arbre de décision représentant le chemin suivi (en vert) sur les pistes possibles (en noir) pour cet essai..... 45
Figure 20 : Déchaumeur vibroflex (3m) ..... 49
Figure 21 : Semoir à maïs Monosem 4 rangs ..... 49
Figure 23 : Espacement entre 2 grains de maïs sur le même rang ..... 50
Figure 22 : Visualisation de la profondeur du semis ..... 50

Figure 24 : Premier désherbinage du 2 juin 2017 ..... 51
Figure 25 : Bandelettes absorbantes permettant de voir l'efficacité d'une pulvérisation via l'impact des gouttelettes ..... 51
Figure 26 : Mesure de la circonférence de la roue de jauge..... 52
Figure 27 : Sachets mis au bout des organes semeurs pour estimer la densité de semis..... 53
Figure 28 : Cylindre permettant de régler la descente gravitaire des semences ..... 53
Figure 29 : Plan de l'essai de sous-semis de légumineuse en inter-rang du maïs à Vieusart .. 55
Figure 30 : Evolution de la couverture des légumineuses dans l'inter-rang du maïs de l'essai de Vieusart ..... 56
Figure 31 : Graphique représentant les précipitations, les températures et l'insolation au printemps à Uccle depuis 1981. Source : (IRM 2017) ..... 57
Figure 32 : Quantités mensuelles des précipitations de 1981 à 2017. Source : (IRM 2017) ... 58
Figure 33 : Prélèvements de la matière fraiche aérienne du trèfle blanc Huia ..... 58
Figure 34 : Ensileuse expérimentale deux rangs avec un bac peseur intégré à la machine .... 59
Figure 35 : Deux rangs de maïs d'une répétition de la modalité trèfle Huia méca ..... 59
Figure 36 : Sac micro perforé comprenant un échantillon d'ensilage ..... 59
Figure 37 : Prélèvement d'azote effectué avec une sonde manuelle..... 60
Figure 38 : Graphique de la moyenne des biomasses aériennes des sous-semis en kg par hectare ..... 62
Figure 39 : Graphique reprenant les rendements maïs en tonne de matière sèche par hectare pour les différentes modalités ..... 64
Figure 40 : Graphique de l'azote contenu dans le sol sur l'ensemble de la parcelle le 6/02 et dans chaque modalité le 20/09..... 66
Figure 41 : Graphique représentant l'évolution des adventices présentes dans les modalités ..... 68
Figure 42 : Graphique de la production de VEM du maïs présent sur les différents couverts 70
Figure 43 : Graphique des matières protéiques totales du maïs présentes sur les différents couverts..... 71
Figure 44 : Plan d'essai maïs grain à Herquegies ..... 76
Figure 45 : Maïs et féveroles semés sur le même rang..... 77
Figure 47 : Maïs et féveroles semés en alternance un rang sur deux (photo du 12 juin 2017) ..... 77
Figure 46 : Maïs et féverole en alternance un rang sur deux (photo du 17 octobre 2017, trois semaines avant la récolte) ..... 77
Figure 48 : Vidange de la trémie dans un big bag. ..... 78
Figure 49 : Détermination du poids du big bag à l'aide d'un peson ..... 78
Figure 50 : Graphique donnant le rendement du maïs grain en tonnes par hectare de chaque modalité ..... 79
Figure 51 : Plan de l'essai de Genappe..... 81
Figure 52 : Semis du maïs et des légumineuses en un passage avec le Pottinguer Aerosem . 82
Figure 53 : Pulvérisation des modalités par Redebel..... 82

Figure 54 : Effet de la concurrence des adventices (chénopodes) sur le maïs ..... 82
Figure 55 : Plan de l'essai de Merbes Le Château ..... 84
Figure 56: Semis de féveroles en inter-rang du maïs avec semoir à céréales modifié ..... 85
Figure 57 : Chénopodes blanc en inter-rang du maïs gênant le développement du maïs dans une modalité « féverole » ..... 85
Figure 58 : Plan de l'essai de Bernissart ..... 86
Figure 59 : Semis du maïs avec fraise modifié pour effet strip-till travaillant que le rang de semis ..... 87
Figure 60 : Maïs peu développé le 21 juin ..... 87

# Table des tableaux

Tableau 1: Développement des 3 grands principes de l'agriculture de conservation. Source : (Merchier 2017)..... 15
Tableau 2 : Superficies agricoles des différentes cultures en hectares sur le sol belge. Source : (Statbel 2016)..... 16
Tableau 3 : Avantages de la culture du maïs. Source : (AGPM 2012)..... 20
Tableau 4 : Avantages des techniques culturales simplifiées. Source : (Labreuche, and Eschenbrenner, 2011)..... 28
Tableau 5 : Contraintes des techniques culturales simplifiées. Source : (Labreuche, and Eschenbrenner, 2011)..... 29
Tableau 6 : Avantages du semis direct. Source : (Conférences Sky du 19 avril 2017 à Sart Dames Avelines)..... 30
Tableau 7 : Inconvénients du semis direct. Source : (Conférences Sky du 19 avril 2017 à Sart Dames Avelines)..... 31
Tableau 8 : Caractéristiques de différentes légumineuses testées en sous semis dans le maïs dans un essai en Loire-Atlantique. Source : (Legere 2017)..... 34
Tableau 9 : Sélectivité de désherbages maïs sur 3 variétés de fétuques et 1 variété de trèfle blanc en sous-semis. Source : (CIPF and Centre pilote maïs 2017)..... 36
Tableau 10 : Avantages et désavantages de la desherbineuse. Source : (Freulon 2014)..... 40
Tableau 11 : Caractéristiques des légumineuses utilisées dans l'essai..... 48
Tableau 12 : Détails du travail du sol avant le semis du maïs..... 49
Tableau 13 : Détails de la densité de semis et de la variété du maïs..... 50
Tableau 14 : Information techniques de la pulvérisation lors du premier désherbinage..... 51
Tableau 15 : Information techniques de la pulvérisation lors du deuxième désherbinage..... 52
Tableau 16 : Tableau des réglages du semoir en fonction de la densité de semis de chaque modalité..... 53
Tableau 17 : Tableau synthèses des différentes mesures expérimentales réalisées sur le sous-semis de légumineuses dans le maïs..... 72

# Introduction générale

Malgré un monde en perpétuel expansion démographique, nos sols s'épuisent, la biodiversité diminue, les intrants augmentent sans que la rémunération des agriculteurs-éleveurs augmentent, les consommateurs veulent manger de manière respectueuse de l'environnement… Sommes-nous devant une impasse ? Les méthodes d'exploitation des sols doivent être revues et une gestion raisonnée et durable de l'agriculture en Wallonie comme partout dans le monde doit être mise en place. De plus en plus d'agriculteurs wallons se tournent donc vers l'agriculture de conservation (AC), pour des raisons sociales, environnementales, agronomiques et économiques.

J'ai choisi de réaliser mon stage et mon travail de fin d'étude dans l'ASBL Greenotec car celle-ci développe et prône une agriculture durable, sensible aux problématiques environnementales. De plus Greenotec m'a donné la possibilité de réaliser mon mémoire sur un sujet en rapport avec les légumineuses. Mon intérêt pour les légumineuses provient des divers cours et visites suivis durant mon cursus démontrant le potentiel de celles-ci dans l'agriculture de demain. Ces plantes, parfois oubliées, refont surface depuis une trentaine d'années.

La culture de maïs laisse une grande surface de sol à nu pendant le printemps rendant le sol sensible à l'érosion. Cette culture exigeante en termes de structure de sol et d'eau doit donc être conduite avec soin. L'objectif de ce travail de fin d'études est de développer des itinéraires techniques performants en culture de maïs tant au niveau environnemental qu'économique en y associant des légumineuses.

Cette opportunité de concilier travail de recherche et sa mise en pratique m'a permis d'observer sur le terrain l'application d'itinéraires spécifiques. De plus, la collaboration de Greenotec avec de nombreux organismes, agriculteurs, chercheurs m'a permis de côtoyer de nombreuses personnes impliquées dans divers secteurs en rapport avec l'agriculture.

Ce travail débute par une revue bibliographique reprenant les connaissances actuelles sur l'agriculture de conservation, le maïs et les légumineuses ainsi que les relations entre ces différents éléments. Un deuxième point « matériel et méthodes » présente la mise en place et l'itinéraire cultural d'un essai de sous-semis de légumineuses dans du maïs ainsi que les différentes analyses effectuées. La troisième partie traite les résultats et les discussions concernant l'essai principale. La dernière partie est consacrée au suivi de 4 autres essais maïs en rapport avec l'agriculture de conservation des sols et qui pourrait guider les recherches futures.

# Partie 1 : Revue bibliographique

## 1. Introduction

Ma revue bibliographique se focalisera premièrement sur l'agriculture de conservation. Ensuite elle abordera l'importance de la culture du maïs pratiquée de manière générale dans nos contrées à climat tempéré. Comme cette culture de maïs conventionnelle est aussi liée à d'autres problématiques, elle s'axera sur des techniques existantes mettant en relation l'agriculture de conservation et le maïs tout en cherchant à solutionner les problèmes liés à cette culture sarclée.

## *2. L'agriculture de conservation*

### 2.1 Définition

L'agriculture de conservation est un ensemble de techniques culturales destinées à maintenir et améliorer le potentiel agronomique des sols, tout en conservant une production régulière et performante sur les plans technique et économique. Celle-ci a été officiellement définie par la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) en 2001, comme reposant sur trois grands principes : couverture maximale des sols, absence de labour, rotations longues et diversifiées.

### 2.2 Historique

L'agriculture de conservation s'est tout d'abord attachée au développement de la couverture des sols, en réponse aux graves phénomènes d'érosion des sols, apparus en particulier aux Etats-Unis dans les années 1930. L'alternance de sécheresses et de pluies, conjuguée à des vents violents, provoquèrent le désastreux phénomène connu sous le nom de « Dust Bowl », une tempête emportant toutes les terres arables. Rapidement les agriculteurs mirent alors en place des moyens pour éviter les pertes en sols (Mollier, 2013). L'agriculture de conservation s'est donc développée à l'origine pour lutter contre l'érosion en évitant de laisser le sol nu, soumis à une élévation de température, à l'érosion hydrique et éolienne. C'est la couverture et le non travail du sol qui sont la base du système, un sol couvert, même de manière minimale, étant moins sujet à l'érosion.

Ce mode d'exploitation a commencé à être mis en place chez nous dans les années 90. Cette couverture des inter-cultures pour des problèmes de surplus de nitrate dans l'eau sont à la base de l'agriculture de conservation : un sol couvert et restant couvert en hiver évite notamment les risques d'érosion, de battance et de ruissellement. (Mollier 2013)

## 2.3 Techniques culturales

L'agriculture de conservation s'intéresse premièrement à ce qui se passe dans le sol, celui-ci étant trop souvent vu comme uniquement un support de culture. Un travail intense du sol entraine des soucis de sa structuration physique avec comme conséquence une mauvaise croissance des cultures. Toutefois lorsque les agriculteurs arrêtent de travailler le sol, de nombreux phénomènes se produisent : une augmentation de la vie du sol, une meilleure porosité, une diminution de la perte en sol.

Les agriculteurs et les agronomes s'attachent donc plus particulièrement aux racines et à leur rôle et de nombreuses questions se posent : comment poussent les racines ? Quel est leur impact dans le sol ? Sont-elles capables de pousser à travers la compaction du sol et à travers le lisage créé par le passage des outils ? Peuvent-elles réparer les dommages engendrés par les outils ?

Comme les racines colonisent le sol, le fragmentent, lui donnent une certaine cohésion, plus il y a des racines dans le sol et moins il faut le travailler en surface. La technique consiste donc à injecter un maximum de racines pour coloniser le sol et ce en un minimum de temps et à partir d'un cocktail de plantes capables d'envoyer des racines sur les quelques premiers centimètres de la surface du sol jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Diversifier les plantes aux systèmes racinaires différents est primordiale, car même s'il y a des rotations en agriculture, les cultures conventionnelles cultivées en pures sont de la monoculture racinaire. Ainsi un blé structure les 12 à 20 premiers centimètres du sol mais au-delà les racines deviennent moins efficaces. L'interculture des plantes avec des effets d'enracinements différents permet donc de coloniser tous les horizons d'un sol donné (Thomas, 2016).

Le travail avec un cocktail de plantes implantées directement après la moisson a un fort impact sur le travail et la qualité du sol. Ces mélanges composés de quatre à une dizaine d'espèces sont principalement formés de graminées et de légumineuses pour couvrir à la fois dessus et dessous la surface du sol.

## 2.4 Une vision du carbone plus raisonnée

Dans le sol, les détritus et les exsudats racinaires composent sa matière organique qui joue des rôles très importants dans l'écosystème. Au cours du temps, ces détritus sont transformés et recyclés, en subissant ce qu'on appelle la décomposition.

La notion de fertilité du sol est liée à la disponibilité et la forme de l'azote. On a remarqué que les problématiques carbone et azote sont fortement liées, les cycles de la photosynthèse et de la minéralisation les rendant indissociables. Le carbone ne doit pas être vu comme un élément à stocker pour éviter le réchauffement climatique, comme on l'a longtemps pensé, mais il doit plutôt être considéré comme le carburant de l'écosystème sol.

Dans un agro écosystème, une partie de la matière végétale (et donc du carbone fixé par la photosynthèse) est exportée hors de la parcelle lors de la récolte. La part non-exportée reste sur place et alimente donc le sol (on parle de restitutions). Il peut aussi y avoir des apports exogènes de matières organiques, sous la forme par exemples de composts ou de fumiers.

L'aspect énergétique de la matière organique va servir à travailler mécaniquement le sol en nourrissant l'activité biologique. Pour ces raisons, c'est donc l'économie du carbone qui est importante plutôt que son stockage. L'essentiel est que le cycle du carbone soit ample et rapide (plus vite disponible pour la plante) pour permettre une structure optimale du sol (Thomas, 2016).

## 2.5 La fertilité des sols et la réintroduction des légumineuses

La clé de la fertilité des sols est la réintroduction des légumineuses en intercultures. Les combiner avec d'autres plantes permet de stocker l'azote et le sucre nécessaires pour l'activité biologique qui nourrira la culture suivante. On produit ainsi en 3 mois (d'août à octobre) de 2 à 3 tonnes de matières sèches. Sachant que l'on compte 30 unités d'azote pour les mélanges utilisés, on comptera 150 à 250 kg d'azote minéral par hectare avec le carbone des fanes. L'azote stimule à la fois la croissance de la plante pour une biomasse plus importante et sa décomposition en matières organiques (Merchier, 2017).

## 2.6 En synthèse

Plus le système racinaire est important, performant et diversifié, plus l'énergie sous forme de matières organiques est injectée dans le sol, plus l'activité biologique est dopée et plus en retour les productions seront abondantes et saines. Les 3 grands principes de l'agriculture de conservation sont résumés dans le tableau 1 ci-dessous.

*Tableau 1: Développement des 3 grands principes de l'agriculture de conservation. Source : (Merchier 2017)*

| Couverture maximum du sol | Travail minimum du sol | Rotations plus longues et diversifiées |
|---|---|---|
| •Protection du sol contre l'érosion<br>•Refuge pour les auxiliaires<br>•Active la biologie du sol<br>•Concurrence avec les adventices | •Maintien de la matière organique en surface<br>•Lutte contre l'érosion<br>•Augmentation de la portance et de la stabilité structurale<br>•Diminution des charges de mécanisation<br>•Préserve les champignons du sol | •Rupture du cycle vital des ravageurs et adventices<br>•Améliore la structure du sol<br>•Améliore la fertilité du sol<br>•Protège de l'érosion dans le cas des intercultures et des cultures associées |

# 3. La culture du maïs en Belgique

## 3.1 Superficie

La culture du maïs en Belgique est répandue sur tout le territoire. Dans le tableau 2 ci-dessous on remarque que le maïs représente 18% de la surface agricole utile, c'est-à-dire 231773 ha (maïs ensilage-épis broyés et maïs grain en 2015). Depuis les années 2000, la superficie de maïs destinée à l'ensilage reste assez constante. Par contre les hectares pour le maïs grain fluctuent assez fortement en fonction de l'offre et la demande non pas seulement du maïs mais aussi des céréales comme le froment. Si le prix du froment est bas, certains agriculteurs choisissent le maïs grain pour obtenir un revenu plus élevé (Statbel 2016).

*Tableau 2 : Superficies agricoles des différentes cultures en hectares sur le sol belge. Source : (Statbel 2016)*

| Superficies agricoles (2000, 2010-2015) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2000 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| **Cultures (en ha)** | | | | | | | |
| Céréales pour le grain | 313.485 | 339.102 | 327.679 | 341.822 | 337.910 | 333.577 | 341.460 |
| Froment d'hiver | 200.600 | 206.282 | 182.709 | 205.260 | 186.062 | 193.670 | 198.481 |
| Orge d'hiver | 40.349 | 40.512 | 39.641 | 42.639 | 42.972 | 43.163 | 44.167 |
| Maïs cultivé pour la graine | 35.783 | 62.531 | 72.025 | 67.217 | 73.955 | 62.824 | 58.384 |
| Cultures industrielles | 133.307 | 92.491 | 94.162 | 91.995 | 93.667 | 91.975 | 87.056 |
| Betteraves sucrières | 90.858 | 59.303 | 62.199 | 61.165 | 60.191 | 58.602 | 52.341 |
| Pommes de terre | 65.844 | 81.760 | 82.341 | 66.975 | 75.315 | 80.370 | 78.640 |
| Légumineuses | 2.215 | 2.053 | 2.947 | 1.696 | 1.672 | 1.979 | 2.724 |
| Cultures fourragères | 292.104 | 267.409 | 269.405 | 251.710 | 258.554 | 256.822 | 344.444 |
| Maïs fourrager | 166.336 | 176.313 | 173.540 | 170.471 | 177.457 | 178.123 | 173.389 |
| Prairies temporaires | 114.730 | 79.350 | 80.349 | 71.268 | 70.702 | 68.038 | 158.413 |
| Légumes en plein air | 35.920 | 40.941 | 39.994 | 39.118 | 39.654 | 43.525 | 43.498 |
| Cultures permanentes | 20.642 | 21.674 | 21.661 | 22.008 | 22.271 | 22.260 | 22.539 |
| Prairies permanentes | 506.946 | 499.687 | 488.924 | 507.237 | 498.195 | 492.042 | 410.884 |
| Cultures sous serres | 2.327 | 2.940 | 1.819 | 1.896 | 1.980 | 1.979 | 2.058 |
| Jachères | 20.097 | 9.592 | 7.307 | 8.481 | 8.462 | 8.037 | 10.159 |

En 2015, en Wallonie sur les 740000 ha, le maïs représente un peu plus de 8 % de la surface agricole utile avec 4670 ha en maïs grain et 54480 ha en maïs ensilage (SPW 2010). La différence de production entre la Flandre et la Wallonie s'explique par une plus faible concentration d'élevages en Wallonie. De plus, le Sud et l'Est de la Wallonie sont plus spécialisés dans les prairies avec plus de 340000 ha. En effet, les terres étant plus vallonnées, moins profondes et de moins bonne qualité dans le Sud-Est du pays, les prairies permanentes sont un moyen de les valoriser et fournissent l'aliment le plus complet, économique et facile à produire pour les bovins. Ce qui permet donc de réaliser des économies de production d'ensilage de maïs (Fourrage mieux 2016).

## 3.2 Production

La multitude de variétés permet une adaptation à tout type de terrains. Les variétés dites précoces et ayant donc un indice de précocité bas (indice FAO[1] 180-230) seront semées plus tard (mois de mai, début juin) tandis que les variétés plus tardives avec un indice plus élevé (indice FAO >250) seront semées dés mi-avril. Généralement les variétés tardives sont réservées aux bonnes terres à limons élevés situées plus dans le centre de la Belgique tandis que les variétés précoces sont destinées aux terres moins fertiles en Ardenne-Famenne (Delvaux, 2016). Les variétés de maïs permettent de s'adapter à un large spectre de climats et de sols. Ainsi, les variétés précoces auront besoin de moins de degré jour qu'une variété tardive et auront des périodes d'implantation différentes.

Il existe une méthode pour déterminer la date de récolte avec plus de précision que « à l'œil ». Elle se base sur un calcul des degrés jours. Dans la formule utilisée, $\mathrm{DJ}= \frac{\mathrm{Tmax}+\mathrm{Tmin}}{2} - Tbase.$, DJ représente les degrés jours, Tmax la température la plus élevée de la journée et Tmin la plus basse. Les degrés jours en maïs sont en base 6, dans la formule Tbase sera donc égale à 6 (car en dessous de 6°C, sa croissance biologique est nulle). Les degrés jours cumulés sont la somme des degrés jours durant une période prédéfinie, ici la croissance du maïs.

Par exemple pour le maïs, le 16 mai 2017 : $\mathrm{DJ}= \frac{22+15}{2} - 6 = 12{,}5$. Ce qui indique que cette journée contribue pour 12,5 DJ à la croissance du maïs.

En Wallonie, il y a un grand écart de températures cumulées (Figure 1). Des variétés plus tardives sont donc implantées dans les zones de couleur verte et des variétés plus précoces dans les zones de couleur  rouge orangé.

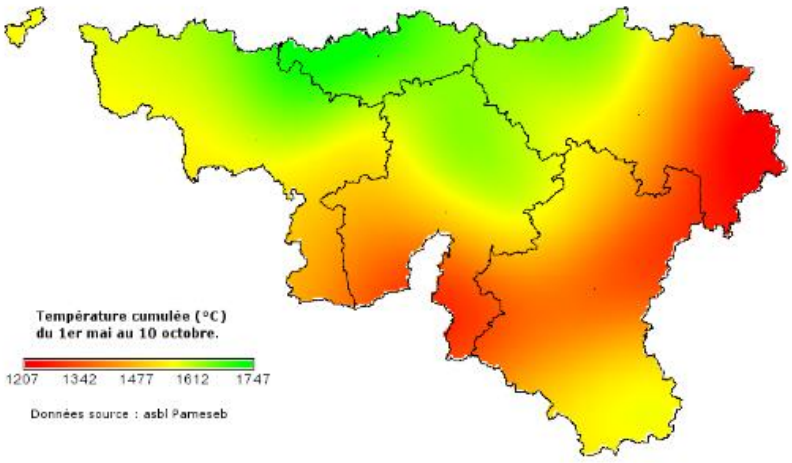



*Figure 1: Carte de la Wallonie représentant la somme des températures en base 6°C de 2003 à 2012 pour 23 stations de l'asbl Pameseb . Source : (Pameseb 2013)*

[1] Indice de précocité FAO= Indice qui permet de situer la variété sur une échelle, (plus la période dont la variété a besoin pour arriver à maturité est longue, plus l'indice est élevé).

Les rendements varient aussi fortement en fonction des régions agricoles (Figure 2). En comparant la carte des degrés jours et celle des rendements, on remarque qu'il y a une corrélation entre degrés jours et rendement en fonction des régions. Les maïs pousseront toujours mieux sur des terres limoneuses, la carte des sols (Annexe 1) montre cette différence de rendement en fonction des sols et donc des régions. Grâce aux avancements dans la sélection variétale et aux nouveautés des pratiques culturales, les chercheurs visent les 20 tonnes de matière sèche par hectare dans les bonnes terres du centre de la Wallonie.

*Figure 2 : Carte des rendements moyen en maïs ensilage obtenus en Wallonie. Source : (Pameseb 2013)*

La production du maïs dépend des degrés jours comme expliqué ci-dessus mais également des caractéristiques de l'année. Ainsi, en cas d'année froide et donc souvent pluvieuse[2], l'appareil végétatif et la photosynthèse étant moins performants, la maturité de la plante sera ralentie impactant le rendement. Les agriculteurs devront alors retarder la récolte pour avoir le taux de matières sèches nécessaire (32-33%) tout en veillant à récolter avant les gelées et les conditions climatiques défavorables (Carpentier 2011). En cas d'année chaude et de bonne pluviométrie, un maïs de qualité à haut rendement va pousser dans des conditions optimales.

Le printemps et le début été 2017 furent assez exceptionnels (Annexe 2). La période culturale en maïs fut chaude, sèche et généralement très lumineuse et donc avec un cycle accéléré de la plante. Le cumul des températures se fait assez rapidement suite à la succession de journées caniculaires engendrant un manque d'eau. La photosynthèse est au final moins importante de par le manque d'eau qui influence la surface foliaire et la taille du maïs. La récolte a ainsi été avancée en moyenne de 2 semaines sur tout le territoire belge avec des rendements plus faibles comparés à une année avec une pluviométrie et des températures moyennes se situant dans la moyenne des 30 dernières années (Pleinchamp 2017).

[2] On parle d'années froides et pluvieuses lorsque les températures moyennes de l'année se situent en dessous de la moyenne des 30 dernières années et lorsque la pluviométrie est plus abondante que les 30 dernières années (Annexe 2).

## 3.3 Débouchés

Le maïs grain en Belgique est utilisé pour l'alimentation animale. La concentration énergétique est importante, cependant le grain est pauvre en protéines, déficient en vitamines sauf en carotène. La récolte s'effectue au mois de novembre lorsque le maïs a atteint un taux de matières sèches approchant les 75% (difficile d'avoir plus à cette période en Belgique avec son climat tempéré). Il faudra encore le sécher dans un séchoir pour attendre les 85 %. Il peut aussi être transformé de manière industrielle. Le maïs est utilisé en maïserie (huile de maïs, semoule, flocons), en amidonnerie, en glucoserie et dans d'autres domaines comme la réalisation de plastique.

Le maïs fourrager est un ensilage de la plante en entier. Cette méthode de récolte valorise l'ensemble de la biomasse de la plante. L'ensilage stocké en silo, tassé et bâché possède une conservation aisée. Il satisfait les besoins énergétiques des animaux et a une bonne digestibilité et ingestibilité (Renoux 2014).

Le maïs se récolte aussi en épis broyés, que l'on peut qualifier de « concentré énergétique ». Seul l'épi est récolté et broyé avec une structure moindre que lors de l'ensilage de la plante entière mais avec 55% d'amidon, c'est-à-dire deux fois plus que lors de l'ensilage. Souvent utilisé pour nourrir les vaches laitières, les jeunes bovins à l'engraissement, c'est aussi une manière de concentrer l'énergie pour pouvoir incorporer plus de légumineuses dans la ration tout en ne dépassant pas la capacité d'ingestion maximale journalière de l'animal. Récolte des épis broyés se réalise à un taux de 50-55% de matières sèches du maïs (Vergonjeanne 2015).

Le grain humide offre encore moins de structure que l'épi broyé. Le grain va être valorisé en étant réduit en poudre. Il est utilisé pour nourrir les porcs, les vaches laitières et les jeunes bovins à l'engraissement en l'incorporant à leurs rations pour en densifier l'énergie. La récolte du grain humide s'effectue lorsque le maïs atteint 70-75% de matières sèches.

Enfin le maïs est également valorisé dans la production de bioéthanol pour se substituer aux carburants fossiles (Renoux 2014).

## 3.4 Les avantages du maïs

La culture du maïs a de nombreux avantages (Tableau 3) et est indispensable actuellement pour l'alimentation animale.

*Tableau 3 : Avantages de la culture du maïs. Source : (AGPM 2012)*

## Avantages de la culture de maïs

- Sécurité du rendement due aux variétés
- Bonne valeur alimentaire (énergétique)
- Besoins en intrants peu élevés
- Cultures recevant le moins de produit phyto (1-2 désherbages), les maladies et insectes sont écarté par la sélection, l'enrobage des graines et la prévention.
- Désherbage mécanique possible (bio)
- TCS possible
- Les débouchés peuvent varier en fonction de la demande (production de biogaz)
- Le maïs tout comme le sorgho consomme moins d'eau que les autres grandes cultures pour produire un kilo de matière sèche (voir figure 3)

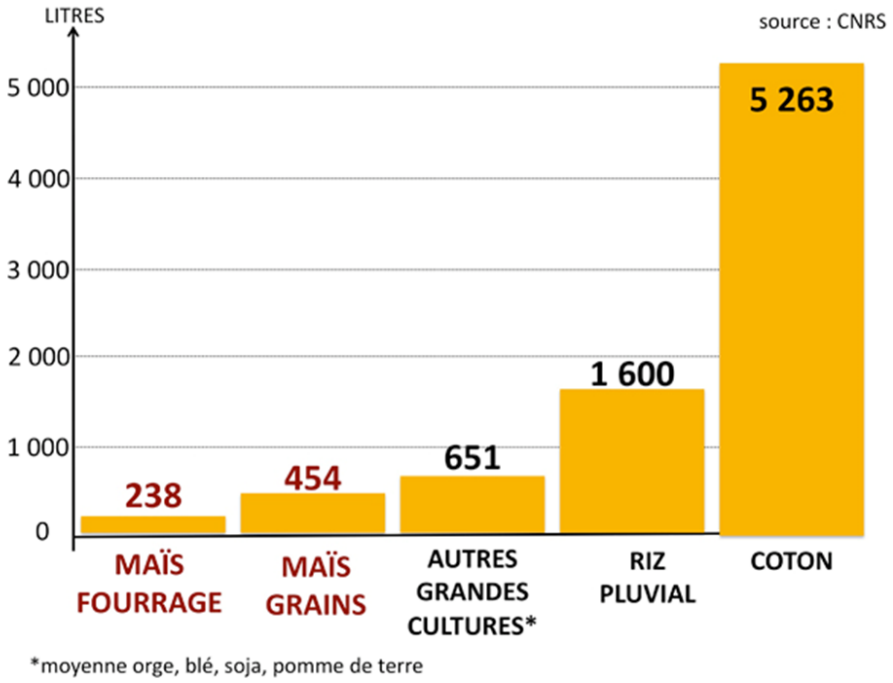



*Figure 3 : Consommation d'eau de diverses grandes cultures pour produire 1kg de matière sèche. Source : (AGPM 2012)*

# 4. Problématiques liées au maïs

## 4.1 La perte de vie biologique

L'utilisation répétée du labour dans les itinéraires techniques de type conventionnel occasionne une perturbation du sol et entraine une diminution de l'abondance de la pédofaune.

Les herbicides utilisés et la sur-fertilisation en culture de maïs vont induire une importante réduction de la diversité floristique au sein des surfaces cultivées mais également en bordure. Les herbicides à base de therbuthylazine vont dégrader la qualité des cours d'eau et perturber la faune et la flore y vivant. Pour les produits à base de therbuthylazine, une bande enherbée de 20 m est obligatoire le long des cours d'eau pour éviter toutes contaminations des cours d'eau (Asca 2000).

## 4.2 La perte de nitrates

Une mauvaise gestion de l'azote entraîne le risque de le retrouver dans les nappes aquifères. En effet au début de la culture du maïs en Belgique (1950), on maitrisait peu celle-ci. En observant qu'elle supportait de grosses quantités d'engrais liquides et solides de ferme, elle devient rapidement la culture « poubelle » pour se débarrasser des effluents excédentaires. (Oost and De Toffoli 2013).

La culture de maïs est sujette à une sur-fertilisation azotée par rapport aux captages et exportations azotées de la culture. Trois causes à celle-ci : premièrement, des taux de sols nus en hiver (le maïs étant une culture de printemps) d'où l'importance des cipans [3]. Deuxièmement la monoculture de maïs qui entraîne l'épandage d'effluents d'élevage lors de période à risques, le sol restant alors nu une grande partie de l'année et troisièmement la recherche de rendements toujours plus élevés pouvant conduire à des surdosages d'engrais (Asca 2000).

## 4.3 L'érosion et la couverture du sol

L'érosion hydrique est la dégradation de la surface du sol et la modification du relief par le détachement et le transport par l'eau de petites particules minérales et organiques. A noter qu'un mm de sol perdu par érosion correspond à une perte de 12-15 tonnes de sol

[3] Culture intermédiaire piège à nitrates

par hectare. Les sols composés de limons faisant de 50 µm à 2 µm y sont les plus sensibles. Comme les couches supérieures du sol sont les plus fertiles (composées en partie de limon), on estime à 12 tonnes par hectare la perte moyenne de bonnes terres dans la région loessique du centre de la Belgique (Laloy and Bielders 2010).

Le choix des cultures et des rotations, ainsi que les pratiques agricoles qui les accompagnent sont aussi à prendre en compte. Les cultures de printemps comme le maïs posent souvent problème en raison de leur faible couverture du sol. Le maïs est une culture avec un inter-rang important, les éléments semeurs étant tous les 75cm voire parfois tous les 45cm créent de véritables autoroutes pour l'érosion. Le graphique (Figure 4) ci-dessous montre que la période culturale du maïs est sujet à une érosivité des pluies plus élevées, l'érosivité dans nos régions étant plus élevée au printemps-été qu'en automne-hiver malgré une pluviométrie sensiblement constante. L'érosivité des terres est due aux pluies orageuses d'intensités plus élevées durant la période printemps-été, correspondant à la période culturale du maïs (Laloy and Bielders 2010).

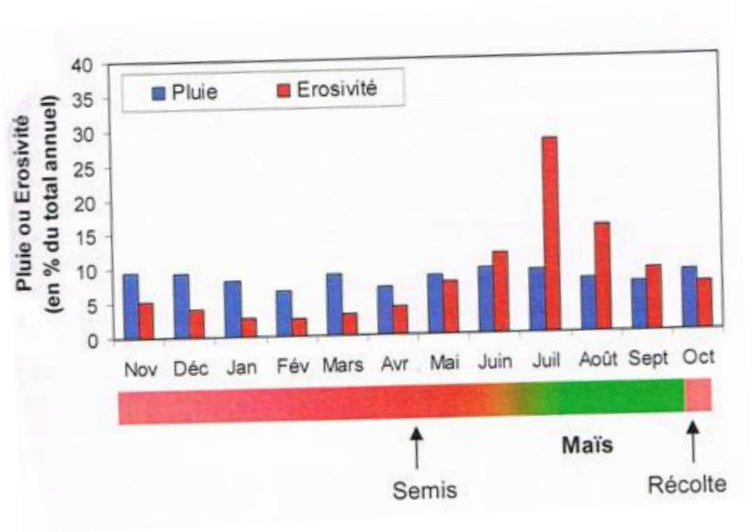



*Figure 4 : Graphique représentant les périodes à risques concernant l'érosion des sols en maïs Source : (Laloy and Bielders 2010)*

## 4.4 Les adventices

Le maïs est une culture spécifiquement sensible à la compétition des adventices au niveau de la disponibilité en éléments nutritifs et en eau et supporte difficilement l'ombrage occasionné par les adventices.

L'inter-rang étant large, la possibilité d'installation d'adventices est donc importante. La firme Syngenta a remarqué que le maïs sujet à une modification de son environnement comme de l'ombrage (Figure 5), adopte une stratégie de défense qui impacte le rendement : notamment, il s'allonge pour chercher de la lumière déséquilibrant la croissance entre feuilles et racines. Plus la compétition intervient tôt, plus l'impact sur le rendement est important.

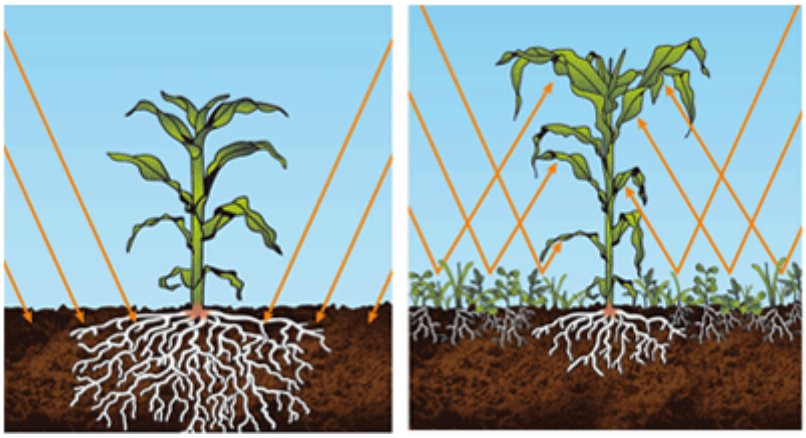


*Figure 5 : Concurrence occasionnées par les adventices par rapport au maïs. Source : (Syngenta 2016)*

Une réduction du système racinaire entraîne une plus grande sensibilité aux stress ultérieurs comme une sécheresse ou les maladies. Cette réduction entrainera également une perte du potentiel de rendement par une incapacité à coloniser le sol et de disposer des minéraux nécessaires à sa croissance (Syngenta 2016).

## 4.5 Le tassement

La culture du maïs est sensible aux sols compactés. En effet, il possède des racines paresseuses et assez grosses. De plus comme le maïs s'implante au printemps, moment d'une moindre disponibilité en eau il est impératif que la plante soit bien enracinée (Labreuche, and Eschenbrenner, 2011).

Notons également qu'une déformation du relief du sol est souvent observée lors de la récolte du maïs par le passage d'engins lourds (tassement du sol). En effet, la récolte se déroulant en automne, la pluviométrie plus importante dans nos régions et les obligations de récolter par mauvais temps entraîne une destruction de la structure et la formation d'une couche de sol compactée. Ces phénomènes ont par conséquent des répercussions sur le potentiel agricole futur avec une réduction de la capacité d'infiltration et de stockage d'eau dans les sols et une érosion plus importante du sol. L'enracinement des plantes est plus difficile dans un sol compacté retardant ainsi leur croissance et donc une diminution du rendement. Par ailleurs qui dit biomasse moins importante de la culture, dit un sol avec un recouvrement plus faible au bénéfice du développement des adventices avec un surcoût des intrants (azote, herbicide)(Laloy and Bielders 2010) .

# 5. Pistes d'amélioration de la culture du maïs en agriculture de conservation

## 5.1 Perte de nitrate et de vie microbienne

L'agriculteur se doit d'apporter selon la texture, la profondeur et la teneur en matières organiques du sol, la dose d'azote strictement nécessaire au bon développement de la plante. Le maïs absorbe plus de 85% de ses besoins azotés entre le stade 6-8 feuilles et la floraison (Figure 6). Pour couvrir au mieux cette période, l'apport principal doit être réalisé entre 4 et 10 feuilles (généralement au stade 5-6 feuilles.) Il est conseillé d'apporter au semis une dose de moins de 50 unités pour activer et augmenter la minéralisation et rendre disponible l'azote contenu dans d'éventuels effluents épandus précédemment (Arvalis 2013).

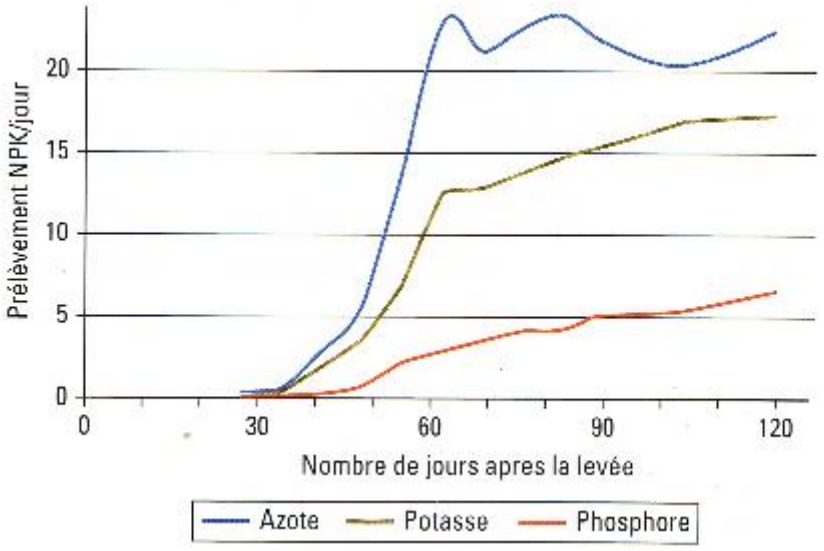



*Figure 6 : Cinétique de croissance et de prélèvement N, P et K. Source : (Renoux 2014)*

Généralement en culture conventionnelle de maïs, le CIPF recommande pour un sol avec une teneur en humus entre 2,0 et 2,5 % et un profil de sol de 30 unités un apport d'engrais organique et azoté. Si on épand 30-35 tonnes de fumier par hectare, on complètera par une centaine d'unités d'azote minéral au semis. Par contre si on choisit d'épandre 25 à 35 m³ de lisier par hectare, on complètera avec seulement 50 à 90 d'unités d'azote minéral en fonction du type de lisier (porcs ou bovins). De cette manière les APL[4] seront conformes à la norme (Oost and De Toffoli 2013).

« Rien ne sert de fertiliser, il faut semer à point. Si la fertilisation n'est jamais oubliée, l'implantation est trop souvent négligée. Elle est pourtant la base d'un bon rendement. » (Auteur inconnu)

[4] APL=Azote potentiellement lessivable

### 5.1.1 Légumineuses

Les légumineuses ont un double rôle : piéger l'azote minéral du sol pendant sa culture ou son interculture et capitaliser l'azote atmosphérique pour la culture suivante par fixation symbiotique. En effet les légumineuses limitent la lixiviation[5] des nitrates contenus dans le profil. Il est aussi prouvé que les mélanges en non légumineuses sont un piège à nitrate équivalent à une non légumineuse en pure (Cohan and Labreuche 2015).

En Wallonie, 60000ha de la surface agricole sont composés de légumineuses. En absence de statistiques officielles pour les prairies, on estime que la présence de légumineuses dans celles-ci représente, d'après les calculs du CRA, une surface de près de 40.000 ha. Plus de 11620 ha sont destinés aux légumes de l'industrie de surgélation (par exemple Hesbaye frost). 1200 ha de légumineuses à grains secs sont valorisés en alimentation animale et 2448 ha de luzerne servent de fourrage. Depuis une dizaine d'années apparaissent des cultures de mélanges de légumineuses (4566 ha) avec le plus souvent des céréales (Cartrysse 2016). On espère pouvoir étendre cette technique aussi au maïs.

Les légumineuses non récoltées comme les intercultures ou en accompagnement de cultures sont souvent de trèfles, vesces, fenugrecs, gesses et lentilles. L'objectif du travail avec des légumineuses est d'assurer une importante production de biomasse, un volume élevé de matières sèches à l'hectare tout en réduisant les apports d'engrais azotés de synthèse (grâce à l'activité symbiotique du rhizobium qui permet de s'affranchir d'apports d'engrais azotés). Les légumineuses améliorent également la structure des sols : leurs racines stimulent l'activité microbienne impliquant un sol plus fertile et des racines pivotantes comme la luzerne ou la féverole sont d'autant plus favorables à l'amélioration structurale. Les légumineuses ont aussi un impact sur la quantité et la composition de la matière organique (Wouez 2016).

Pour compléter les caractéristiques des légumineuses, l'illustration (Figure 7) ci-après en résume les bienfaits.

[5] La Lixiviation désigne la perte de nutriments végétaux hydrosolubles du sol, qui sont dissous et entraînés par les eaux d'infiltration à la suite de pluie.

*Figure 7 : Caractéristiques des légumineuses (Wouez 2016)*

### 5.1.2 Le rhizobium[6]

*Figure 8 : Nodosités présentes sur une racine de vesce. (Photo personnel)*

Il faut attendre la fin du 19ème siècle pour se rendre compte que ces bactéries ne sont pas pathogènes mais bénéfiques pour la plante et son environnement. En conditions limitantes en azote, les rhizobiums vont induire la formation de nodosités au niveau racinaire ou caulinaire des légumineuses. Ces nodosités (boules blanchâtres (Figure 8) vont représenter de véritables organes d'échange symbiotique entre les bactéries et les plantes. La bactérie va fixer et réduire l'azote atmosphérique en ammonium, directement assimilable par les plantes hôtes. En échange les légumineuses vont procurer un habitat et des substrats carbonés issus de la photosynthèse (Thomas 2010).

Le graphique (Figure 9) montre que le procédé de minéralisation est plus rapide et donc plus rapidement assimilé par la future

[6] Les rhyzobium ou rhizobia sont des bactéries aérobies du sol de la famille des Rhizobiaceae.

culture pour un précédent trèfle violet enfoui en avril comparé à un fumier incorporé en avril ou un sol nu. Ainsi le réchauffement du sol au printemps favorise la minéralisation visible en juin sur chaque modalité. Les légumineuses possèdent un rapport carbone sur azote élevé. De plus la légumineuse aura eu le temps de transformer l'azote atmosphérique en azote disponible pour la plante dans ses nodules racinaires ce qui explique la plus forte augmentation d'azote pour les bâtonnets rouges du trèfle de juin et de septembre. Le fumier quant à lui sera plus pourvu en carbone contenu dans les pailles. La minéralisation sera moins rapide et l'azote moins vite disponible (Wouez 2016) .

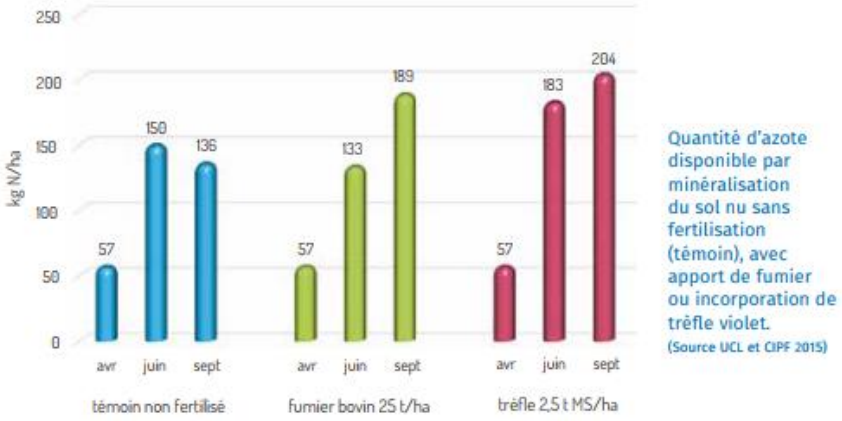



*Figure 9 : Libération d'azote au printemps-été d'un fumier, d'un trèfle comparé à un témoin non fertilisé. Source : (Wouez 2016)*

En plus de cette symbiose racinaire, les racines des légumineuses stimulent l'activité microbienne en structurant plus finement le sol car les bactéries de la décomposition aérobie hydrolysent les protéines qui vont servir de nourriture aux vers. Les exsudats produits par les racines induisent des effets sur la macro, méso et micro faune dont les vers de terre qui permettent de décomposer et enfouir les résidus végétaux. La matière organique découlant de ce processus va être bénéfique s'il n'est pas limitant en carbone pour garder un bon rapport carbone-azote. Le taux de carbone sera correct à condition de bien respecter l'introduction de couvertures de sol durant chaque interculture (Wouez 2016).

Les avantages agronomiques des légumineuses en associations avec le maïs sont à la base de ce mémoire. Les recherches sur l'exploitation de cette technique sont décrites dans la suite de ce travail (cf.point 5.3.2).

### 5.1.3 Les graminées

Le rôle premier de l'installation d'une interculture ou d'un sous semis de graminées est de fixer l'azote résiduel après la récolte. On parle dans ce cas d'effet cipan permettant de protéger les périmètres de captage d'eau.

Les graminées ont la capacité de fixer l'azote. La première minéralisation des engrais organiques et minéraux de la fin du printemps sera convertie par le maïs en biomasse importante. Une deuxième libération de l'azote s'effectuera en générale début automne lorsque le maïs en a plus besoin. Un risque de perte d'azote dans les eaux souterraines est alors observé vu que le maïs est à maturation et n'a plus de besoin d'azote (Berendes 2011). Si on implante des graminées sous le maïs, elles fixeront cet azote excédentaire et le transformeront en biomasse. Après destruction de l'herbe, l'azote sera disponible pour la culture suivante (Cf. point 5.3.1).

## 5.2 Erosion et la couverture du sol

### 5.2.1 Les techniques culturales simplifiées (TCS)

Les techniques culturales simplifiées regroupent l'ensemble des techniques utilisées pour le travail du sol et le semis. Les TCS n'utilisent plus le labour (semelle de labour, érosion, dilution de la matière organique) et ont pour fonction de travailler le sol uniquement en surface avec des outils de type herses classiques comme les déchaumeurs (outils à dents ou à disques). Les avantages et désavantages de la pratique des TCS sont résumés ci-après (Tableaux 4 et 5).

*Tableau 4 : Avantages des techniques culturales simplifiées. Source : (Labreuche, and Eschenbrenner, 2011)*

| Avantages des TCS |
| --- |
| • Gain de temps : 1 à 2 h/ha/an.<br>• Moindre consommation de carburant : - 15 à 30% en TCS et - 35 à 60% en semis direct, par rapport au labour.<br>• Réduction des coûts de mécanisation à terme, mais pas les premières années où il faut réinvestir dans du matériel. Après quelques années, on observe une baisse des coûts sur les postes traction et entretien.<br>• Réduction de l'érosion et de la battance, par une amélioration de la structure du sol.<br>• Meilleure pénétration de l'eau.<br>• Amélioration de l'activité biologique du sol.<br>• Moindre remontée de cailloux.<br>• Les risques de fuites de nitrates, de phosphores et des produits phytosanitaires sont réduits. |

*Tableau 5 : Contraintes des techniques culturales simplifiées. Source : (Labreuche, and Eschenbrenner, 2011)*

| Les contraintes des TCS |
| --- |
| • Passer plus de temps à observer et à s'informer.<br>• Les TCS et le semis direct ne peuvent être envisagés que sur des sols non compactés.<br>• Broyer finement les résidus de récolte et les répartir de façon homogène pour limiter le développement des ravageurs du sol et les problèmes de levée.<br>• N'intervenir que sur un sol bien ressuyé.<br>• Il ne faut pas négliger le désherbage les cinq premières années.<br>• Maintenir des zones non cultivées pour préserver les auxiliaires.<br>• Risque accru de fusarioses sur céréales à paille. |

#### 5.2.1.1 Le strip-till

Cette machine travaille uniquement la ligne de semis afin de préparer un lit de semences propice à la germination de la graine, l'inter-rang étant laissé intact sans travail du sol (Casdar 2012). Ce travail peut se réaliser après la récolte d'une culture précédente mais aussi dans un couvert mort ou vivant. Chaque rang de la machine (Figure 10) est doté d'un disque ouvreur (5) qui coupe les résidus végétaux situés en surface. Ensuite, deux chasses débris (6) écartent les résidus de la ligne de semis. Une dent jouxtée (4) de disques déflecteurs (3) canalise la terre évitant qu'un sillon ne se crée. A la fin du strip-till, un rouleau escamotable (2) replace la terre sur la ligne de semis pour obtenir un lit de semences homogènes.

*Figure 10 : Détails d'un strip-till couplé à un semoir à maïs*

De nombreux constructeurs de machines agricoles fabriquent actuellement des strip-till (Khun, Duro France, Sly France,..) et certains comme Duro proposent des strip-till pouvant être couplés avec un semoir (figure 10).

Pour Victor Leforestier (2012), les bénéfices d'un strip-till s'envisagent en trois temps :

- A court terme, il y a une économie financière car l'implantation de la culture est moins chère.
- A moyen terme, il y a la possibilité ensuite de faire en même temps une fertilisation localisée.
- A long terme, on peut observer une augmentation du rendement grâce à l'amélioration du sol.

Par contre le strip-till est une méthode complexe qui s'utilise dans certaines conditions pédologiques. Ainsi, les variantes de sol en Belgique est déjà un frein. Sur des sols sableux avec des propriétés drainantes avec une capacité de réchauffement plus rapide, le travail du strip-till couplé à un semoir sera optimal. Par contre sur des sols argileux à caractère humide et plus difficile à travailler, le strip-till couplé au semoir ne pourra être utilisé en un passage. Les frottements dus aux argiles humides créent des agglomérats de terre gênant la bonne implantation du maïs avec le semoir couplé au stript-till (Legere 2012).

#### 5.2.1.2 Le semis direct (SD)

Le but premier d'un semoir de semis direct est de travailler le moins possible le sol en plaçant directement la semence dans les résidus de la culture précédente ou dans un couvert. Le fonctionnement du semoir est assez simple : un châssis avec une, ou plusieurs trémies fixées au-dessus des éléments semeurs qui sont formés d'un soc ou de disques qui creusent un sillon (où la graine est placée avant que celui-ci soit refermé), une roue plombeuse derrière l'élément semeur pour appuyer légèrement le sol. Les avantages et désavantages du semis direct sont présentés ci-dessous (Tableaux 6 et 7).

*Tableau 6 : Avantages du semis direct. Source : (Conférences Sky du 19 avril 2017 à Sart Dames Avelines)*

| Ses avantages |
| --- |
| •Le manque d'eau est, dans la plus part des cas, un facteur limitant du rendement. Le semis direct présente comme avantage de préserver l'humidité pour la germination. Ainsi, un sol non travaillé et des résidus végétaux en surface deviennent une barrière contre l'évaporation.<br>•La suppression du travail du sol est un gain de temps et diminue le coût à l'hectare que ce soit pour la main d'œuvre ou l'économie de fuel. (Sky Agriculture 2017)<br>•Un sol non nu avec une couche de paille est protégé contre l'érosion hydrique et éolienne. Dans le cas contraire, les pertes des couches arables et des végétaux entrainés par les érosions ont un impact économique et environnemental.<br>•Dans des sols limoneux ou des sols sablo-limoneux, ce type de technique peut bien fonctionner. Comme pour la technique du strip-till, celui-ci peut se faire dans un couvert mort ou vivant. |

*Tableau 7 : Inconvénients du semis direct. Source : (Conférences Sky du 19 avril 2017 à Sart Dames Avelines)*

| Ses inconvénients |
| --- |
| • Les résidus de végétaux en surfaces peuvent transmettre des maladies.<br>• Les repousses des cultures précédentes doivent être traitées par des produits phytosanitaires (souvent du glyphosate mal perçu par les consommateurs vu les doutes qui planent sur ces molécules qui pourraient être cancérigènes).<br>• Les nuisibles comme les limaces se multiplient plus facilement avec les résidus du sol et une humidité plus élevée.<br>• Le passage des roues ne seront pas effacées mécaniquement.<br>• Les sols argileux ou humides ne sont pas adaptés à cette technique. En effet, au moment de l'implantation ces types de sol ne sont pas ressuyés et sont trop refermés ce qui risque de faire pourrir la graine. |

« L'outil » le moins couteux et le plus efficace pour gérer ces problèmes liés au semis direct est une bonne rotation de cultures. Cependant, certains problèmes tels que les limaces ou les repousses d'anciennes cultures doivent être gérés chimiquement ou mécaniquement.

## 5.3 Synthèse des techniques d'implantation du maïs en association

### 5.3.1 Maïs-graminées

Une culture intercalaire semée dans l'inter-rang consiste à implanter des plantes dans cet espace. Cette technique d'implantation est aussi appelée semis sous couvert qui peut se composer de graminées en inter-rang dans le maïs. La graminée ainsi implantée s'avère être neutre pour le maïs.

Lorsque l'on implante une graminée dans l'interligne du maïs, il est conseillé de le semer au stade 6-8 feuilles du maïs. Celui-ci sera facilement semé à la volée et complété par un binage. Il faut laisser le temps au ray-grass de pouvoir se développer avant que le maïs ne fasse trop d'ombrage tout en essayant de limiter la concurrence avec le maïs (Labreuche 2014) .

Un exemple concret a été réalisé par le CIPF avec des ray-grass semés au stade 7-8 feuilles lors d'un binage. La bineuse est donc équipée d'un dispositif pouvant disposer les graines en les enfouissant légèrement grâce à des peignes. Le semis à la volée est proscrit car celui-ci est trop irrégulier. L'avantage de semer le ray gras si tard est qu'il ne pourra pas concurrencer le maïs car le temps que le ray gras mettra pour sortir de terre le maïs sera déjà à 12-13 feuilles. A ce stade le ray gras ne peut plus concurrencer le maïs, celui-ci restera à l'ombre du maïs et ne dépassera pas les 10 cm de hauteur (CIPF and Centre pilote maïs 2017). Lors de la récolte

du maïs, le ray gras aura la capacité de se réveiller et de pouvoir jouer le rôle de couverture du sol ainsi que de piège à nitrates. Ce rôle est maintenu par la capacité du ray gras de reprendre après le passage des engins de récolte. On estime la densité de semis à 20kg/ha.

*Figure 11 : Fétuque semée avec le semoir Pottinger Aerosem en même temps que le maïs. Source : (CIPF 2017)*

Le CIPF a repris une expérience de sous semis mais avec de la fétuque implantée en sous semis du maïs dès le printemps. Contrairement au ray-grass, la fétuque s'implante avant le stade 6-7 feuilles du maïs (implantation plus lente que le ray-grass). D'un point de vue technique, cet essai comporte un inconvénient, celui d'un passage dédié uniquement au sous semis. Mais depuis peu, le semoir Pöttinger Aerosem permet de semer le maïs en même temps que la fétuque en inter-rang (CIPF 2017). Ce semoir sera utilisé dans l'essai situé à Genappe.

Une des difficultés de la technique du sous semis de graminées est le désherbage. En effet, les produits classiquement utilisés en maïs comme le Samson, l'Equip, le Frontier, le Dual Gold empêchent la graminée de lever et peut même la détruire. Le CIPF a ainsi observé sur 5 années que le Mikado est sélectif aux ray-grass et aux fétuques. Une fois des solutions trouvées pour désherber les adventices du maïs sans détruire la graminée qui sert de couverture, il faut faire attention à ce que la graminée ne gêne pas le maïs dans sa croissance. Pour cela, le stade d'implantation reste le moyen le plus efficace pour contrôler cette concurrence (CIPF and Centre pilote maïs 2017).

Les avantages du sous semis de ray-grass et de fétuques dans le maïs sont :

- une diminution de l'érosion grâce à la couverture de l'inter-rang ;
- après la récolte, il y aura directement un couvert en place permettant une fixation de l'azote lessivable ;
- une formation d'humus par l'augmentation de la biomasse générale après récolte ;
- une meilleure portance surtout en cas de récolte difficile ;
- une augmentation des habitats et de l'activité biologique des sols ;
- la valorisation en fourrage dérobé après la récolte du maïs.

### 5.3.2 Maïs-légumineuses

Le semis du maïs et des légumineuses directement en un passage est la solution d'implantation la moins couteuse et la plus productive. Cette technique d'implantation se réalise de plus en plus en colza associé et montre des résultats pouvant atteindre un gain de rendement en colza qui varie de 3 à 9% (Massin 2016). Mais contrairement aux crucifères, le maïs n'apprécie pas la compétition et ne possède pas la capacité de pouvoir se rattraper. En effet, la bonne croissance du maïs se joue les 2 premiers mois, s'il est freiné durant ce laps de temps il ne peut pas pousser de manière optimale. Il est donc important de s'orienter vers des plantes à installation lente, comme c'est souvent le cas pour les légumineuses pérennes. En complément, une implantation précoce au printemps offre à la plante d'accompagnement des conditions plus fraîches et du temps afin d'être bien installée et enracinée avant l'arrivée de l'été. Par contre des conditions sèches associées à l'ombrage et à la forte compétition du maïs réduiront la croissance des légumineuses(Thomas 2011).

Un essai réalisé en 2016 à Corroy-Le-Grand (Brabant Wallon) sur un sous-semis de légumineuses en inter-rang d'un maïs a démontré que le stade d'implantation est un paramètre important en ce qui concerne la lutte contre les adventices. Effectivement, le stade 3-4 feuilles n'a pas permis de rivaliser efficacement les adventices. Il est recommandé de réaliser deux désherbinages et d'implanter le couvert à un stade plus avancé du développement du maïs (6 à 8 feuilles). (Debruyne 2015)

L'autre risque de cette approche est la compétition sur les réserves hydriques en fin d'été qui peut, en cas de culture sèche, pénaliser le rendement en maïs. Si c'est un inconvénient pour un céréalier, ce l'est moins pour un éleveur qui profite de la biomasse supplémentaire récupérée à la sortie du maïs (Thomas 2011).

Bien que le coût des semences soit plus élevé, les trèfles nains, blancs ou violets donnent des résultats intéressants avec des levées et installations lentes. En complément, ils supportent bien, voire apprécient la protection de la culture en été. C'est en revanche moins le cas des trèfles incarnats et d'Alexandrie qui, beaucoup plus rapides en végétation, ont plus de difficultés à survivre sous le maïs(Lecourtier 2016).

Le risque que le trèfle blanc concurrence le maïs pour la lumière est relativement faible, le trèfle blanc nain n'atteignant qu'une quinzaine de centimètres de hauteur et le trèfle blanc extra nain dépassant rarement dix centimètres. De plus, tous deux tolèrent l'ombrage et possèdent un système racinaire peu agressif (Lecourtier 2016).

Au final et en plus de couvrir le sol, les légumineuses permettent de limiter les risques de perte d'azote après la récolte de la culture principale, les légumineuses pompant d'abord l'azote en excès avant d'en fixer. Elles vont aussi produire de la matière organique avec un C/N[7] faible aidant à la digestion des substances carbonées mais elles ont surtout la capacité de fixer de l'azote. Les légumineuses en sous semis dans le maïs restent de formidables précédents pour le froment qui suit. En orientant l'activité biologique et en multipliant entre autres les réseaux mycorhiziens, elles favorisent le développement du maïs et du froment qui suit grâce à un sol plus vivant et donc plus fertile (Thomas 2011).

Lorsque le maïs est récolté tôt pour un ensilage, le couvert de légumineuses semé dessous atteindra un bon développement avant de semer le froment. La biomasse sèche du couvert peut atteindre 1 à 1.5 t MS/ha dans le contexte de la Jaillère en Loire-Atlantique. Maïsadour a quantifié l'azote restituée par le trèfle, en fonction des variabilités climatiques des années, la restitution est en moyenne de 40kg N/ha/an. Toutefois, la concurrence du couvert impacte de 10% le rendement du maïs par rapport à un labour classique (Legere 2017).

Le tableau 8 synthétise les caractéristiques des différentes légumineuses testées en sous semis de maïs et permet ainsi d'identifier les légumineuses les plus adaptées aux essais maïs. En Belgique, on recherche une légumineuse qui résiste au temps hivernal et un couvert qui couvre bien mais pas trop vite afin d'éviter l'étouffement du maïs.

*Tableau 8 : Caractéristiques de différentes légumineuses testées en sous semis dans le maïs dans un essai en Loire-Atlantique. Source : (Legere 2017)*

**SOUS SEMIS : les trèfles bien adaptés pour le maïs**

| Espèces (en pur) | Couverture | Vigueur | Résistance à l'ombrage / redémarrage | Aptitude globale | Pérennité |
|---|---|---|---|---|---|
| Trèfle incarnat | | | | | Annuelle |
| Trèfle d'Alexandrie | | | | | Annuelle |
| Trèfle violet | | | | | 2 à 3 ans |
| Trèfle souterrain | | | | | Annuelle (se ressème) |
| Trèfle blanc | | | | | > 5 ans |
| Lentilles | | | | | Annuelle |
| Vesces | | | | | Annuelle |
| Féveroles / Pois | | | | | Annuelle |

Très bonne — Très faible

[7] Rapport C/N : aptitude de la matière organique à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol, plus ce rapport est faible (en dessous de 20) plus l'azote est disponible pour la plante.

## 5.4 Lutte contre les adventices

### 5.4.1 Introduction

La culture du maïs est assez sensible à la compétition des adventices. Il faut donc désherber de manière efficace pour en préserver le potentiel de rendement, un maïs non désherbé pouvant entraîner une perte totale de rendement.

Sur le graphique (Figure 12) on remarque que la compétition la plus dommageable au maïs se situe entre les 3èmes et 10èmes feuilles. Il est donc préférable de traiter les adventices en pré-émergence pour éviter toutes pertes de rendement.

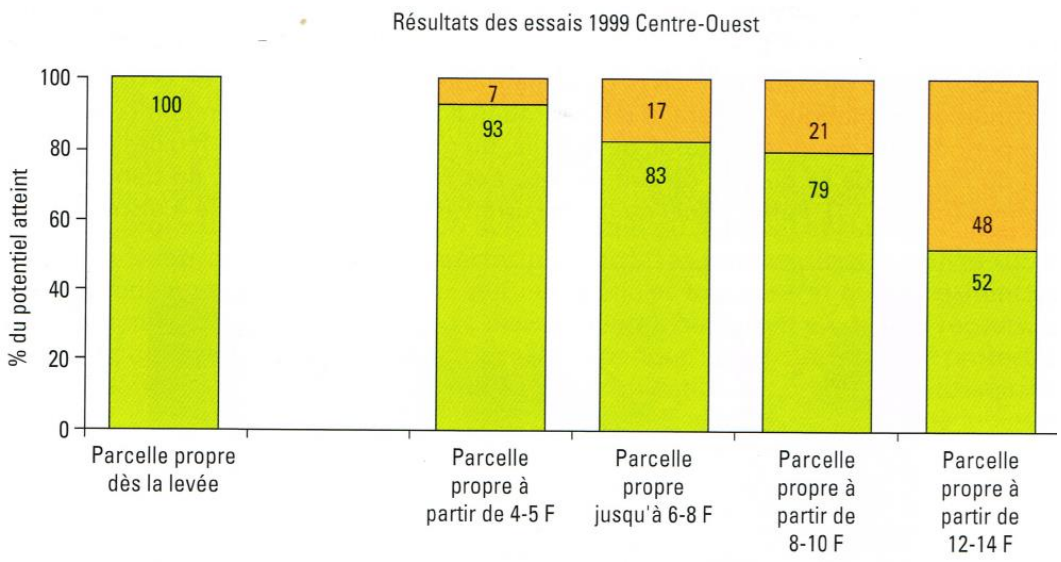



*Figure 12 : Graphique montrant l'impact des adventices sur le potentiel de rendement. Source : (Renoux 2014)*

Si en moyenne seules 10% des fermes pulvérisent en pré-émergence, 90% pulvérisent en post émergence entre le stade 2 et 5 feuilles jusque max 7 feuilles car au-delà il y a trop de changements physiologiques et les produits deviennent phytotoxiques pour le maïs (Delvaux 2016).

### 5.4.2 Lutte chimique

Les produits chimiques sont encore très utilisés dans les traitements des adventices en culture de maïs et ils fonctionnent tellement bien que certains agriculteurs les incorporent dans leur rotation du maïs pour nettoyer complètement leur terre des adventices (Renoux 2014).

Une liste des produits phytos en pré-émergence et en post-émergence avec ou sans therbuthylazine en fonction des adventices présentes sur la terre sont présentées en annexe 3.

#### 5.4.2.1 Désherbage chimique du maïs en présence de sous semis.

Le CIPF a réalisé des tests de produits phytos sur des sous-semis de trois variétés de fétuques et une variété de trèfle blanc. Le « 0 » signifie que le produit est sélectif et ne détruit ni ne freine le sous semis. Ce tableau 9 va servir de base avec les tableaux se situant en annexe 3 pour proposer des solutions permettant d'éliminer certaines adventices comme les chénopodes sans freiner le développement des sous semis.

*Tableau 9 : Sélectivité de désherbages maïs sur 3 variétés de fétuques et 1 variété de trèfle blanc en sous-semis. Source : (CIPF and Centre pilote maïs 2017)*

**1.5) Sélectivité de désherbages maïs sur 3 variétés de fétuques et 1 variété de trèfle blanc en sous-semis**

Relevé du 28 juillet 2016 / Maïs au stade début de floraison

| N° | Traitement | Dosage | Taux de freinage (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Fétuque rouge RAGT | Fétuque rouge DSV | Fétuque élevée gazonnante | Trèfle blanc |
| 1 | Témoin non traité | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Part précoce* | | | | | | |
| 2 | Callisto | 0,9 l | 7 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Callisto + Peak | 0,9 l + 20 gr | 0 | 0 | 0 | 42 |
| 4 | Callisto + Xinca | 0,9 l + 0,25 l | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Callisto + Xinca + Successor 600 | 0,9 l + 0,25 l + 1 l | 48 | 40 | 40 | 0 |
| 6 | Laudis + Onyx + Frontier Elite | 1 l + 0,5 l + 0,5 l | 83 | 95 | 77 | 0 |
| 7 | Laudis + Onyx + Most Micro | 1 l + 0,5 l + 2 l | 8 | 19 | 18 | 0 |
| 8 | Zeus + Onyx + Frontier Elite | 0,8 l + 0,5 l + 0,5 l | 58 | 83 | 65 | 0 |
| 9 | Zeus + Onyx + Most Micro + Successor 600 | 0,8 l + 0,5 l + 1,5 l + 1 | 45 | 42 | 42 | 0 |
| 10 | Zeus + Onyx + Most Micro | 1 l + 0,5 l + 1,5 l | 5 | 8 | 3 | 0 |
| 11 | Zeus + Most Micro | 1 l + 1,5 l | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Laudis + Successor 600 | 1,75 l + 1,2 l | 30 | 35 | 25 | 0 |
| 13 | Laudis + Most Micro | 1,75 l + 1,5 l | 5 | 15 | 15 | 0 |
| 14 | Laudis + Stomp Aqua | 2 l + 1,75 l | 8 | 13 | 13 | 0 |
| 15 | Laudis + Successor 600 + Stomp Aqua | 1,75 l + 1 l + 1,5 l | 22 | 40 | 35 | 0 |
| 16 | Capreno | 0,25 l | 87 | 87 | 98 | 45 |
| 17 | Capreno + Xinca | 0,25 l + 0,25 l | 87 | 85 | 100 | 40 |
| 18 | Capreno + Stomp Aqua + Sucessor 600 | 0,25 l + 1,5 l + 1 l | 90 | 75 | 98 | 85 |
| | Moyenne | | 38 | 40 | 43 | 17 |

### 5.4.3 Lutte mécanique

Un désherbage mécanique est utile pour lutter contre les adventices, briser la croute se formant en surface du sol et ameublir la terre autour de la plante. La bineuse, la herse étrille et la houe rotative (brève description ci-après) sont les outils les plus utilisés dans la lutte mécanique des adventices en maïs.

a) La bineuse

La bineuse équipée d'un ensemble de dents placées à intervalles réguliers sur le châssis permet de biner l'inter-rang du maïs. L'utilisation d'un système de guidage (Rtk, GPS, caméra, palpeur) augmente la précision du binage en évitant d'endommager la culture en place. Elle ne permet de travailler qu'avec des cultures sarclées comme le maïs, les betteraves, le colza, les fèveroles etc. Elle casse la croûte en surface tout en ameublissant la terre. En travaillant ainsi à faible profondeur, cet outil aère, sarcle la terre et favorise l'infiltration de l'eau des précipitations. De plus, le binage brise le réseau capillaire du sol réduisant ainsi le déficit hydrique de la plante lors de périodes de sècheresse, confirmant le dicton connu dans le milieu agricole : « un binage équivaut à deux arrosages ». En déchaussant ou coupant les racines des adventices en plus de ramener la terre sur le rang, la bineuse élimine 70 à 100% des adventices se trouvant au maximum au stade 3-6 feuilles. Par contre au niveau des vivaces, le binage a un effet de bouturage des rhizomes sous l'effet de scalpage de l'outil. On peut l'utiliser jusqu'au stade 8 à 9 feuilles du maïs et elle permet de déraciner des adventices plus développées qu'avec la herse étrille (M. de N. 2017).

b) La herse étrille

La herse étrille est composée d'un ensemble de fines dents fixées sur un cadre travaillant le sol tous les 2-3 cm et à 2-3 cm de profondeur. L'arrachage des adventices se réalise par un effet du contact des dents sur le sol couplé à l'avancement du tracteur qui entraine la vibration des dents dans tous les sens. Ces vibrations et impacts déstructurent le sol et arrachent les mauvaises herbes. Elle est souvent utilisée dans les cultures de blé au stade tallage[8] ainsi que les cultures de triticales, d'épeautre, de lin, de féveroles et de maïs.

Cette technique s'utilise en prélevée, le passage de la machine n'ayant pas d'impact sur la culture ce qui permet de rouler à des vitesses plus importantes (15km/h) avec une agressivité des dents plus élevée sur le sol. Par contre en post levée, il faut bien régler la machine pour ne pas abimer la culture. Avant le stade 4 feuilles, le maïs est fragile, il faut donc avancer lentement, avec les dents réglées en faible agressivité. Ce réglage s'effectue en fonction de la culture et du type de sol. L'inclinaison des dents se règle via le 3ème point de l'attache arrière du tracteur et des roues de jauges se trouvant sur la machine (permettant aussi de régler la profondeur). Les vibrations des dents (permettant l'arrachage des adventices) s'ajustent via la vitesse d'avancement. Cet outil à une vitesse de chantier (temps à l'hectare) assez importante de par la vitesse et la largeur de l'outil. Cependant, la herse ne doit pas être utilisée lorsque les adventices sont présentes en nombre mais en préventif. Son efficacité est optimale aux stades cotylédons des adventices, c 'est à dire au stade 2-3 feuilles (M. de N. 2017).

[8] Production de multiples tiges à partir de la plantule initiale assurant ainsi la formation de touffes denses.

c) La houe rotative

Cette herse à roues dentelées coudées est entrainée sur le sol par l'avancement du tracteur. Elle brise et projette la surface du sol tout en cassant la croute de battance grâce aux cuillères situées à l'extrémité de chaque roue. Ce mouvement déracine ainsi les adventices du sol.

La houe rotative est utilisée pour tout type de culture en pré-émergence ou à la levée mais après le stade 2-3 feuilles jusqu'au tallage pour le froment. En maïs, elle peut être utilisée en pré-émergence et après le stade 2 feuilles. On peut renouveler l'opération au maximum 3 fois, au-delà on enregistre des pertes de rendement.

On va obtenir un sol aéré qui favorise la croissance de la culture. Elle travaille sur une profondeur de 2 cm mais qui peut être modifiée grâce à la roue de jauge. L'agressivité de la machine se règle par rapport à la vitesse d'avancement qui se situe entre 10 et 20 km/h. C'est une technique ayant une vitesse de chantier assez importante de par la vitesse et la largeur de l'outil (M. de N. 2017).

d) Le faux semis

Le faux semis consiste à travailler le sol superficiellement avant l'implantation de la culture. Une fois travaillé, le sol favorise la levée des adventices qui arrivées au stade plantule sont détruites par un désherbage chimique ou mécanique appauvrissant ainsi le sol en semences d'adventices.

Un faux semis peut se pratiquer avec un matériel léger demandant une faible force de traction comme la herse étrille ou un déchaumeur de faible profondeur. L'opération peut se répéter en laissant un intervalle de temps pour laisser les graines d'adventices germer et augmenter l'effet d'épuisement des ressources en adventices du sol.

L'idéal pour pratiquer cette technique est que des précipitations suivent l'intervention, que le sol soit rappuyé pour favoriser la levée d'adventices et que cette intervention soit répétée chaque année afin d'assainir le sol (Bonin, Vizioz, and Metais 2016).

### 5.4.4 Lutte chimique et mécanique : la désherbineuse

*Figure 13 : Désherbineuse du CIPF*

Une désherbineuse combine désherbage mécanique et chimique des cultures sarclées. Elle est constituée de dents pour le binage et d'une cuve reliée à un système de pulvérisation de précision (Figure 13). La partie mécanique comprend des dents pattes d'oies qui assurent le travail de l'inter-rang. La partie chimique est composée d'une disposition de régulation par avancement, d'une pompe, d'une cuve et de buses qui traitent les adventices uniquement sur le rang. Les buses à fentes standard de 110 à 80° sont placées de chaque côté du rang, c'est-à-dire juste contre les éléments bineurs (Figure 14).

Les désherbineuses actuelles n'ont rien à envier au pulvérisateur en matière d'électronique. Cependant pour effectuer un travail de qualité avec une désherbineuse, il est préférable de se munir d'un système de guidage. A partir du moment où l'agriculteur est distrait et roule ou bine la culture, il perd tous les bénéfices de cette technique. C'est pourquoi un dispositif de surveillance par caméras ou palpeurs mécaniques semble une bonne option, le must en la matière étant le Rtk q avec une précision à maximum trois cm mais d'un coût élevé.

*Figure 14 : Buses permettant de traiter le rang de chaque côté ainsi que les dents permettant de biner l'inter-rang*

Ce matériel va permettre une double économie de produits phytosanitaires : d'une part le traitement ne s'effectue que sur le rang, avec un tiers de la surface traité (division par trois des doses à l'hectare) et d'autre part le traitement se réalise à quelques cm du maïs contre 25-50 cm de hauteur avec un pulvérisateur normal. Cette technique permet de diluer le traitement vu qu'il sera plus efficacement répandu et que l'inter-rang sera désherbé mécaniquement (Freulon 2014). Certaines bineuses sont équipées d'un dispositif semeur pneumatique permettant de semer à la volée des couverts dans l'espace venant d'être biné. On peut voir sur la bineuse du CIPF (Figure 13), une trémie reliée par des tubes conduisant des semences par flux d'air juste avant les griffes.

Cette technique possède ses avantages et désavantages synthétisés dans les tableaux 10 ci-dessous :

*Tableau 10 : Avantages et désavantages de la desherbineuse. Source : (Freulon 2014)*

| Avantages de la technique | Desavantages de la technique |
|---|---|
| • Réduction du volume de produits phytosanitaires utilisés<br>• Bénéfice du binage du sol (casse la croûte, oxygénation)<br>• Combinaison de matériels et réduction des passages | • Compromis difficile à trouver entre temps chaud et sec pour binage et hygrométrie de l'air pour pulvérisation<br>• Outil moins rapide qu'un pulvérisateur (faible largeur et vitesse de 6 à 8 km/h) |

# Partie 2 : Partie expérimentale

Afin de réaliser des expérimentations sur des techniques innovantes en maïs, Greenotec et moi-même avons mis en place différents sites d'essais répartis en Wallonie. Plusieurs modalités y seront testées, en micro-parcelles ou en plein champ.

## 1. Objectif général

Le maïs est une culture encore très présente en Belgique et malgré ces nombreuses qualités, cette culture présente quelques problèmes. L'objectif de ce travail de fin d'études est de développer des itinéraires techniques performants en culture de maïs tant au niveau environnemental qu'économique en y associant des légumineuses. Dans cette partie expérimentale, je m'attacherai plus particulièrement à un essai de sous semis de légumineuses dans l'inter-rang ainsi qu'au suivi de quatre autres essais maïs.

## 2. Détermination des essais expérimentaux

La première partie de mon travail a consisté à prendre contact avec des agriculteurs (membres actifs de Greenotec) pour leur proposer des itinéraires techniques différents du conventionnel et intégrant des légumineuses dans une culture de maïs.

Suite à mes recherches bibliographiques et aux échanges avec les agriculteurs, il a été décidé de mettre en place 5 essais maïs différents. Ses essais auront pour objectif de tester la faisabilité technique de ces nouvelles méthodes culturales en maïs. Les demandes des agriculteurs étaient différentes : pouvoir récolter une légumineuse en grains en même temps que le maïs grains en bio, élever le taux de protéines dans son ensilage, limiter l'apport d'engrais sur le maïs et le froment qui suit tout en limitant l'érosion de leurs parcelles et en ayant une meilleure portance à la récolte. Ces rencontres ont permis aussi de déterminer avec les agriculteurs les parcelles les plus propices à la mise en place des essais (terres homogènes assez plates sans zones humides).

Sur la carte (Figure 15) ci-dessous, les points verts situent les 5 lieux d'essais maïs avec de l'ouest vers l'est : Herquegies, Bernissart, Merbes le Château, Genappe, Vieusart. Le point rouge localise les bureaux de Greenotec (à Ghlin).

*Figure 15 : Carte de la Wallonie montrant les lieux d'essais en maïs de cette année. Source : (SPW 2016)*

# 3. Essai maïs avec sous semis de légumineuses

## 3.1 Objectif

Pour confirmer les bienfaits d'un sous semis de légumineuses dans le maïs la réalisation d'un essai est mis en place sur une parcelle à Vieusart. Les différentes légumineuses implantées dans le maïs serviront comme couvert pour une culture de froment suivante. En effet, le but est de maintenir les couverts vivant après le maïs et de venir y implanter la céréale (Figure 16). Les couverts serviront à couvrir le sol entre le maïs et le froment et permettront d'avoir une meilleure portance en cas de mauvaises conditions de récolte du maïs. De plus ils procureront un apport d'azote diminuant ainsi la fertilisation azotée.

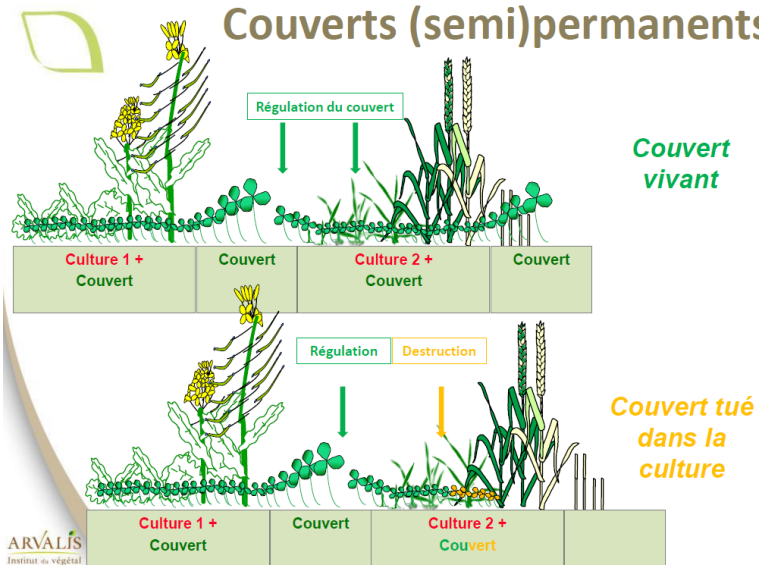



*Figure 16 : Représentation du semis direct du froment dans un couvert de trèfle ayant été régulé de manière à le garder vivant dans le froment ou détruit. Source : (ARVALIS 2013)*

Cet essai est réalisé dans le but de pouvoir déterminer :

- les légumineuses qui concurrencent le moins possible le développement du maïs;
- les légumineuses qui couvrent le sol de manière homogène et qui vont gêner le développement des adventices;
- les légumineuses qui sont capables d'augmenter leur biomasse de manière importante après la récolte du maïs ;
- les légumineuses qui sont capables d'augmenter la qualité de l'ensilage ;
- dans un deuxième temps, si le trèfle blanc Huia est assez facilement calmé par un désherbage mécanique pour éviter d'utiliser des produits phyto. Cette maitrise du couvert est nécessaire lorsque l'on désire semer du froment en semis direct après la récolte du maïs (pas développé dans ce mémoire) ;
- la quantité de relargage azoté effectué par les légumineuses.

## 3.2 Localisation

La parcelle (encadré rouge Figure 17) appartient au centre d'expérimentation de la ferme de Marbais[9] , non loin de la sortie 9 Corroy le Grand de l'E411 et est cultivée par Mr Braibant en non labour depuis plus de 10 ans.

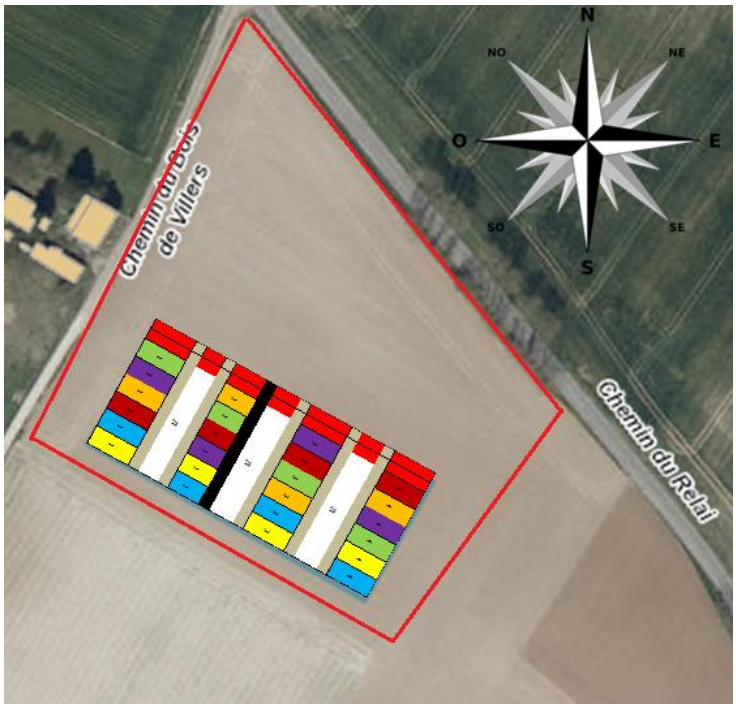



*Figure 17 : Visualisation de l'essai mis en place à Vieusart. Source : (SPW 2016)*

## 3.3 Choix de l'emplacement de la parcelle expérimentale

Pour placer un essai, il faut tenir compte de la topographie du terrain. Un champ d'expérimentation le plus plat et horizontale possible est requis. L'écartement des taches d'humidité et des plages de mauvaises herbes est nécessaire pour une homogénéité de l'essai. Avec une carte pédologique (Figure 18), il faut placer l'essai sur une zone possédant les mêmes caractéristiques pédologiques.

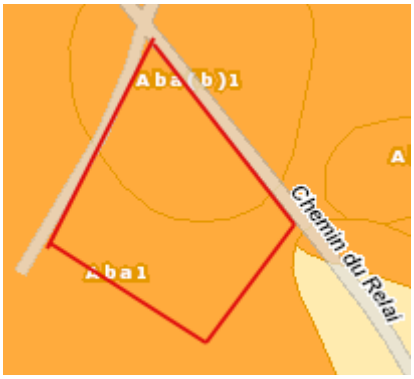



*Figure 18 : Carte pédologique avec encadrement de la parcelle où se situe l'essai. Source : (SPW 2014)*

[9] La Ferme de Marbais dispose de 40 hectares de terres et accueille les chercheurs de l'UCL.

Cet essai a donc été placé sur une zone qui répondait à ces caractéristiques. De plus, plusieurs petits profils ont été réalisés à l'aide d'une bèche sur l'étendue de l'essai. Cela a permis de confirmer une texture du sol qui apparaissait identique en porosité et granulométrie.

Les caractéristiques de cette terre sont de type Aba1 (caractérisé par une texture limoneuse, un drainage favorable, un horizon B textural et une phase à horizon mince) et Aba(b)1 (caractérisé par une texture limoneuse, un drainage favorable, un horizon B textural tacheté et une phase à horizon A mince) (Détails Annexe 4).

L'essai a donc été entièrement placé sur de l'Aba1 afin d'avoir une terre présentant les mêmes caractéristiques sur l'ensemble de l'essai.

## 3.4 Choix des modalités

Lors de la réunion du 23 février 2017 avec les coordinateurs du CIPF à Louvain la neuve, l'itinéraire à suivre a été décidé. Semer l'essai en entier en 1 passage avec le semoir Pottinguer Aérosem était une de nos propositions. On a décidé toutefois de répéter un essai de 2016 mais de manière plus scientifique et en y implantant les légumineuses au stade 6-7 feuilles à l'aide d'une désherbineuse. Ce stade d'implantation est le plus optimale pour éviter toute concurrence avec le maïs (Biblio point 5.3.2 : l'implantation du couvert de légumineuses au stade 3-4 feuilles comme en 2016 a empêché le maïs de pousser de manière optimale). Dans l'organigramme (Figure 19) ci-dessous, le schéma suivi en 2017 est représenté par les encadrés verts.

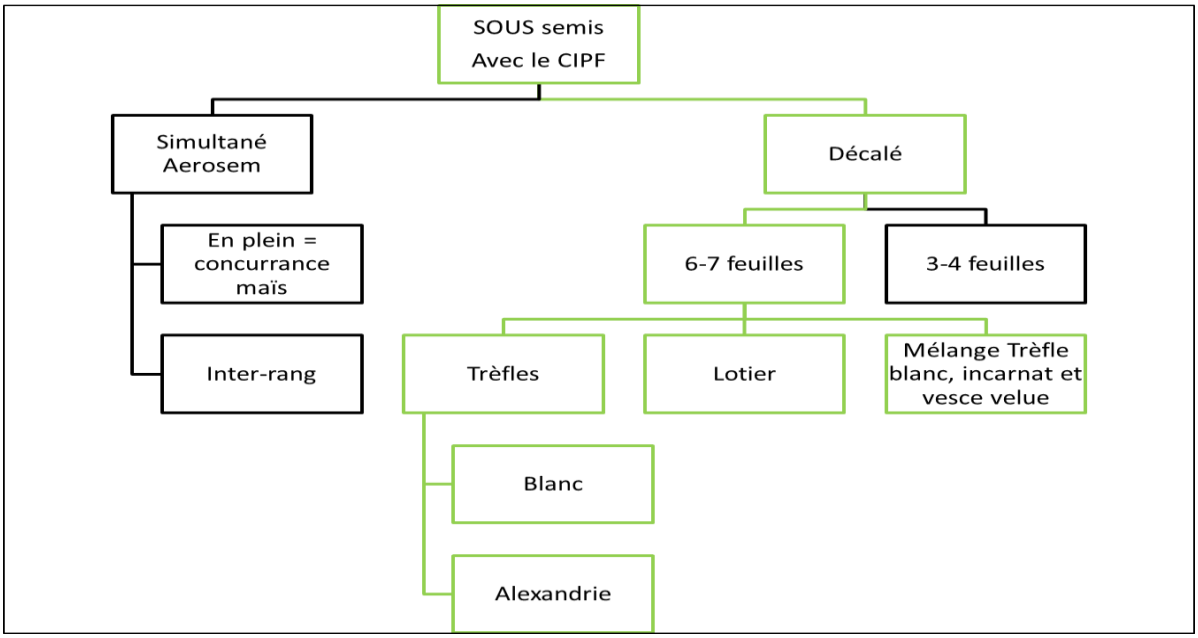



*Figure 19 : Arbre de décision représentant le chemin suivi (en vert) sur les pistes possibles (en noir) pour cet essai*

## 3.5 Choix des légumineuses

Les différentes espèces et variétés de légumineuses ont été choisies en fonction de leur date de semis, de récolte, leur taille, leur agressivité (vigueur au démarrage) et leur qualité fourragère. Les dates de semis devaient correspondre à celles du maïs. On voulait des légumineuses qui puissent survivre à l'hiver en sous étage du froment qui suit. La vigueur au démarrage ainsi que la taille étaient aussi une caractéristique importante pour éviter toute concurrence avec le maïs. Toutes les caractéristiques des légumineuses choisies se trouvent dans le tableau 11. La description des légumineuses utilisées dans cet essai se trouve ci-dessous.

### *Trèfle d'Alexandrie*

Nom Latin : Trifiolium alexandrinum L.

Variété : TABOR

Description : légumineuse imposante à port dressé, dont la hauteur peut atteindre un mètre. Sa croissance est similaire à celle de la luzerne. Les fleurs sont de couleur jaune-blanc et disposées à la tête des tiges. Le trèfle d'Alexandrie est une plante des climats doux nécessitant des températures de germination élevées (optimum près de 25 °C) et est sensible au gel. Dans des situations rudes, sa culture n'est pas recommandée. Il préfère des sols plutôt légers et calcaires et ses exigences par rapport au régime en eau sont assez élevées (Gujer et al. 1983).

### *Trèfle incarnat*

Nom Latin : Trifiolium incarnatum L.

Variété : CEGALO

Description : Légumineuse herbacée annuelle ne supportant pas la sècheresse et ayant une hauteur de 20 - 50 cm. La tige dressée, non ramifiée, velue. C'est une plante fréquemment utilisé comme fourrage en mélange prairial et utilisé aussi comme engrais vert, il peut former d'importantes colonies. Ses fleurs allongées sont rouge sang.

### *Trèfle Blanc (nain et extra nain)*

Nom latin : Trifiolium repens L.

Variété : RIVENDEL - HUIA

Description : Ses tiges ou stolons courent à même le sol. Elles sont ramifiées et portent des nœuds d'où partent les racines et les feuilles. Les racines descendent peu dans le sol (10 à 25 cm). Les feuilles comportent un long pétiole (10 à 30 cm) qui leur permet de se dresser vers la lumière. Les fleurs sont blanches. Du fait de la taille des feuilles, il existe une assez grande diversité d'aspects chez le trèfle blanc. En ce qui concerne le trèfle blanc nain, il possède les mêmes caractéristiques que le trèfle blanc mais il a des feuilles de plus petite taille.

### *Lotier corniculé*

Nom latin : Lotus corniculatus L.

Variété : /

Description : petite légumineuse pérenne résistant au stress hydrique et au froid. Cette légumineuse basse à port semi-dressé à tiges couchées ou ascendantes peut atteindre 50 cm de haut avec de 3 à 10 fleurs en ombelles jaunes, parfois tachées de rouge (gousse linéaire, de 2-3 cm de long).

### *Vesce*

Nom latin : Vicia sativa L.

Variété : MASSA

Description : la vesce commune est une plane annuelle qui a la particularité de couvrir rapidement le sol. La vesce de printemps sera plus fragile aux gelées que la vesce d'hiver. Elle peut attendre 70 cm de haut et est composée de tiges grimpantes. Les feuilles caduques sont constituées de folioles et portent une vrille ramifiée à l'extrémité. Les gousses quant à elles peuvent atteindre 5-6 cm de long et contiennent des graines lisses de couleur brune.

*Tableau 11 : Caractéristiques des légumineuses utilisées dans l'essai*

| | Vesce | Trèfle Blanc | Lotier | Trèfle d'Alexandrie | Trèfle incarnat |
|---|---|---|---|---|---|
| Date de semis | Avril-octobre | Mars-octobre | Mars-octobre | Avril-octobre | Avril-octobre |
| Date de récolte | Eté-Automne | Eté-Automne | Eté-Automne | Eté-Automne | Eté-Automne |
| Densité de semis | 10-15kg/ha | 5kg/ha | 8-10kg/ha | 8-10kg/ha | 8kg/ha |
| PMG | 40g/1000 | 0,6 à 0,7g/1000 | 2g/1000 | 1 à 3g/1000 | 1 à 3g/1000 |
| Pérennité | Annuelle | Pérenne | Pérenne | Annuelle | Annuelle |
| Agressivité (vigueur au démarrage) | Fort développement végétatif | Assez lent à s'installer, plutôt pour couvert semi-permanent >5ans | Lente au démarrage | Vigueur au départ et redémarrage à l'interculture, peut être semée en pur ou en mélange | Bonne croissance mais fin de cycle rapide, à associer |
| Qualité fourragère | la plante entière et ses graines sont des aliments très riches en protéines pour l'alimentation animale | Très bonne valeur alimentaire, très digestible et appétant | Une très bonne valeur alimentaire et est riche en protéines. | Utilisation en foin ou ensilage | Feuille poilue pas top top pour ingestion |
| Profondeur de semis | 1cm | 1cm | 1cm | 1cm | 1cm |
| Remarques | -Risque de verse élévé difficile à récolter - Variétés étouffantes<br><br>-Semis à la volée<br><br>-Très appétentes pour les pigeons et autres oiseaux, à éviter | -Riche en protéines, en oligo-éléments et minéraux, il favorise la production de lait.<br><br>-Plante adulte : 40 - 50 cm | Facilement dominé en association (tardif)<br><br>Résiste très bien aux terrains séchants et superficiels | Utilisation en foin ou ensilage<br>Il peut atteindre 1m de haut<br><br>Sensible à la concurrence sous couvert<br>Nécessite un semis de qualité (graminee phacélie) | Seul la premiere coupe donne une bonne production<br><br>Ensilage facile de par sa teneur en glucide soluble<br><br>Ne supporte pas la sècheresse<br><br>Hauteur de la plante adulte : 20 - 50 cm |
| Sources | Gnis 2008<br>Protect'eau 2016<br>Anne Schneider 2015 | Gnis 2008<br>Anne Schneider 2015 | Gnis 2008 | Gnis 2008<br>Anne Schneider 2015 | Joseph POUSSET 2015<br>Anne Schneider 2015 |

## 3.6 Itinéraire technique

La culture précédent l'essai était un froment d'hiver ensuite il y a eu un couvert d'avoine-vesce (50kg/50kg par hectare) semé le 10 septembre 2016. Celui-ci a été détruit le 16 mars 2017 à l'aide de 4l/ha de glyphosate.

### *3.6.1 Préparation du sol*

Les opérations de préparation du sol ont été réalisées le 19 avril 2017 comme reprises dans le tableau suivant avec des outils appartenant au CIPF. Celles-ci se sont déroulées dans de bonnes conditions climatiques, c'est-à-dire sans pluie. La terre était sèche et ressuyée.

*Figure 20 : Déchaumeur vibroflex (3m)*

*Tableau 12 : Détails du travail du sol avant le semis du maïs*

| Opération | Date | Profondeur | Infos outil |
|---|---|---|---|
| déchaumeur à disque | 19/04/2017 | 5-10cm | Dicroler 3m |
| Bic vibroflex | 19/04/2017 | 16cm | Consquill 3m |
| Rotative | 19/04/2017 | 10cm | Kuhn 3m |

### *3.6.2 Semis du maïs*

Juste avant le semis, 800 kg d'un engrais tertiaire en composition 14N-7P-16K [10]ont été épandues. Le semis s'est aussi déroulé dans des conditions sèches. Le semoir utilisé est de marque Monosem de 3m de large avec des éléments semeurs (4 sur 3m) espacés de 75 cm (Figure 21.

*Figure 21 : Semoir à maïs Monosem 4 rangs*

[10] N= azote, P= phosphore, K = potassium

*Tableau 13 : Détails de la densité de semis et de la variété du maïs*

| Opération | Date | Plante | Variété | Pied/ha |
|---|---|---|---|---|
| Semis maïs | 2/05/2017 | Maïs SY Altitude | 220 demi précoce | 95000 |

Ainsi théoriquement, le maïs devrait être planté à 6 cm de profondeur avec 95000 graines par hectare (une graine tous les 14 cm). Après le semis, des mesures de la précision du semis sont évaluées pour vérifier le réglage de la machine et si celle-ci disposait chaque graine à intervalle régulier et à une profondeur identique. En renouvelant (3X) la mesure d'écart entre les grains et de profondeur de ceux-ci, on obtient une profondeur moyenne de 6-7 cm (Figure 22) et un espacement moyen des grains dans le rang de 13 à 15 cm (Figure 23).

*Figure 23 : Visualisation de la profondeur du semis*

*Figure 22 : Espacement entre 2 grains de maïs sur le même rang*

### *3.6.3 Premier désherbinage*

Le premier désherbinage a été effectué avec une désherbineuse le 2 juin 2017 au stade 5-6 feuilles du maïs (figure 24). Pour rappel, des jets localisés pulvérisent le rang de maïs et les dents travaillent la terre et procèdent à un désherbage mécanique (cf. point 5.4.5 dans la partie bibliographique).

La présence sur la terre de chénopode blanc, morelles noirs, ray-grass, mouron, seneçon et chénopode à roche a renforcé notre choix dans la sélection des deux produits phytopharmaceutique suivant. Le premier produit intégré dans la solution à pulvériser est du Callisto, à base de mésotrione qui est utilisé en post-levée des adventices contre les dicotylédones comme les chénopodes et morelles (Annexe 3). Il est systémique foliaire, c'est-à-dire qu'il est absorbé par les feuilles de la plante et véhiculé par la sève entraînant une destruction foliaire et racinaire (Syngenta 2016). Le deuxième produit phyto mélangé dans la

cuve est le MONSOON ACTIVE, herbicide systémique foliaire de post-levée de la culture de maïs. Il est efficace sur les principales graminées et dicotylédones du maïs. Composé de thiencarbazone-methyl, de foramsulfuron et de cyprosulfamide (Bayer 2015). Ce coktail permet d'atteindre toutes les adventices présentes sur le champ. Les informations techniques correspondant au premier désherbinage sont reprises dans le tableau suivant.

*Figure 24 : Premier désherbinage du 2 juin 2017*

*Tableau 14 : Information techniques de la pulvérisation lors du premier désherbinage*

| Opération | Date | Produits | Quantité produit/ha | Volume/ha | Condition météo | Stade maïs |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 er desherbinage | 2/06/2017 | Callisto (contact) | 0,8 l | 275 l | Ensoleillée 11h, pas de vent | 5-6 feuilles |
| | | Mansoon activ (comme samson) | 1 l | 275 l | | |

### *3.6.4 Deuxième désherbinage et implantations des couverts*

L'herbicide utilisé contre les graminées et les dicotylédones est le Zeus qui contient du diclofop-méthyle et du fénoxaprop-P-éthyl, cette molécule est capable de détruire les dicotylédones présentes sur l'essai par contact foliaire (Annexe 3).

Pour vérifier l'efficacité de l'application de cet herbicide, des bandelettes jaunes réagissant aux gouttelettes du produit en virant au bleu (Figure 25) ont été placées dans l'inter-rang. Cette bandelette recouverte de gouttelettes démontre que les adventices se situant dans le rang de maïs seront touchées de manière homogène par l'herbicide qui est de type foliaire. Les informations techniques de cette 2ème pulvérisation par désherbinage sont indiquées dans le tableau suivant.

*Figure 25 : Bandelettes absorbantes permettant de voir l'efficacité d'une pulvérisation via l'impact des gouttelettes*

*Tableau 15 : Information techniques de la pulvérisation lors du deuxième désherbinage*

| Opération | Date | Produits | Quantité produit/ha | Volume/ha | Condition météo | Stade maïs |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2ème desherbinage | 9/06/2017 | Zeus | 0,7 l | 275 l | Ensoleillée 15h, pas de vent | 6-7 feuilles |

La désherbineuse est équipée d'un dispositif semeur pouvant semer les différents couverts en même temps que le passage du deuxième désherbinage. Mais avant le semis des légumineuses, le semoir de la désherbineuse a dû être réglée pour chaque semence afin de déterminer la densité exacte de semis. Le débit de sortie des semences du semoir fonctionne selon l'avancement du tracteur (DPA= débit proportionnel à l'avancement), la roue de jauge se trouvant sur le semoir étant l'élément qui influence le DPA. Pour mesurer cette densité de semis, on calcule tout d'abord la circonférence de la roue de jauge. On peut ensuite calculer la dose à l'hectare en appliquant la formule : circonférence roue de jauge x largeur semoir x 25 tours de roue.

*Figure 26 : Mesure de la circonférence de la roue de jauge*

Dans notre cas, la roue de jauge fait 1,3m de circonférence (Fgure 26) X 3 m de largeur de l'outil *25 tours de roue de jauge (25 tours = 97,5 m²). Pour déterminer la densité de semis, le semoir n'étant pas équipé des dernières technologies de réglage, il suffit de placer des sachets en plastique pour récolter les semences à la sortie des tubes (Figure 27) et de les peser pour en estimer la densité à l'hectare. Pour ce faire, il faut tourner la roue 25 fois et par un souffle d'air, les semences sont acheminées dans les sachets. Pour 1 ha, le poids des semences est multiplié par 102.56 (97.5m²*102.56= 10000m²= 1ha), ce qui est comparé avec la dose à l'hectare recommandé permet d'ajuster le réglage. Le semoir pneumatique sème à la volée dans l'inter-rang juste avant les griffes qui recouvrent superficiellement les semences. Le réglage de la descente gravitaire de la trémie se fait en déplaçant le cylindre visible (Figure 28). Les semences ayant des dimensions et des densités à l'hectare différentes, les réglages repris dans le tableau 15 sont donc différents.

*Figure 27 : Sachets mis au bout des organes semeurs pour estimer la densité de semis*

*Figure 28 : Cylindre permettant de régler la descente gravitaire des semences*

Le réglage et la densité de semis de chaque légumineuse ou mélange de légumineuses se trouve dans le tableau 16. On a juste essayé deux densités de semis du mélange (10 et 13kg correspondant au réglage 9 et 10 sur la désherbineuse) pour savoir s'il est nécessaire d'avoir une densité plus élevée pour avoir une couverture du sol plus élevée

*Tableau 16 : Tableau des réglages du semoir en fonction de la densité de semis de chaque modalité*

| Opération | Date | Plante | Variété | Kg/ha | Réglage semoir |
|---|---|---|---|---|---|
| Semis légumineuses | 9/06/2017 | Trèfle Blanc | Rivendel | 5 | 10,5 |
| | | Trèfle Alexandrie | Tabor | 8 | 11,5 |
| | | Lotier Corniculé | ? | 8 | 8,5 |
| | | Trèfle Blanc | Huia | 5 | 9 |
| | | Mélange Vesce Trèfle Incarna -b | Massa, Cegalo, Abera | 10 | 9 |
| | | Mélange Vesce Trèfle Incarna -b | Massa, Cegalo, Abera | 13 | 10 |

## 3.7 Plan de l'essai

Le plan de l'essai se présente de la manière suivante car on a dû faire face à plusieurs contraintes qui étaient :

- la superficie de l'essai était prédéfinie, l'essai devant respecter une longueur de 100m et une largeur de 42m ;
- des zones tampon de 10-12 m devaient être prévues pour manœuvrer facilement avec le semoir d'une répétition à l'autre ;
- en essai agricole on préconise 4 répétitions pour avoir un essai scientifique et pour y faire des statistiques ;

- on souhaitait tester deux modes de destruction du trèfle blanc Huia (une chimique en vert et une mécanique en bleue : Figure 29) avant l'implantation du froment qui suit le maïs ;
- on a disposé d'un mélange de vesce, trèfle blanc et incarna placé sur la gauche de l'essai (Figure 29 : couleur rouge vif et vert foncé) qui n'était à la base pas sensé rentrer dans l'essai mais juste à titre d'observation ;
- Il a fallu tenir compte du type de pulvérisateur pour pulvériser le régulateur freinant le trèfle et laissant le temps au froment semé en semis direct de pousser (soit un de 24m, un de 27m ou soit un de 28m). Il faut tenir compte de ces largeurs pour éviter que les traces laissées par les roues du pulvérisateur passent au milieu des modalités.

Le mélange vesces, trèfles blancs et incarnas a été ajouté hors de l'essai de base sur les 6 derniers mètres sur la gauche (Figure 29 : couleur rouge vif et vert foncé) pour rester dans les dimensions parcellaires qui nous ont été fournies. Il a été décidé par la suite d'intégrer le mélange dans l'essai car il semblait bien se développer. Ce mélange a été semé à deux densités différentes sur 2 longues bandes divisées en quatre pour ainsi réaliser les quatre répétitions.

Cette partie de l'essai est réalisée et pensée en vue de l'implantation du futur froment qui sera semé en semis direct dans les modalités de sous-semis après la récolte du maïs. Pour ce faire il va falloir calmer les couverts pour que ceux-ci ne concurrencent pas la levée du futur froment. Deux méthodes de destruction des couverts vont être réalisées, une chimique et une mécanique. La destruction mécanique (bleu) a été placée à droite de l'essai pour faciliter le passage ultérieur de l'outil en ligne droite dans le témoin et le trèfle Huia méca. De plus ainsi situé tout à droite il gênera moins le passage pour le désherbage chimique effectué en plein sur le reste de l'essai juste après le semis du froment.

La bande noire dans le bloc 2 est une erreur d'un opérateur qui a créé des chemins dans le maïs à l'aide d'une petite rotative d'un mètre en passant à l'intérieur de l'essai au lieu de l'extérieur. Cette erreur a été compensée en multipliant par 16/15 les résultats de rendement de tout le bloc 2.

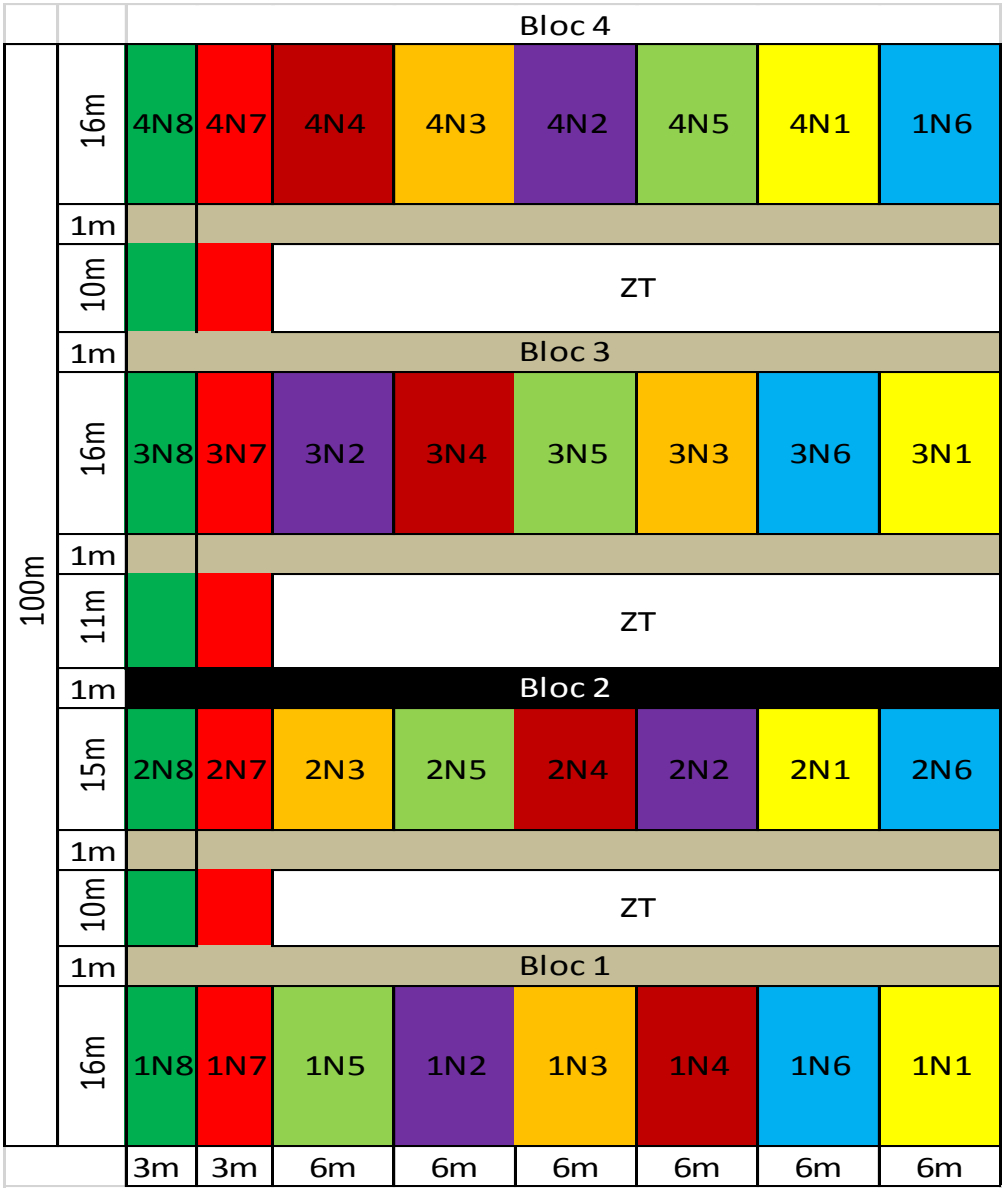



*Figure 29 : Plan de l'essai de sous-semis de légumineuse en inter-rang du maïs à Vieusart*

| Objet | | Sous-semis | Désherbage |
|---|---|---|---|
| N1 | | Témoin | Rien ou Phyto |
| N2 | | TB | Phyto |
| N3 | | TA | Phyto |
| N4 | | Lotier | Phyto |
| N5 | | T. HUIA | Phyto |
| N6 | | T. HUIA | Mecanique |
| N7 | | Mélange Regl 9 | Phyto |
| N8 | | Mélange Regl 10 | Phyto |
| | | Erreur de passage de la rotative d'1m dans l'essais | |
| | | Chemins faient à la rotative d'1m | |

## 3.8 Evolution des modalités en images

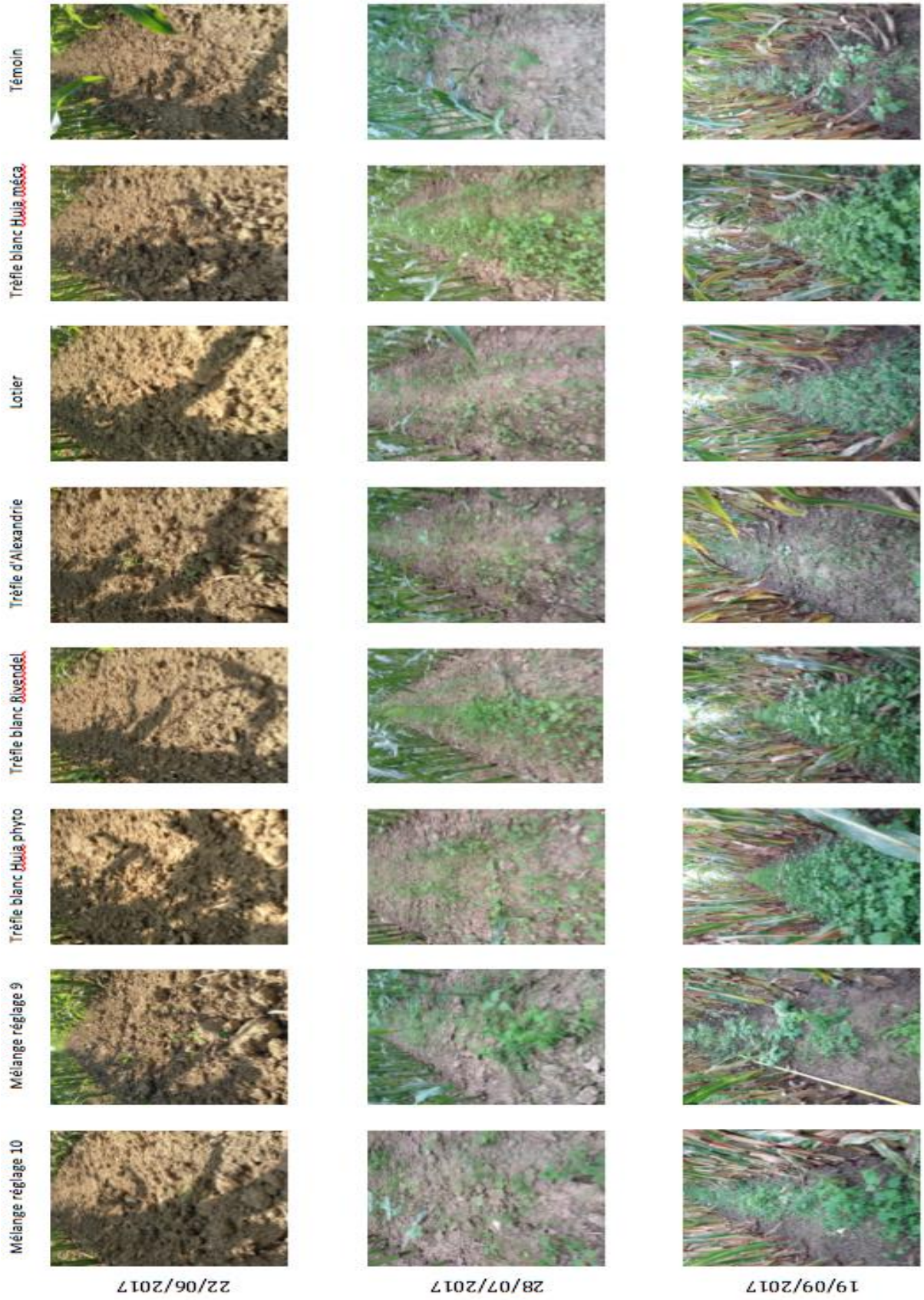



*Figure 30 : Evolution de la couverture des légumineuses dans l'inter-rang du maïs de l'essai de Vieusart*

## 3.9 Conditions climatiques

Les conditions climatiques pour l'implantation de l'essai étaient optimales. Par contre cette année la Wallonie a été reconnue par l'institut royal météorologique (IRM) comme une année exceptionnellement sèche. Comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous le printemps 2017 a été chaud et sec.

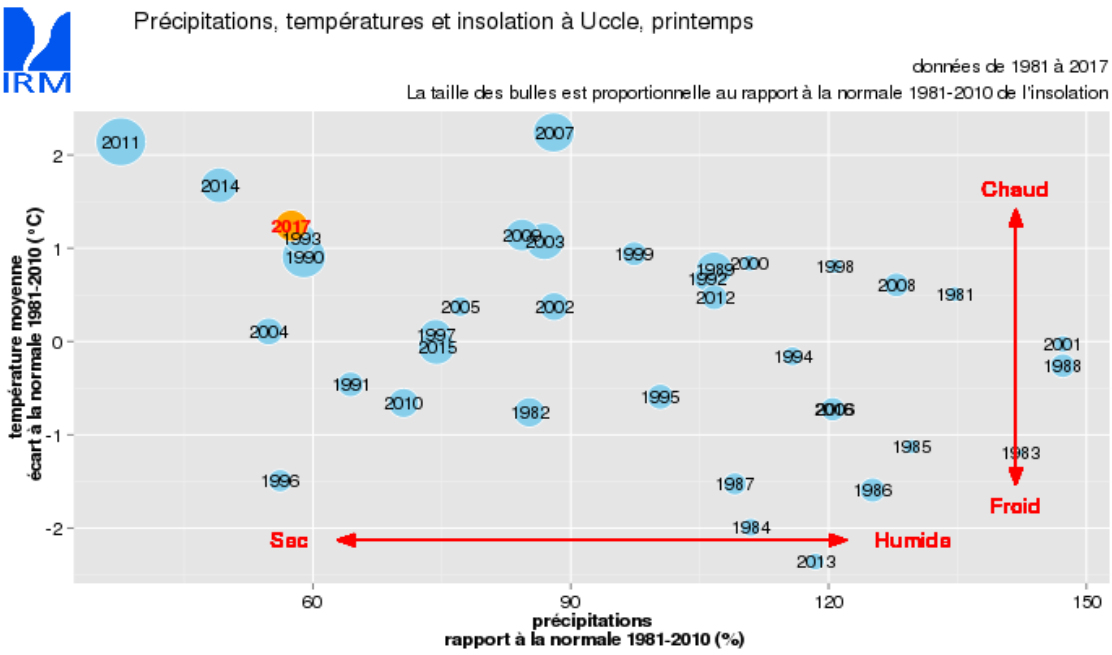



*Figure 31 : Graphique représentant les précipitations, les températures et l'insolation au printemps à Uccle depuis 1981. Source :* (IRM 2017)

La figure 32 indique que de janvier à aout 2017, la pluviométrie était faible, toujours en dessous des normales de 1981 à 2010. Une tel manque d'eau pourait avoir un impact non pas sur le maïs mais sur les légumineuses. Le maïs est de plus en plus résistant à la sècheresse grâce à l'amélioration génétique, la tolérance au stress hydrique des nouvelles variétés de maïs a augmenté. Par contre les légumineuses possédent un système racinaire moins performant que le maïs, elles pouraient donc être plus impactées par cette sècheresse. L'effet année devra être pris en compte dans la discusion des résultats.

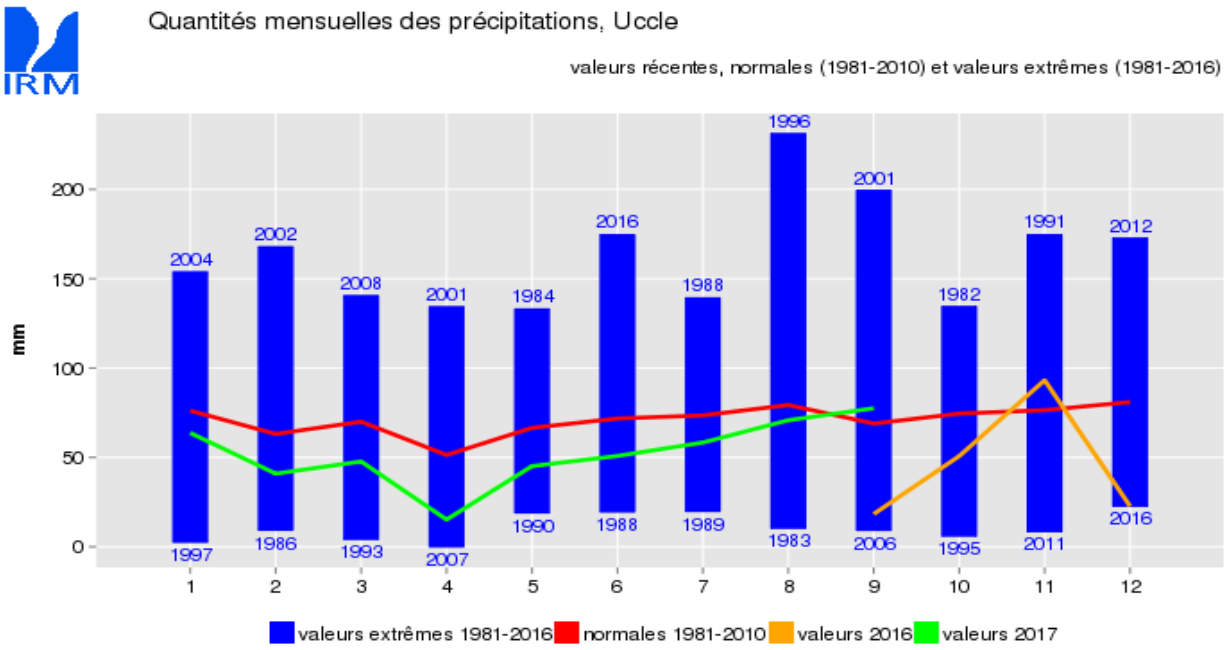



*Figure 32 : Quantités mensuelles des précipitations de 1981 à 2017. Source : (IRM 2017)*

# 4. Mesures expérimentales réalisées

## 4.1 Biomasse aérienne des sous semis

La biomasse aérienne des différents couverts de légumineuses a été récoltée pour en déterminer la matière sèche et préciser la modalité la plus productive. A l'aide d'une cisaille électrique et d'un mètre, les couverts ont été récoltés sur une longueur de 1 mètre et sur une largeur de 75 cm correspondant à l'inter-rang entre deux lignes de maïs (Figure 33). Cette opération s'est déroulée à deux reprises dans chaque modalité (64 prélèvements). Les couverts de légumineuses prélevés sont placés dans des sacs plastiques perforés pour une ventilation de la matière. Les sacs seront placés 3 jours dans une étuve à 70 degrés pour en déterminer la matière sèche.

*Figure 33 : Prélèvements de la matière fraiche aérienne du trèfle blanc Huia*

Les prélèvements se sont réalisés le mercredi 19 septembre 2017 juste avant l'ensilage du maïs et le 17 octobre juste avant le semis du froment. Le but de ces prélèvements est de voir quelle espèce est la plus adaptée au sous semis du maïs et de déterminer celle qui est la plus couvrante.

## 4.2 Biomasse aérienne du maïs

*Figure 34 : Ensileuse expérimentale deux rangs avec un bac peseur intégré à la machine*

La biomasse du maïs va permettre de voir l'influence des couverts sur le maïs. L'essai de Vieusart est en collaboration avec le CIPF qui a mis à disposition une ensileuse expérimentale de deux rangs (figure 34). Dans un premier temps une ensileuse conventionnelle de huit rangs à détouré l'essai afin de ne laisser que les rangs nécessaires pour la petite ensileuse d'expérimentation. Deux rangs du milieu vont être récoltés par la petite ensileuse pour éviter les effets de bord (Figure 35). Celle-ci est munie d'un bac peseur qui pèse directement chaque modalité, donnant ainsi une idée de rendement humide de l'ensilage. De la balance à l'intérieur de la cabine via une visse sans fin, un échantillon est prélevé par un opérateur dans des petits sacs en plastiques perforés. Deux échantillons par micro-parcelles permettront d'analyser la matière sèche ainsi que la valeur alimentaire de l'ensilage. Une fois la pesée et la prise d'échantillon faite, la récolte sera évacuée dans une benne.

La récolte s'est effectuée le 19/09/17, cette année les maïs avait deux semaines d'avance sur une année classique, les fortes températures du mois d'avril-mai ayant accéléré la maturité du maïs. Les prises d'échantillon sont placées dans des sacs micro perforé (Figure 36). Ils vont être placés dans l'étuve comme les biomasses de légumineuses pendant 3 jours à 70°c. Cela va nous permettre de calculer le rendement en matières sèche.

Par cette mesure de rendement en fonction de la matière sèche du maïs, l'effet concurrentiel du couvert sur le maïs sera quantifié et indiquera s'il y a un effet bénéfique des légumineuses sur le maïs.

*Figure 35 : Deux rangs de maïs d'une répétition de la modalité trèfle Huia méca*

*Figure 36 : Sac micro perforé comprenant un échantillon d'ensilage*

## 4.3 Azote

Le but des prélèvements est de suivre le profil azoté en fonction des couverts et de comparer chaque modalité avec la parcelle témoin et de déterminer quelle variété apporte un effet azoté pour le maïs ou pour le froment qui suit dans une proportion la plus grande possible. Les prélèvements se réaliseront avant l'implantation du maïs pour en voir l'azote présent avant pompage de la plante, à la récolte pour savoir ce que la plante à pompé et ce qu'il reste dans le profil avant d'avoir semé le froment pour en suivre la minéralisation après destructions des légumineuses.

*Figure 37 : Prélèvement d'azote effectué avec une sonde manuelle*

Les échantillons seront prélevés à l'aide d'une sonde et placés dans des sacs plastiques afin de conserver l'humidité. Ils seront analysés dans le laboratoire de La Hulpe. Il faut en moyenne entre 10 et 15 prélèvements pour effectuer l'analyse et c'est pour quoi on procédera dans chaque micro-parcelle à 3 prélèvements. Pour les 4 répétitions par modalité, il y aura 12 échantillons par modalité. Chaque prélèvement se réalisera à 3 profondeurs (0-30cm, 30-60cm et 60-90cm.) Chaque carotte de terre sera placée dans un sac plastique correspondant à la même modalité et à la même profondeur (figure 37).

Les dates de prélèvement ont été les suivantes : le 14 février 2017, le 19 septembre 2017.

## 4.4 Comptages adventices

Des comptages d'adventices ont été réalisés dans les différentes modalités ainsi que sur le témoin pour suivre l'évolution du développement des adventices et déterminer le meilleur couvert qui limite donc la propagation des adventices. Le comptage s'est effectué en plaçant un mètre pliant en bois de deux mètres le long d'un rang de maïs au centre de la micro-parcelle. Un comptage a été réalisé de part et d'autre du mètre et donc du rang pour doubler le nombre de mesures et augmenter la fiabilité (8 répétitions de comptage par modalité). Au total, 64 comptages d'une surface de 2 m sur 0,75 m de large ont été effectués le 2 juin, le 14 aout et le 19 septembre. Toutefois, le comptage du 2 juin ne s'est pas déroulé de la même manière que les deux autres car il s'est réalisé avant l'implantation des couverts lors du premier désherbinage au stade 5 feuilles. Il s'est effectué en 10 répétitions sur l'ensemble de la parcelle et en X pour couvrir l'ensemble de la parcelle et donner une idée générale des adventices présentes sur l'ensemble de celle-ci.

Ces données devraient permettre de savoir quel couvert est le plus efficace pour gérer le salissement sous le maïs.

## 4.5 Rendements et qualités technologiques du grain

Les prises d'échantillons sont placées dans des sacs micro perforés (Figure 36) et ensuite dans l'étuve comme les biomasses de légumineuses pendant 3 jours à 70°c, ce qui permet de calculer le rendement en matières sèches. Ensuite une fois séchés et broyés, les échantillons sont envoyés au labo de La Hulpe pour déterminer la valeur alimentaire du maïs via spectrométrie. Cette technique analytique est basée sur le principe d'absorption des rayonnements infrarouges par la matière organique, absorption liée à la composition chimique des échantillons. L'analyse spectrométrique est alors comparée à une banque de données déterminant la valeur alimentaire de l'échantillon.

## 5. Interprétation des résultats Vieusart

Les résultats sont détaillés ci-après par type de mesures réalisées pour la saison culturale 2017. Les biomasses, les comptages, les prélèvements azote ont été réalisés par Simon Dierickx et moi-même. Par contre les analyses de la qualité du maïs ainsi que des prélèvements d'azote ont été effectués par le laboratoire d'analyses agricoles de La Hulpe.

### 5.1 Développement des couverts

Le rendement présenté en kg de matières sèches par hectare va permettre de déterminer quelle modalité produit la plus grande quantité de végétation sur une même période. On en déduira la modalité qui va couvrir le plus fortement le sol.

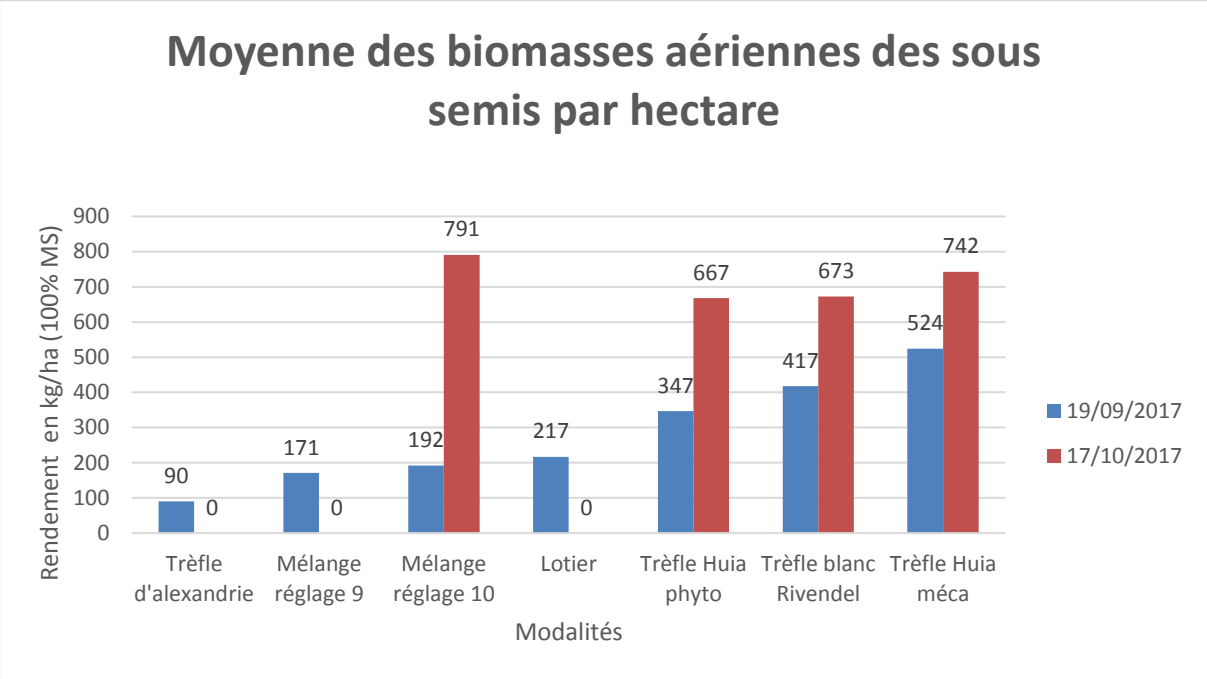



*Figure 38 : Graphique de la moyenne des biomasses aériennes des sous-semis en kg par hectare*

Les prélèvements du 19/09/2017 sont réalisés juste avant le passage des engins de récoltes. Les écarts de rendement sont importants : les trèfles blancs Huia et Rivendel ont de très bons développements. Sur la photo figure 30 comme sur le graphique figure 38, on voit que les trèfles blancs (Huia et Rivendel) ont une très bonne capacité de couverture du sol et donc de résistance et de développement sous l'ombrage du maïs. Par contre pour la modalité lotier, les rendements escomptés sont assez faibles avec un tapis assez couvrant mais moins dense que les tapis de trèfles blancs. Le trèfle d'Alexandrie est la modalité qui a eu le meilleur démarrage. Mais celui-ci s'est avéré plus sensible à l'ombrage causé par le maïs, et vers mi-juillet, il a été devancé par les modalités de trèfles blancs. A la récolte du maïs la présence de trèfles d'Alexandrie est très faible au point de voir plus de terre dans l'inter-rang que de végétation. Concernant les 2 mélanges, le réglage 10 de densité de semis de 13kg/ha est

légèrement plus productif (+21 kg/ha de biomasse sèche) que le réglage 9 de densité 10kg/ha. Leur couverture n'est pas très intense mais la vesce produisant des longues tiges rampantes donne une impression de couverture du sol. (Figure 30)

Un deuxième prélèvement réalisé un mois après le premier (le 17/10/17) avait pour but de déterminer le pouvoir des légumineuses à se redresser après le passage des engins de récoltes, d'observer leur croissance une fois libérées de l'ombrage du maïs, d'évaluer la biomasse sèche finale produite juste avant le semis direct de froment (se déroulant le 18/10/17). Toutes les modalités ont été régulées à l'aide de 2l de glyphosate à l'hectare sauf la modalité trèfle Huia M qui sera détruite mécaniquement avant le semis du froment. Pour une question pratique, seules les modalités des couverts ayant augmenté leur couverture et leur biomasse de manière visuelle ont été récoltées. Le trèfle d'Alexandrie, le lotier et le mélange réglage 9 n'ayant visuellement pas bougé en un mois et n'ont pas été prélevées une seconde fois. Les trèfles blancs sont passés de 350-500 kg/ha à 650-750 kg/ha de matières sèches en 1 mois seulement. Concernant le mélange réglage 10, sans l'ombrage du maïs celui-ci va exploser en biomasse en passant de 200 kg/ha de matières sèches à presque 800 kg/ha.

Les tableaux reprenant tous les résultats de biomasse de légumineuses se trouvent en annexe 5.

### *5.1.1 Discussion*

Comme on peut le voir sur le graphique (Figure 38), il y a le trèfle Huia avec un P pour calmer le trèfle avec un produit phytosanitaire avant le semis de froment et l'autre avec un M pour le maitriser mécaniquement. Théoriquement, on devrait obtenir les mêmes valeurs car toutes les répétitions de ces deux modalités ont été conduites de la même façon. Cependant on observe une différence de 150 kg/ha pour le 19/09 et de 90 kg/ha pour le 17/10 entre les 2 trèfles Huia. Comment expliquer cette différence ? Le manque d'homogénéité de la terre peut en être une cause (cette modalité mécanique ayant été placée sur la droite de l'essai (plan de l'essai Figure 29) ainsi qu'une densité de semis différente (lors des réglages de la désherbineuse une faible modification du réglage influençant la densité de semis). De plus tous les trèfles Huia n'ont pas été semé en même temps : on a débuté par le Huia P et ensuite vidangé et changé le réglage en oubliant qu'il fallait semer exactement de la même façon le trèfle Huia M. Or, comme une légère modification du réglage peut influencer la densité, la densité a peut-être été modifiée de peu par rapport à la valeur théorique de 5kg/ha et influencerait donc les résultats.

Dans le mélange, la vesce ainsi que le trèfle incarnat ont la capacité de fabriquer de longues tiges qui s'entremêlent. La biomasse sèche élevée le 17/10 de cette modalité peut s'expliquer par des tiges plus nombreuses que le feuillage. Ces tiges plus lignifiées produiront donc de la matière sèche en plus grande quantité.

## 5.2 Développement du maïs

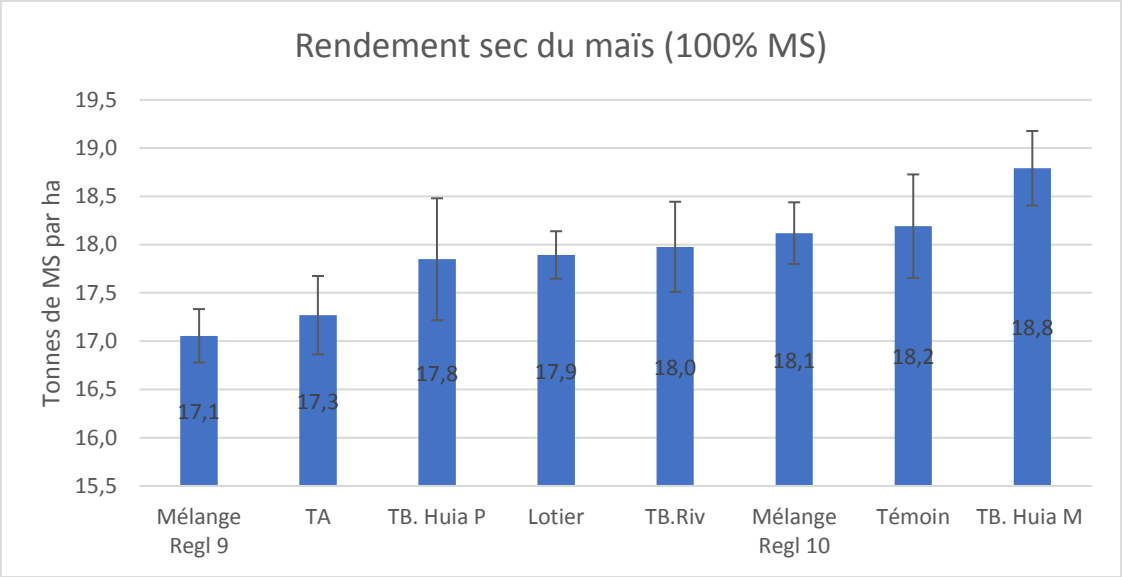



*Figure 39 : Graphique reprenant les rendements maïs en tonne de matière sèche par hectare pour les différentes modalités*

| *Source des variations* | *Somme des carrés* | *Degré de liberté* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Probabilité* | *Valeur critique pour F* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entre Groupes | 8,191 | 7 | 1,170 | 1,606 | 0,182 | 2,423 |
| A l'intérieur des groupes | 17,491 | 24 | 0,729 | | | |
| Total | 25,682 | 31 | | | | |

La différence entre les modalités n'est pas démesurée et se situe entre 17 et 19 tonnes de MS/ha. Les différences de rendements en matières sèches sont statistiquement non significatives (p (0,18)>0,05) entre les différentes modalités les répétions ayant une variance élevée peuvent aussi expliquer cela. Toutefois la modalité la plus productive est celle du maïs avec le sous semis de trèfle blanc Huia M, la modalité témoin arrivant en 2ème position. Le mélange réglage 9 et le trèfle d'Alexandrie sont en dernière position de rendement avec une production de 17.1 et 17.3 tonnes de MS par ha.

Cependant, le mélanges réglage 10, trèfle blanc Rivendel, lotier, trèfle blanc Huia P arrivent juste derrière le témoin avec 100 à 400 kg de MS/ ha en moins. Les barres d'erreurs sont plus étendues dû à un écart type élevé pour le trèfle Blanc Huia P et Riv et certaines mesures atteignent 18,5 tonnes par hectare. Cependant les moyennes de ces deux modalités sont fortement influencées et chutent car certaines mesures sont nettement plus basses dans certaine répétition.

Les tableaux détaillés des résultats du rendement en maïs ensilage se trouvent en annexe 6.

### *5.2.1 Discussion*

Le trèfle d'Alexandrie n'aurait donc eu le temps que de seulement prélever les éléments du sol sans pouvoir les rendre au maïs (comme vu précédemment le maïs absorbe la plupart des éléments de la 6ème feuille à la floraison). Le trèfle d'Alexandrie a été un frein au développement du maïs en captant les éléments sans pouvoir produire de l'azote avant la floraison du maïs. Le même procédé est applicable pour le mélange réglage 9. Son très faible développement dû à une trop faible densité de semis a été nuisible au développement du maïs.

On remarque que le témoin a produit de très bons rendements avec cependant une différence positive minime par rapport au trèfle Huia P, au lotier, au trèfle Rivendel et au mélange 10. On peut donc en déduire que les modalités de couverts influencent peu les rendements et que pour le trèfle Huia M des effets bénéfiques permettent d'augmenter de 600kg/ha le rendement de matières sèches.

## 5.3 Azote

L'azote sous forme NO3- (nitrique) est le plus abondant dans le sol et principalement absorbé par les plantes. Toutefois, cette forme de l'azote est plus facilement lessivable car peu retenue par le complexe argilo-humique. Le graphique (Figure 40) permet de visualiser l'azote restant dans le profil après la récolte du maïs.

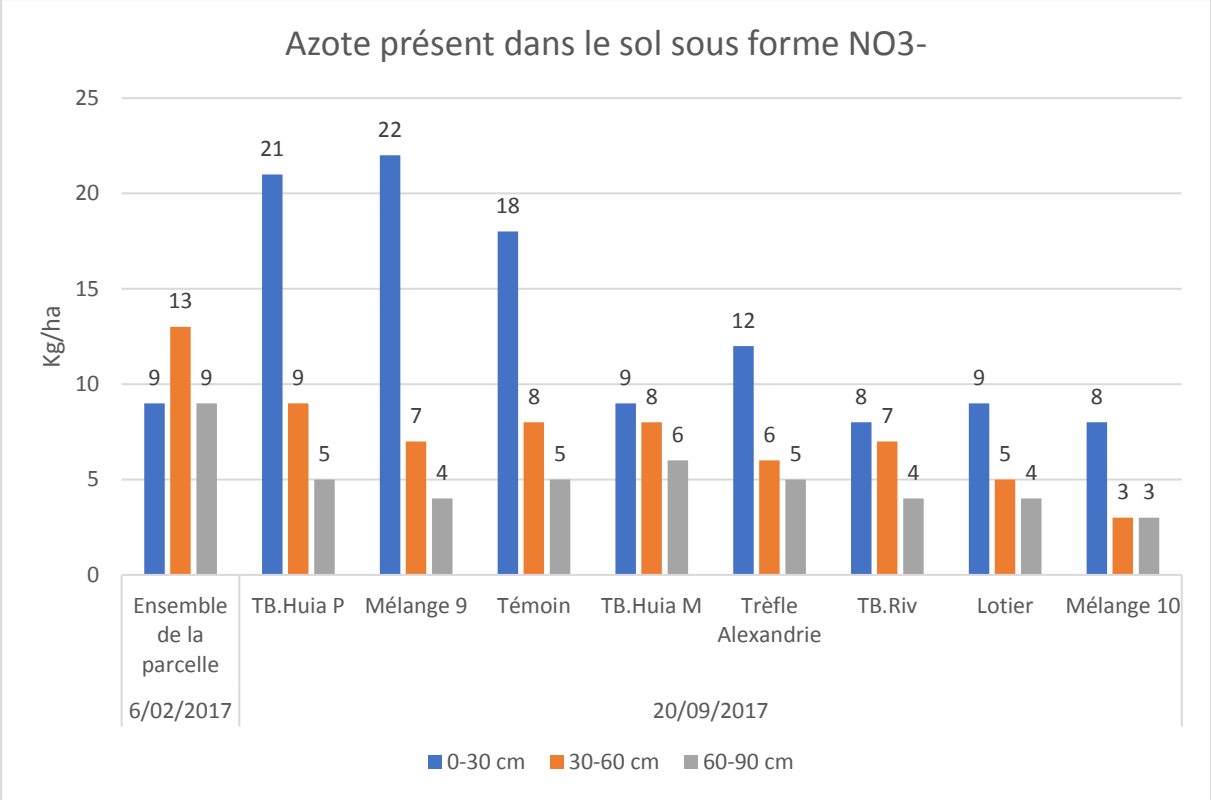



*Figure 40 : Graphique de l'azote contenu dans le sol sur l'ensemble de la parcelle le 6/02 et dans chaque modalité le 20/09*

Les résultats d'un profil azoté réalisé le 6 février 2017 sur l'ensemble de la parcelle sont représentés sur la gauche du graphique.

La somme totale de l'azote contenu dans les 3 différentes profondeurs de chaque modalité sont classées sur le graphique de gauche à droite, dans un ordre décroissant.

Nous pouvons observer une quantité d'azote plus élevée pour le trèfle Huia P, le mélange 9 et le témoin. Les résultats des autres modalités sont assez semblables.

Le bulletin d'analyse des prélèvements se situe en annexe 7.

### *5.3.1 Discussion*

Les différences sont assez minimes et des différences de 30 à 40 % entre modalités dans des profils azotés sont assez courantes. Le manque de répétabilité et les erreurs possibles dues aux prélèvements peuvent influencer les résultats. De plus les plantes compagnes ne se sont pas encore minéralisées et n'ont donc pas encore rendu l'azote absorbé et produit, la restitution de l'azote ayant commencé pour certaines modalités mais est loin d'être terminée (ce qui profitera surtout au froment qui suivra).

Le témoin n'ayant pas de légumineuses en inter-rang, il est normal d'y observer une dose d'azote plus élevée. Cependant il faut aussi tenir compte que les adventices dans le témoin sont plus nombreuses et ont également la capacité de prélever du nitrate.

Il faut de plus tenir compte de la minéralisation du couvert précédent. En observant les prélèvements réalisés le lendemain de la récolte, on remarque une bonne gestion de l'azote. On limitera fortement le lessivage car les reliquats moyens ne sont pas très élevés après la récolte.

## 5.4 Développement des adventices

Comme le montre le graphique (Figure 41), les adventices les plus présentes sont les chénopodes blancs et la morelle noire. Pour éviter de surcharger le graphique, les adventices présentes en faibles proportions comme des laiterons, du mouron, du seneçon, des géraniums et des graminées sont placées dans « Autres ». Dans les graminées, il s'agit essentiellement de ray-grass, de panic-pied-de-coq et de pâturin. Les tableaux complets des données se trouvent en annexe 8.

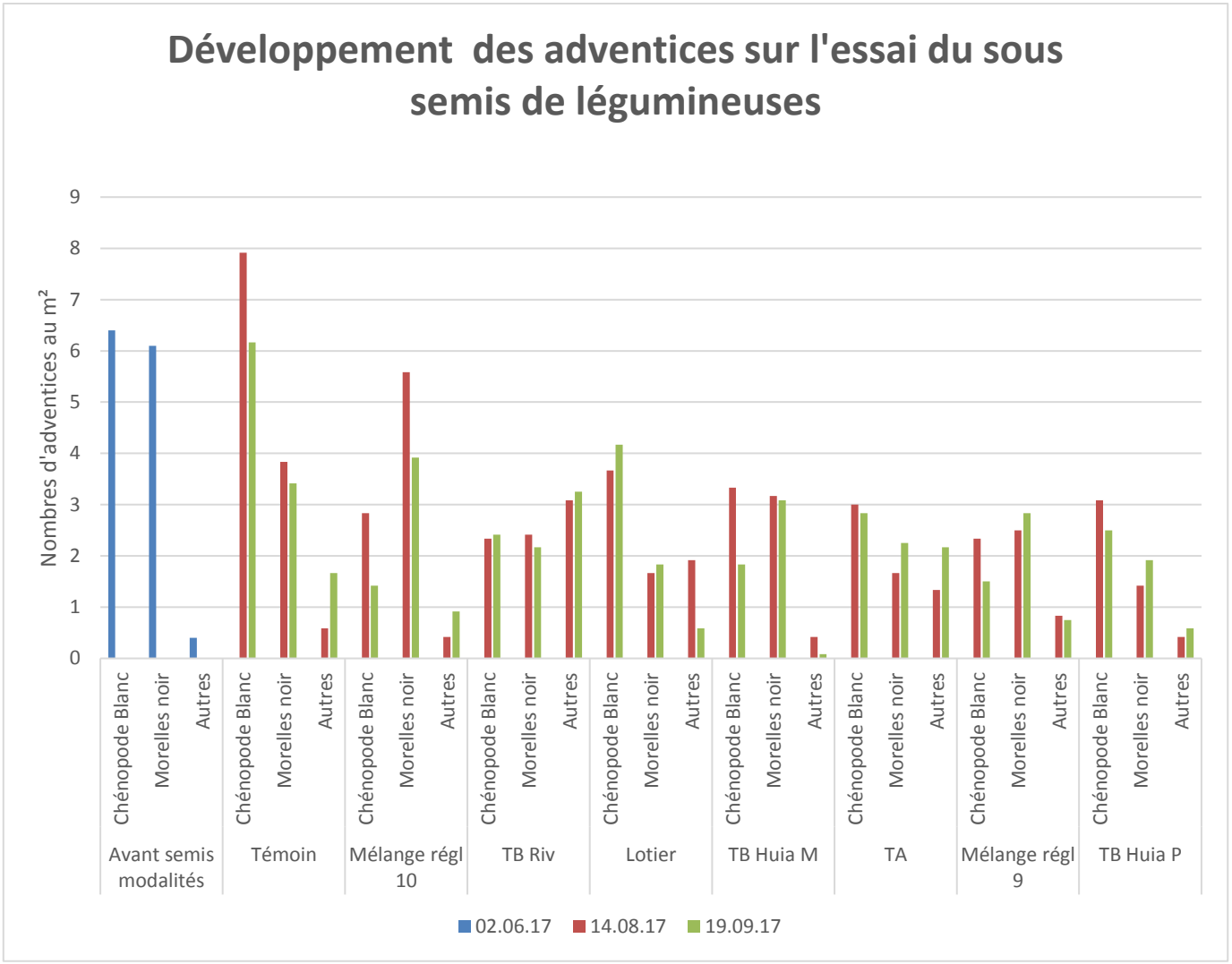



*Figure 41 : Graphique représentant l'évolution des adventices présentes dans les modalités*

Les résultats du comptage effectué le 2 juin 2017 sur l'ensemble de la parcelle juste avant le premier désherbinage et avant le semis des modalités de couverts de légumineuses se situent sur la gauche du graphique. Ce sont les adventices visibles entre le semis du maïs le 2 mai 2017 et 2 juin 2017.

Nous constatons qu'il y a eu un développement des adventices quelle que soit la modalité malgré le passage avec la désherbineuse. Nous remarquons tout de même que toutes les modalités ont un effet de compétition réduisant le nombre d'adventices par rapport au témoin maïs pur.

Concernant les deux dates de prélèvement du 14 aout et du 19 septembre 2017, nous observons une faible diminution des adventices voir parfois une stagnation de celles-ci.

Le bulletin d'analyse des prélèvements se situe en annexe 8.

### *5.4.1 Discussion*

Des contraintes logistiques et de temps ont fait que le premier désherbinage s'est déroulé un peu trop tard (5-6 feuilles du maïs au lieu de 3-4 feuilles (ce qui était préconisé)). Un plus grand laps de temps entre les 2 désherbinages aurait été nécessaire pour obtenir un réel effet d'épuisement du stock de semences d'adventices. Les adventices ne pouvant regermer avant le 2ème désherbinage, l'effet de ce dernier sera quasi nul (voir point sur le faux semis 5.4.3.D). Le premier désherbinage s'étant effectué trop tard et le stade du maïs avançant rapidement, le deuxième désherbinage a été réalisé rapidement (1 semaine) après le premier.

On remarque dans les modalités peu couvrantes comme le mélange 9, le trèfle d'Alexandrie et le lotier une faible augmentation des adventices entre le 14/08 et 19/09. Cela confirme l'hypothèse qu'un couvert développé va pouvoir limiter l'implantation et le développement d'adventices et à l'inverse un couvert peu développé va permettre une hausse des adventices.

## 5.5 Qualités technologiques de l'ensilage

### 5.5.1 Analyse des VEM

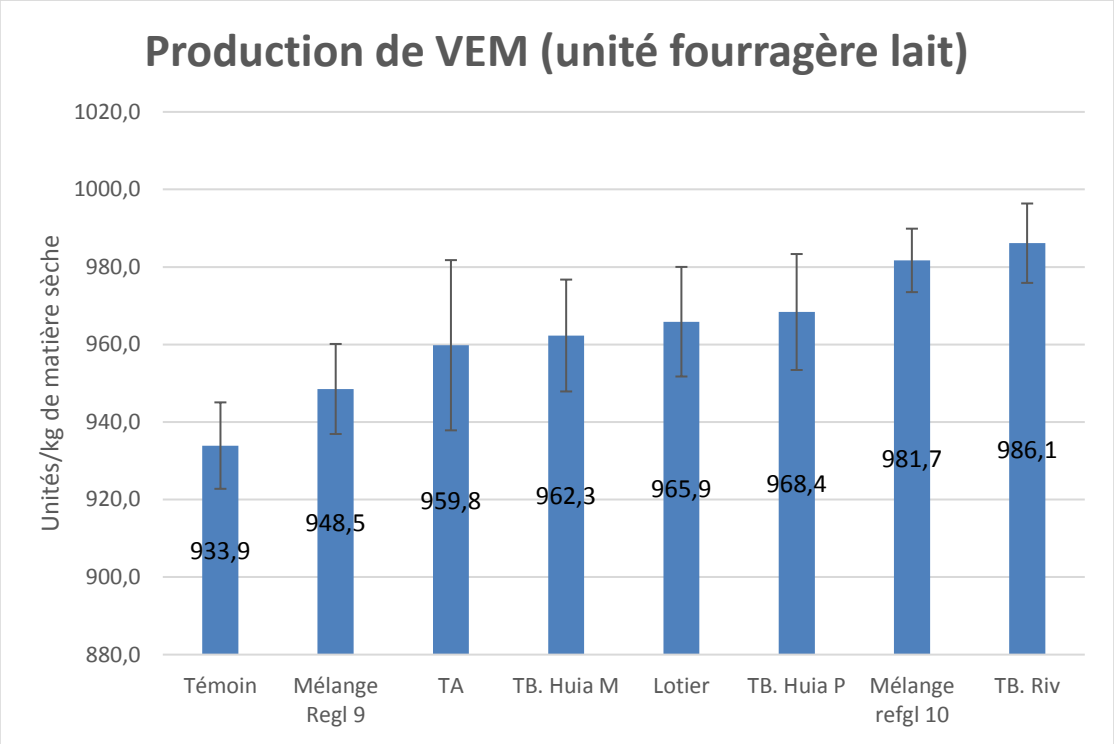



*Figure 42 : Graphique de la production de VEM du maïs présent sur les différents couverts*

ANALYSE DE VARIANCE

| *Source des variations* | *Somme des carrés* | *Degré de liberté* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Probabilité* | *Valeur critique pour F* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entre Groupes | 7946,578438 | 7 | 1135,225491 | 1,46989305 | 0,22501235 | 2,422628533 |
| A l'intérieur des groupes | 18535,64235 | 24 | 772,3184313 | | | |
| Total | 26482,22079 | 31 | | | | |

Nous constatons (Figure 42), une variation minime de l'énergie des ensilages sur les différentes modalités. Les différences de rendements sec sont statistiquement non significatives (p (0,22)>0,05) entre les différentes modalités. Cependant on observe une moins bonne production de VEM[11] (934 VEM) du témoin tandis que deux modalités ont produit 982 et 986 VEM (Mélange 10 et TB. Riv). Les résultats des autres modalités sont assez semblables et tournent autour de 950 et 960 Vem.

[11] VEM = Unité fourragère lait en Unité par kg de matière sèche

### 5.5.2 Discussion (VEM)

Nous pourrions expliquer cette différence par la concurrence que le maïs a subie. Le maïs est réputé pour sa très bonne valeur énergétique. Un ensilage de constitution normale a une valeur énergétique située entre 950 et 1000 VEM (Cours d'alimentation Dang Van, 2016). Les productions de VEM réalisées dans les modalités avec des couverts de légumineuses se situent toutes au-dessus de 950 VEM, prouvant ainsi qu'il est possible d'obtenir un maïs de qualité énergétique en ayant un sous semis de légumineuses.

### 5.5.3 Analyse de la matière protéique totale

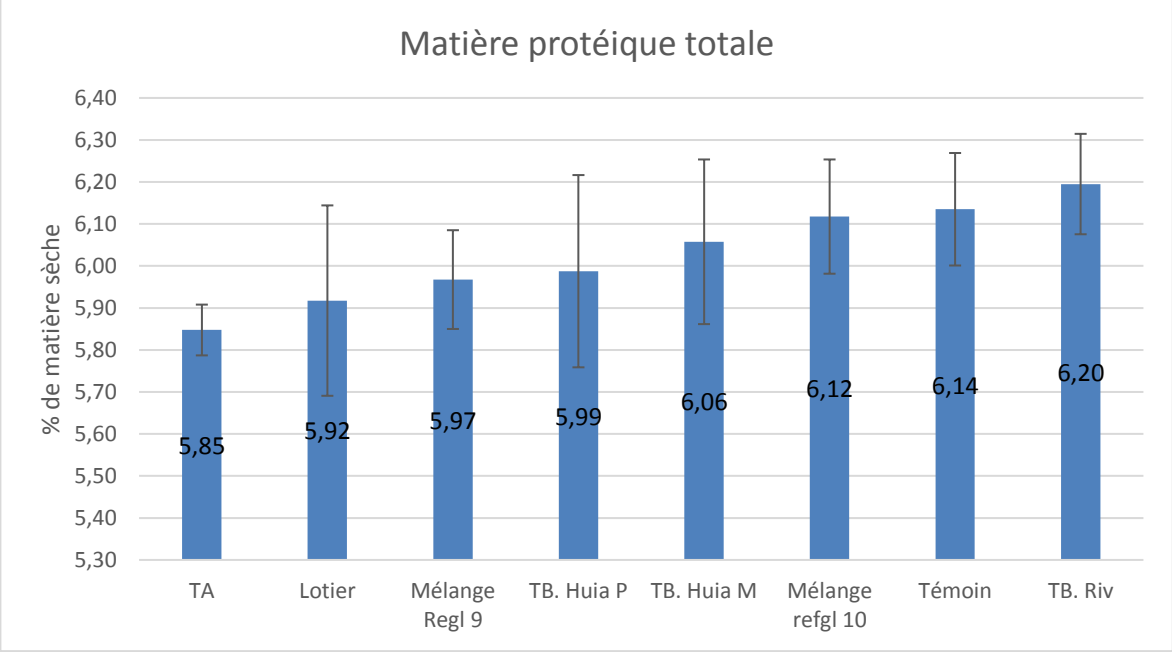



*Figure 43 : Graphique des matières protéiques totales du maïs présentes sur les différents couverts*

ANALYSE DE VARIANCE

| *Source des variations* | *Somme des carrés* | *Degré de liberté* | *Moyenne des carrés* | *F* | *Probabilité* | *Valeur critique pour F* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entre Groupes | 0,3932375 | 7 | 0,056176786 | 0,53394699 | 0,800162645 | 2,422628533 |
| A l'intérieur des groupes | 2,52505 | 24 | 0,105210417 | | | |
| Total | 2,9182875 | 31 | | | | |

La différence du pourcentage en matière sèche de matière protéique est minime. La différence entre la modalité la plus faible (TA 5,85 %) et la plus haute (TB Riv 6,2 %) est à peine de 0,35 %. Le témoin est en deuxième position avec 6,15 % de matières protéiques totales.

Les barres d'erreurs ont une étendue élevée qui indiquent une variabilité des données assez élevée. L'analyse statistique confirme cette faible différence de matières protéiques totales entre les modalités et les différences de rendements secs sont statistiquement non significatives (p (0,8)>0,05) entre les modalités.

### *5.5.4 Discussion (matière protéique totale)*

Dans la théorie le maïs a une faible valeur azotée inférieure à 10% (Cours d'alimentation Dang Van, 2016). Comme on peut le voir sur le graphique figure 43 en moyenne 6 % seulement de la matière sèche sont des protéines.

Le tableau détaillé des résultats d'analyse de la qualité de l'ensilage maïs se trouvent en annexe 9.

## 5.6 Synthèse des résultats du sous-semis de légumineuses

Le tableau 17 synthétise les résultats obtenus pour les différentes modalités de sous-semis dans le maïs avec en rouge les moins bons résultats, en orange les résultats dans la moyenne des modalités présentées et en vert les meilleurs résultats au-dessus de la moyenne.

*Tableau 17 : Tableau synthèses des différentes mesures expérimentales réalisées sur le sous-semis de légumineuses dans le maïs*

| | | | | Qualité de l'ensilage | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Développement des couverts | Développement du maïs | Comptages adventices | Production de VEM | Production de protéine | Aptitude Globale aux sous semis |
| Mélange regl 9 | | | | | | |
| Mélange regl 10 | | | | | | |
| TA | | | | | | |
| Lotier | | | | | | |
| TB. Riv | | | | | | |
| TB. Huia M et P | | | | | | |
| Témoin | / | | | | | / |

Ce tableau permet de déterminer la modalité de légumineuses la plus adaptée au sous-semis dans le maïs. « L'aptitude globale aux sous-semis » met en évidence le trèfle blanc Rivendel et le trèfle blanc Huia. Le mélange de trèfles et vesces quant à lui est plus adapté en réglage 10 avec une plus grande densité de semis (13kg/ha) que le mélange réglage 9 avec une plus faible densité de semis (10kg/ha). Le trèfle d'Alexandrie est lui peu adapté au sous-semis et a produits des résultats médiocres durant cette année expérimentale. Le lotier se situe dans la moyenne pour quasi l'ensemble des mesures réalisées mais toujours en dessous des modalités de trèfles blancs.

# 6. Discussions des interrelations entre les résultats de Vieusart

## 6.1 Concurrence des couverts sur le maïs

Au vu des faibles différences de rendements, on peut déduire que les couverts ne sont pas nuisibles au bon développement du maïs et on peut même observer un gain de plus de 600kg de matières sèches à l'hectare pour la modalité trèfles blancs Huia M. On va plutôt remarquer justement que les couverts les moins bien développés vont avoir un effet négatif sur le rendement (TA, mélange 9). Un couvert bien implanté va donc avoir un effet positif sur le maïs.

## 6.2 Concurrence des couverts sur le développement des adventices

On remarque aussi que les modalités ayant une plus faible couverture du sol vont laisser la possibilité aux adventices de se développer. Une fois le couvert bien implanté comme c'est le cas pour les trèfles blancs, celui-ci a empêché le développement d'adventices de par la concurrence trop importante qu'il entraine. La bonne implantation des couverts se marque aussi par une biomasse sèche élevée. De plus les adventices qui se sont développées avant le développement du couvert sont entrées en sénescence et n'ont donc pas été remplacées. La présence d'adventices a de ce fait diminué au cours du temps. Ceci met en évidence que les adventices sont concurrencées par la couverture et la production de biomasse de la légumineuse.

## 6.3 Influence des couverts sur la qualité du maïs

Les modalités ayant une moins bonne couverture du sol et biomasse de légumineuses sont celles qui ont le plus faible taux de VEM. On pourrait dès lors émettre l'hypothèse que les légumineuses ont la capacité de rendre les éléments disponibles dans le sol permettant ainsi au maïs de produire une quantité plus importante de VEM.

Malgré que le taux de protéines brutes totales soit assez semblable entre les différentes modalités on remarque que le taux de protéine est inversement proportionnel au rendement du maïs. En effet selon Gastal et Lemaire (Gastal and Lemaire 2002) des rendements plus faibles impliquent une plus grande concentration des protéines dans la plante.

## 6.4 Captage et relargage azoté des couverts de légumineuses

On peut considérer que les modalités ayant peu d'azote dans leur profil après la récolte sont des modalités avec un bon rendement en maïs et des couverts bien développés. En comparant le trèfle Huia M et le témoin, on remarque que la légumineuse a certes absorbé de l'azote mais qu'elle a surtout permis de produire 600 kg de MS/ha en plus que le témoin. Alors qu'il y a seulement 9 unité d'azote dans son profil du trèfle Huia M en moins que le témoin. On peut donc affirmer que le trèfle blanc Huia P a eu la capacité de déjà enrichir un minimum le sol et surtout de rendre plus disponible l'azote pour le maïs.

L'augmentation de biomasse après la récolte ainsi que l'azote produit grâce au rhizobium seront surtout disponibles pour le froment qui suit. Au point 5.3.2 de la biblio, il est expliqué que des légumineuses produisant 1 tonnes de matière sèche à l'hectare est capable de restituer en moyenne 40kg N/ha/an.

# 7. Autres suivis d'essais en maïs

Durant mon stage, quatre autres essais en maïs ont été installé en plus de mon essai principal se situant à Vieusart. L'intégration de légumineuses en association ou d'itinéraires techniques différents du conventionnel vont être les principaux moteurs de recherches que Maxime Merchier m'a demandé de mettre en pratique en accord avec les agriculteurs membres de l'asbl Greenotec.

Ceux-ci seront présentés et discutés brièvement car pour des raisons pratiques, économiques et climatiques, ces essais n'ont pas été étudiés en profondeur.

## 7.1 Suivi de l'essai à Herquegies

### 7.1.1 Présentation et but de l'essai

Cet essai maïs est un essai en agriculture biologique pour lequel ont été associées des légumineuses à grains (féveroles, vesces) en mélange avec le maïs sur le même rang, un rang sur deux ou voir même 2 rangs de chaque. Le désherbage est mécanique vu que l'essai est en bio. Cette fois l'essai n'est pas récolté sous forme d'ensilage mais seulement pour le grain. L'objectif de cet essai est de récolter le grain du maïs tout en essayant de récolter le grain des légumineuses à grains pour obtenir un apport de protéines mais aussi de vérifier l'impact des légumineuses sur le rendement maïs.

### 7.1.2 Choix des modalités

M Renard, agriculteur d'Herquegies travaillant avec une bineuse en 45 cm, le maïs est donc semé avec un semoir pneumatique à betteraves (inter-rang de 45cm). Le but est de garder une densité de 105000 plants de maïs à l'hectare tout en introduisant des légumineuses à grains afin d'obtenir un revenu complémentaire. Notre choix s'est tourné vers 2 légumineuses à grains capables de puiser l'N atmosphérique tout en ayant des grains de grande valeur protéique (pouvant être destinés à l'alimentation du bétail bio). D'après les recherches bibliographiques la vesce et la féverole sont les plus adaptées à cet essai car les périodes de semis et de récoltes concordent avec le maïs. Le but est donc de garder les grains de légumineuses sur pieds lors de la récolte du maïs grains.

Après discussion avec des spécialistes en semoir mono grain, on a remarqué que l'introduction du maïs et d'une légumineuse en ligne dans la même trémie était trop aléatoire et poserait des problèmes d'ordre technique de travail des semoirs mono grains avec des semences de dimensions différentes. Si une implantation de la légumineuse à la volée après le dernier binage pouvait être une solution, la levée des graines de légumineuses n'est pas garantie et la bineuse les aurait détruites dans l'inter-rang On a plutôt opté pour une implantation de légumineuses un rang sur deux et deux rangs sur quatre en alternance avec le maïs, réduisant ainsi la compétition pour la lumière grâce à de plus larges espaces entre les lignes. De plus les légumineuses ne dépassant pas 1,20m, le maïs ne sera pas freiné. L'entrepreneur qui a semé l'essai était équipé d'un RTK dont les 3 cm de précision ont permis d'implanter la vesce d'une modalité et deux variétés de fèveroles dans deux autres sur le même rang que le maïs. On a donc implanté les légumineuses en un premier passage pour ensuite repasser exactement au même endroit avec le maïs.

Voici ci-après le plan de l'essai mis en place :

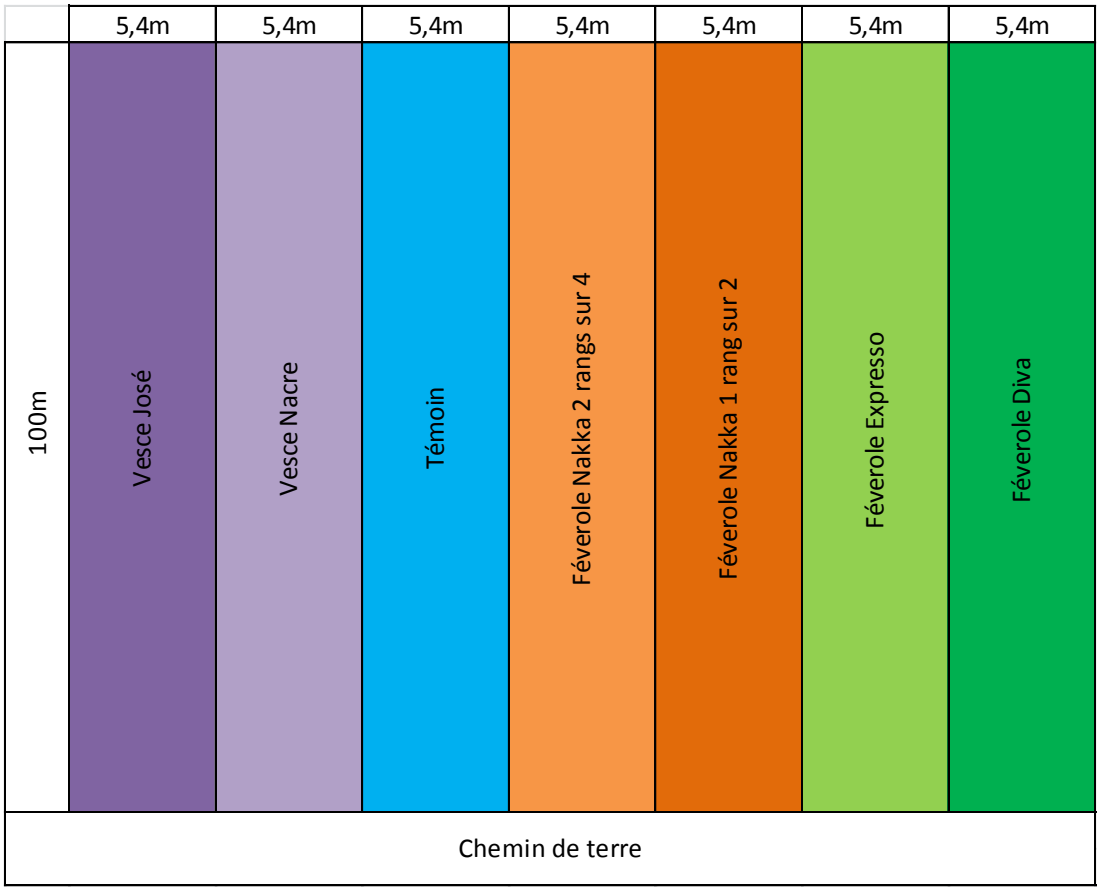



*Figure 44 : Plan d'essai maïs grain à Herquegies*

### 7.1.3 Discussion des observations

La précision de semis grâce à l'outil de précision RTK a été une réussite. Ainsi, les féveroles semées en un premier passage et le semis des maïs juste au-dessus en un deuxième passage ont donné d'excellents résultats de levée exactement sur le même rang (Figure 45), permettant le passage de la bineuse. Sur la figure 47, on observe les bonnes levées de la modalité féverole 1 rang sur 2. Les modalités avec les vesces sur le même rang de maïs ont quant à elles produit les moins bons résultats. La vesce a difficilement poussé entre les maïs et a vite été pénalisée par l'ombrage du maïs. Les conditions climatiques printanière sèches ont peut-être été plus favorables à la féverole (poids de mille grains plus élevés et se semant plus profondément).

*Figure 45 : Maïs et féveroles semés sur le même rang*

La féverole (Figure 46) est en sénescence assez élevée le 17 octobre 2017. Les tiges se cassent sous l'effet du poids des féveroles et les grains contenus dans des gousses se répandent sur le sol (encore plus visibles sur les modalités 2 rangs sur 4 et 1 rang sur 2). Les modalités de féveroles semées dans le même rang que le maïs sont elles plus dressées car soutenues par le maïs.

*Figure 46 : Maïs et féveroles semés en alternance un rang sur deux (photo du 12 juin 2017)*

*Figure 47 : Maïs et féverole en alternance un rang sur deux (photo du 17 octobre 2017, trois semaines avant la récolte)*

La récolte du maïs grains s'est déroulée le 7 novembre 2017, les grains étaient à 27,5 d'humidité. Malencontreusement l'essai a été détouré sans notre présence par l'entrepreneur et la modalité vesce José a été récoltée en même temps que le détourage.

Les modalités faisant 5,4 m de large (12 rangs fois 0,45m) et la machine ayant un bec récolteur de 4,5m permettent de récolter 10 rangs sur 12 dans chaque modalité. L'essai (100 mètres de long et de 450m²) a été récoltée par modalité dont les rendements par hectare sont repris dans le graphique figure 50. La trémie de la moissonneuse est vidée après la récolte de chaque modalité (figure 48) dans un big bag qui est ensuite pesé à l'aide d'un peson (figure 49). On observe très peu de féveroles dans le big bag (estimation d'un grain de féverole pour 1000 de maïs). Les fèveroles sont presque toutes tombées sur le sol et ont même parfois déjà germées. Le bec récolteur de la moissonneuse avait tendance à coucher encore plus les féveroles.

*Figure 48 : Vidange de la trémie dans un big bag.*

*Figure 49 : Détermination du poids du big bag à l'aide d'un peson*

Les modalités de féveroles semées 1 rang sur 2 et 2 rangs sur 4 sont en dernières positions. Cependant seuls 5 rangs de maïs ont été récoltés sur les 10 car les 5 autres rangs étaient occupés par des rangs de féveroles (pour les autres modalités 10 rangs sur 10 de maïs ont été récoltés). Les rendements de féveroles semées 1 rang sur 2 et 2 rangs sur 4 sont en dessous des autres modalités. La modalité avec de la vesce semée sur le même rang que le maïs n'a pas été plus productive que le témoin (moins 1,2 tonne/ hectare) (Figure 50). Cela peut s'expliquer par la concurrence de la vesce sur le maïs durant les premiers mois. Le maïs a pris du retard et comme la vesce ne s'est pas bien développée sous le maïs, celle-ci a rendu très peu de matières organiques et d'azote. Cependant pour les deux variétés de féveroles semées sur le même rang que le maïs, les rendements sont plus élevés que pour le témoin (plus d'une demi-tonne). La présence de la féverole dans le rang a donc été bénéfique au maïs, le maïs n'ayant été nullement gêné par la féverole durant l'ensemble de son cycle. De plus la féverole commençant à faner début aout, elle a eu le temps de commencer à rendre l'azote accumulé et le rendre accessible au maïs.

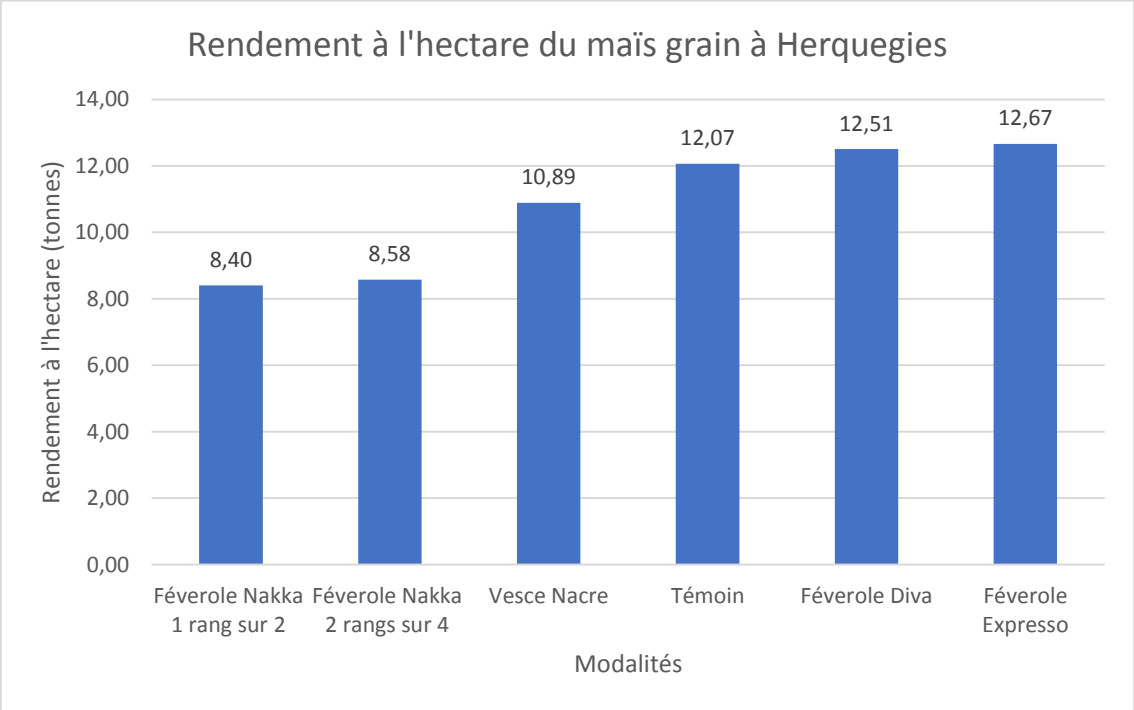



*Figure 50 : Graphique donnant le rendement du maïs grain en tonnes par hectare de chaque modalité*

## 7.2 Suivi de l'essai de Genappe

### 7.2.1 Présentation de l'essai

M Yves Goeis souhaitant utiliser toutes les fonctions de son nouveau semoir Pottinguer Aerosem, nous a proposé de réaliser un essai maïs associé. Nous avons réfléchi à diverses légumineuses qui offriraient un apport azoté et amélioreraient la couverture ainsi que la portance lors de la récolte.

### 7.2.2 Choix des modalités

En réunion avec M Goeis, nous avons constaté que la luzerne inoculée voulue initialement couterait cher pour une installation annuelle mais qu'elle serait rentable installée pendant plus de 3 ans et en y semant chaque année du maïs en semis direct. Comme ce n'était pas le but principal de cet essai en 2017, nous avons écarté le choix de la luzerne.

Nous nous sommes tournés finalement vers du trèfle blanc qui reste assez prêt du sol. Deux modalités ont été testées : une implantation en 3 lignes de trèfles blancs à 12.5 cm d'intervalle entre le maïs semé à 75cm d'inter-rang et une modalité avec 5 lignes de trèfles blancs. La même expérience est répétée mais avec le trèfle d'Alexandrie qui est plus vigoureux et produit plus de biomasse. Une vesce sera aussi placée en 3 rangs car cette légumineuse est vigoureuse au démarrage. Le fait d'instaurer le trèfle en 3 et 5 rangs dans l'inter-rang du maïs permettra de déterminer laquelle de ces 2 implantions sera la plus bénéfique au maïs sans le concurrencer aussi bien au point de vue ombrage et compétition pour l'eau que pour les nutriments.

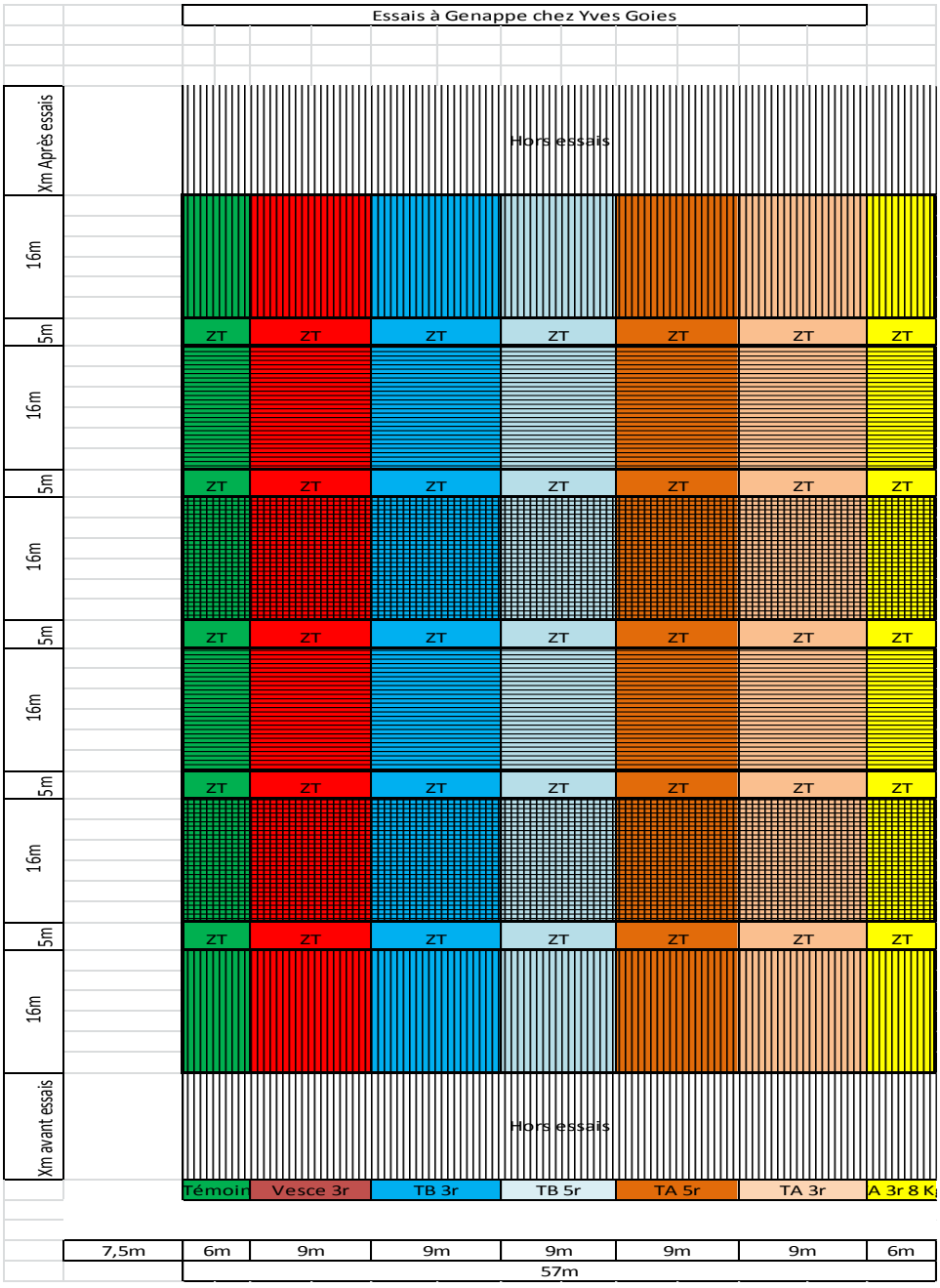



*Figure 51 : Plan de l'essai de Genappe*

***Légende***

Phyto 1 : Phyto de Mr Goiess avec 30% de phyto en moins (huiles en +)
Pulvérisé avec le pulvé de Mr Goies Produit : Hydragreen 0.2l/ha, samson 0.28l /ha, successor 0.8l/ha, Calaris 0.7l/ha
Phyto 2 : conventionnel Maïs Redebel Conv sans huile : samson 0.4l /ha, successor 1.2l/ha, Calaris 1l/ha
Phyto 3 : Produit plus séléctif aux légumineuses présentes (Redebel)
Selectif : Successor 1.2l/ha et laudis 350g/ha

### 7.2.3 Discussion des observations

*Figure 52 : Semis du maïs et des légumineuses en un passage avec le Pottinguer Aerosem*

Le semis des légumineuses et du maïs en un passage grâce à ce nouveau semoir Pottinguer s'est déroulé dans de bonnes conditions. Cependant, nous avons dû faire face à un problème de taille. Les légumineuses sorties de terre se sont fait devancer par un énorme tapis de chénopodes et même le maïs fut concurrencé comme on peut le voir sur la figure 53 L'agriculteur nous a confié que les chénopodes proviennent de l'échec du désherbage réalisé par une société ayant loué sa terre pour y implanter des pommes de terre l'année précédente. Sur base des études menées par Arvalis en France et le CIPF, nous avons décidé de tester des produits sélectifs au maïs et aux légumineuses présentes.

*Figure 53 : Pulvérisation des modalités par Redebel*

*Figure 54 : Effet de la concurrence des adventices (chénopodes) sur le maïs*

Pour le phyto 1 utilisé sur l'ensemble de la terre, les chénopodes ont été éliminés mais certaines repousses de pommes de terre sont encore sur pied et aucun signe de légumineuses. Le phyto 2 a tout nettoyé, légumineuses comprises. Par contre sur le traitement phyto 3, il semble que ce dernier n'était pas sélectif que des légumineuses car les chénopodes sont toujours bien présentes. Si la croissance des chénopodes a été ralentie, ceux-ci sont restées vivantes et malheureusement les trèfles et vesces en dessous se sont fait étouffer. On

remarque la différence entre le phyto 2 en bas et le phyto 3 au-dessus de la photo figure 54 (avec encore toutes des chénopodes). Déjà avant le traitement, on remarquait déjà que les légumineuses ainsi que le maïs souffraient fortement de la compétition. Vu qu'aucune légumineuse n'a survécu à cet essai, il a été décidé de ne pas aller jusqu'à la récolte.

L'effet de la sécheresse (Cf.  point 3.9 de la partie 2 ) explique aussi pourquoi la légumineuse a pris du temps à germer et s'est fait devancer par les chénopodes.

## 7.3 Suivi de l'essai de Merbes le Château

### 7.3.1 Présentation de l'essai

M. Gelinne voulait produire un ensilage de qualité tout en augmentant la couverture du sol et tout en raisonnant la fertilisation de manière optimale. L'essai était aussi le moyen d'optimiser le désherbage du maïs sans compromettre le développement de la légumineuse. Un des objectifs était d'augmenter les protéines dans l'ensilage par une légumineuse qui viendrait s'enrouler sur le maïs. Un autre objectif était d'apporter un peu d'azote de manière naturelle dans le sol.

### 7.3.2 Choix des modalités

Mr Gelinne ne disposait pas d'un semoir spécial du type Pottinguer Aerosem ou de désherbineuse mais un semoir à céréales. L'idée de semer les légumineuses à l'aide de ce semoir à céréales a été adoptée en démontant les éléments se situant sur les rangs du maïs. Le but était alors de semer les légumineuses entre les maïs sans endommager celui se trouvant déjà au stade 5-6 feuilles. La féverole et la vesce ont été choisies pour cet essai, la féverole pour son port dressé et rigide et pouvant atteindre plus d'1 m de haut et la vesce pour sa faculté à grimper et à s'enrouler autour du maïs. Les différentes modalités misent en place sont présentées sur le schéma figure 55.

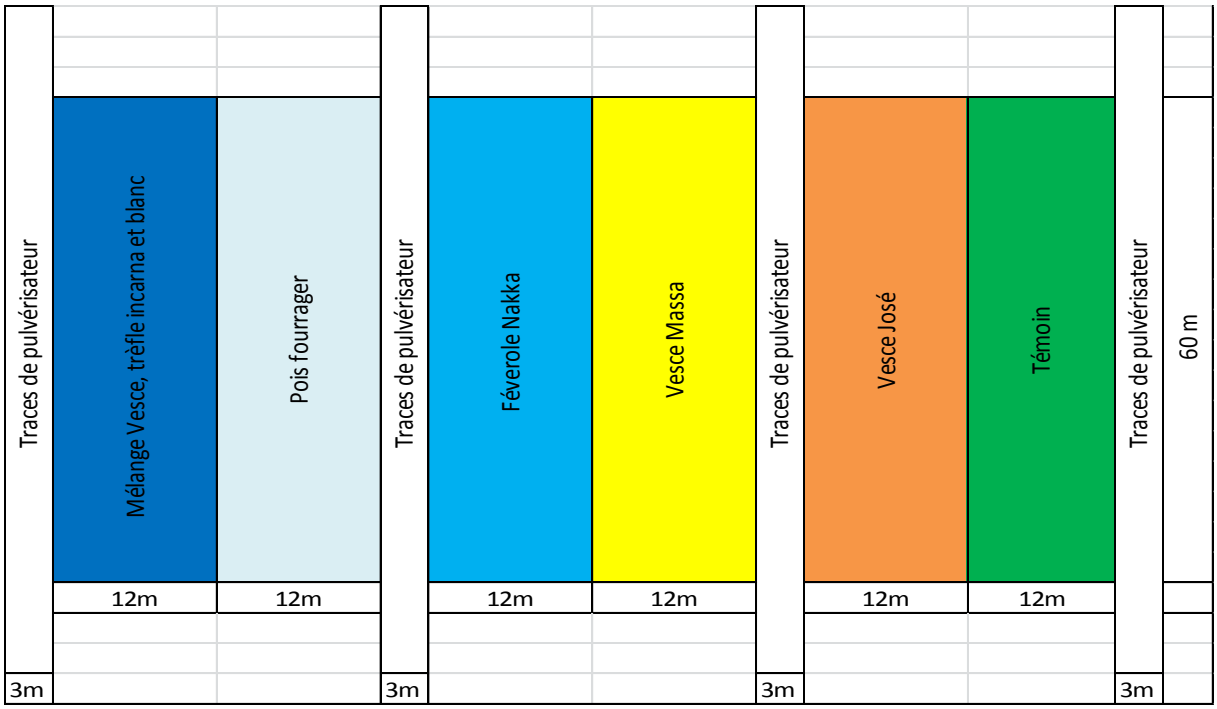



*Figure 55 : Plan de l'essai de Merbes Le Château*

### 7.3.3 Discussion des observations

Le semis des légumineuses (le 12 juin 2017) en inter-rang d'un maïs semé le 9 mai 2017 a été réalisé à l'aide d'un semoir à céréales Sulky (figure 56). Des éléments du semoir se situant sur le rang de maïs ont été enlevés pour éviter de casser le maïs. Le semis s'est déroulé dans des conditions météo sèche. Cependant la terre en inter-rang n'ayant pas été retravaillée ajouté à la sécheresse des mois de mai et juin ont rendu la terre difficilement fissurable en profondeur par les disques semeurs. Les graines de féveroles et de vesces demandent une profondeur assez importante pour germer et une terre assez humide. Cependant ces caractéristiques n'ont pas été réunies et sont surement une des causes d'une très mauvaise levée. Cependant le mélange vesces, trèfles incarnats et blancs a donné une levée correcte empêchant les mauvaises herbes de pousser. Sur le reste des modalités, ces dernières (surtout des chénopodes et morelles) ont commencé à germer. Un traitement sélectif légumineuses a été pulvérisé sur l'ensemble de l'essai. Ce traitement n'a malheureusement pas fonctionné comme on peut le voir sur la figure 57 Vu qu'aucune légumineuse n'a survécu à cet essai sauf la modalité du mélange vesces-trèfles, il a été décidé de ne pas aller jusqu'à la récolte.

*Figure 56: Semis de féveroles en inter-rang du maïs avec semoir à céréales modifié*

*Figure 57 : Chénopodes blanc en inter-rang du maïs gênant le développement du maïs dans une modalité « féverole »*

## 7.4 Suivi de l'essai de Bernissart

### 7.4.1 Présentation de l'essai

L'agriculteur souhaitait valider la technique fraise strip-till dans une ancienne prairie par rapport à un labour tout en augmentant la couverture du sol. Un labour sur une largeur de 15 m et une longueur de 100m a été réalisé (couleur noir figure 58). La répétition s'est effectuée non pas avec une charrue mais avec un déchaumeur à disques (cover-crop) (couleur rouge figure 58). La 3ème modalité correspond à l'itinéraire de l'agriculteur en strip-till à fraise avec élément enlevé (couleur jaune figure 58). Le but est donc d'observer si les différences de rendement du maïs en fonction du travail du sol.

### 7.4.2 Choix des modalités

L'agriculteur a modifié une ancienne fraise en enlevant des éléments pour travailler une ancienne prairie de 3 ans sur des bandes de 35 cm de large (Figure 59). Cette fraise entrainée par la prise de force permet de détruire le puissant système racinaire de la prairie. Par sa vitesse de rotation élevée, la fraise casse la stucture, idéale pour le maïs qui demande un sol assez finement travaillé et rappuyé. De plus le couplage de la fraise à un semoir monograin devrait permettre d'économiser un, voire deux passages. Cette technique d'association et de modification de l'outillage a pour but de pouvoir couvrir les sols grâce aux bandes enherbées non travaillées tout en gardant une certaine qualité d'implantation et de rendement.

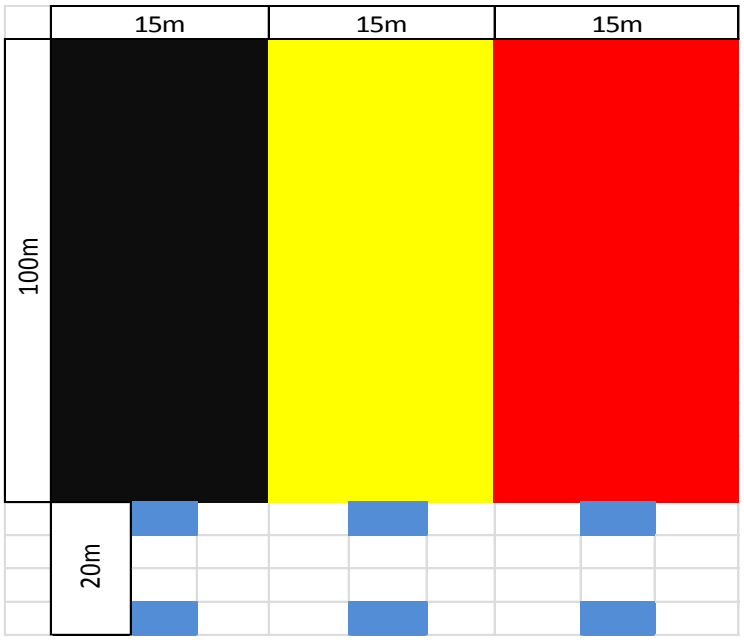



*Figure 58 : Plan de l'essai de Bernissart*

### 7.4.3 Discussion des observations

Se situant à la frontière belge, la région de Bernissart a eu de très faibles précipitations cette année 2017. L'agriculteur ayant déjà validé cette technique (fraise strip-till couplée au semoir) a obtenu un maïs médiocre de très faible hauteur (ne dépassant pas les 1,5 m dans certaines zones). L'effet de la sècheresse des mois d'avril, mai et juin se sont très fort ressentis et vu le manque d'homogénéité de croissance de maïs sur la parcelle d'essai et les faibles rendements estimés (Figure 60), il a été décidé de ne pas aller jusqu'à la récolte.

*Figure 59 : Semis du maïs avec fraise modifié pour effet strip-till travaillant que le rang de semis*

*Figure 60 : Maïs peu développé le 21 juin*

# Conclusion

Ce travail de fin d'étude a permis d'identifier le couvert le plus bénéfique dans un sous semis de maïs semé à la désherbineuse. L'expérimentation de sous-semis de légumineuses semées en inter-rang au stade 6-7 feuilles du maïs a permis de comparer les couverts et de conclure que les modalités de couverts de trèfles blancs (Huia et Rivendel) sont les plus adaptées globalement au sous-semis avec un rendement en matière sèche du maïs augmenté de 3,3% pour le trèfle Huia et quasi égale (-1.1%) pour le Rivendel par rapport au témoin maïs pur. Ces couverts ne concurrencent pas le maïs tout donnant une valeur alimentaire supérieure à l'ensilage et avec un bon recouvrement empêchant le développement des adventices. La modalité mélange 10 et le lotier sont assez neutres pour le maïs mais par contre le trèfle d'Alexandrie et le mélange réglage 9 sont peu adaptés au sous-semis.

Cette technique de sous-semis n'offre pas un énorme gain de rendement mais la mise en place et le bon développement d'un couvert en inter-rang a sans aucun doute permis de limiter l'érosion du sol pendant le développement du maïs. Le désherbage mécanique a réduit de 60% la quantité de produits phytosanitaires préservant ainsi le biotope environnant.

L'effet azoté des légumineuses est peu marqué sur le maïs et les faibles différences entre les modalités ne permettent pas de remarquer une réelle restitution de l'azote des légumineuses. Cependant l'effet azoté des couverts devrait se marquer l'année suivante, ceux-ci ayant été détruits chimiquement et mécaniquement suivi d'un semis direct de froment. Les résultats sont à suivre et Greenotec envisage d'aller plus loin dans ces analyses.

Les autres suivis même s'ils ne constituaient pas encore de réels essais agronomiques vont permettre de cerner et de détecter les couverts et les itinéraires techniques les plus adaptés aux conditions pédoclimatiques wallonnes. A ce stade, ils confirment que le plus difficile dans l'association est la maitrise du couvert et des adventices. Le choix des espèces à implanter doit être réfléchi et une culture associée peut être non rentable si elle est mal conduite. Le choix de la parcelle est primordial, car cette culture ne peut être implantée sur une terre présentant des problèmes de salissement.

Ce travail avec des personnes compétentes a consolidé mon point de vue quant à l'importance de la prise en mains de nouvelles techniques de travail du sol et des techniques de maintien d'un couvert permanent dans le monde agricole moderne. Je suis convaincu que cette autre manière de voir l'agriculture va se développer dans les années à venir.

# Bibliographie

AGPM
2012 Le Maïs, Ressource Alimentaire Des Élevages - Maïs, une grande culture durable ! Environnement, Économie, Société : Le Maïs permet de Répondre Aux Défis de Demain. http://www.maisculturedurable.com/le_mais_ressource_alimentaire_des_elevages-94.html

Arvalis
2013 Fertilisation Azotée Du Maïs : Réaliser l'apport Principal Au Stade 6-8 Feuilles - Arvalis-Infos.Fr. https://www.arvalis-infos.fr/realiser-l-apport-principal-au-stade-6-8-feuilles-@/view-13189-arvarticle.html?lang=fr

Arvalis
2013 Les Conséquences Du Changement Climatique Sur Le Blé Dur En France. http://www.arvalis-infos.fr/adapter-la-conduite-du-ble-dur-au-changement-climatique-@/view-12395-arvarticle.html

Asca
2000 Impact Environmental de La Culture Du Maïs Dans l'Union Européenne\ : Étude de Cas Sur Le Bassin de l'Adour - Mais_adour.Pdf. http://ec.europa.eu/environment/agriculture/pdf/mais_adour.pdf.

Bayer
2015 Monsoon® Active : La Nouvelle Solution Herbicide Maïs de Post-Levée : Bayer-Agri, Conseils Phyto. http://www.bayer-agri.fr/articles/3698/monsoonr-active-la-nouvelle-solution-herbicide-mais-de-post-levee/

Berendes, Markus
2011 Les Sous-Semis Dans Le Maïs : Des Coûts Faibles - Un Grand Effet - A2C Le Site de l'agriculture de Conservation. http://agriculture-de-conservation.com/Les-sous-semis-dans-le-mais-Des.html

Bonin, Ludovic, Lise GAUTELLIER Vizioz, and Pascale Metais
2016 Le Faux-Semis Est-Il Efficace Pour Lutter Contre Les Adventices ? - Arvalis-Infos.Fr. https://www.arvalis-infos.fr/pratiquer-les-faux-semis-pour-diminuer-le-stock-semencier-des-parcelles-@/view-11617-arvarticle.html

Carpentier, B.
2011 Le Maïs Fourrage : Élaboration Du Rendement et de La Qualité, Récolte et Conservation.

Cartrysse, Christine
2016 Les Légumineuses En Wallonie : Diversité, Présent et Perspectives Économiques et Écologiques (APPO). http://www.cra.wallonie.be/img/page/Conference/2016-nov-legumineuses/1-APPO.pdf

CIPF
2017 CIPF - Sous-Semis de Fétuque. http://cipf.be/fr/mais/travail-protection-sol/lutte-ruissellement-erosion/sous-semis-fetuque

CIPF, and Centre pilote maïs
2017 Réunion d'iformations "Conseils de Printemps En Culture de Maïs."

Cohan, J-P, and J Labreuche
2015 Couverts Intermédiaires, Les Légumineuses Confirment Leur Avantage. Perspectives Agricoles Mars 2015. Perspectives Agricoles : 30–34.

Debruyne, Bruno
2015 La Conservation Des Sols En Culture de Maïs Focus Sur La Technique Du Sous Semis.

Delvaux
2016 Cours de Production Végétale. ISIa Huy.

Fourrage mieux
2016 Prairie. http://www.fourragesmieux.be/prairie.html

Freulon, Mathieu
2014 Désherbage Mixte Une Désherbineuse Pour s'affranchir Du Pulvérisateur. Terre-Net. https://www.terre-net.fr/materiel-agricole/travail-sol-semis/article/s-affranchir-du-pulverisateur-210-99859.html

Gastal, F., and G. Lemaire
2002 N Uptake and Distribution in Crops: An Agronomical and Ecophysiological Perspective. Journal of Experimental Botany 53(370): 789–799.

IRM
2017 Bilan Climatologique Saisonnier - IRM. Meteo IRM. https://www.meteo.be/meteo/view/fr/1124472-Bilan+climatologique+saisonnier.html

Labreuche, Jérôme
2014 Couverts Végétaux : Des Techniques de Semis de plus En plus Variées.Pdf. https://www.perspectives-agricoles.com/file/galleryelement/pj/43/7c/4b/6c/412_1953187299140110007.pdf.

Labreuche, Jérôme, and Gilles Eschenbrenner,
2011 Dossier Implantation Maïs,Préparation Du Sol. https://www.perspectives-agricoles.com/file/galleryelement/pj/ce/d3/09/15/377_8340108984445580074.pdf

Laloy, Eric, and Charles Bielders
2010 Gestion Des Cultures de Couverture Hivernales En Maïs Pour La Lutte Contre Le Ruissellement et l'érosion. UCL.

Lecourtier, Mathieu
2016 Le Trèfle Blanc En Bon Compagnon Du Maïs. Mon Cultivar Élevage. http://www.mon-cultivar-elevage.com/content/le-trefle-blanc-en-bon-compagnon-du-mais

Legere, R
2012 Implantation_mais_legere_v999145218340515506.Pdf. http://www.afpf-asso.fr/files/fichiers/4_implantation_mais_legere_v999145218340515506.pdf.
2017 Conduite Du Maïs, Une Cohabtation Délicate Avec Les Couverts : 48.

M. de N.
2017 Lutte Mécanique, Des Avancées Mais Pas La Panacée! Sillon Belge.

Massin, Xavier
2016 Etude de La Technique Du Colza d'hiver En Culture Associée : Suivis et Synthèse Des 5 Années d'essais Menés Par l'ASBL Greenotec. ISIa Huy.

Merchier, Maxime
2017 ASBL Greenotec. http://www.greenotec.be/

Oost, J-F, and M De Toffoli
2013 Nitratinfo10.Pdf. Nitrate Info 10. https://protecteau.be/resources/shared/publications/nitratinfo/nitratinfo10.pdf

Pameseb
2013 Pameseb Asbl - Promotion de l'Agrométéorologie En Wallonie. https://www.pameseb.be/news/20/15/La-culture-du-mais-en-Ardenne-un-choix-souvent-discutable.html

Pleinchamp
2017 Pleinchamp N°36: page 5.

Renoux, Jean-Paul
2014 Le maïs : Une plante pour l'intensification écologique. France Agricole. Agriproduction.

SPW
2010 L'agriculture Wallone En Chiffres. http://www.gembloux.ulg.ac.be/phytotechnie-temperee/pic/pdf/wallonie-chiffre-FR.pdf.
2016 Walonmap. http://geoportail.wallonie.be/walonmap#BBOX=168947.7072300801,169645.54716742662,152395.57830153836,152729.61542794597.
2017 Accueil | L'état de l'environnement Wallon. http://etat.environnement.wallonie.be/

Statbel
2016 Chiffres Clés de l'agriculture. Statistics Belgium.

http://statbel.fgov.be/fr/binaries/FR_Kerncijfers%20landbouw_2016_Web_tcm326-279479.pdf.

Syngenta
2016 Le Désherbage Précoce Du Maïs Préserve Le Rendement. Syngenta France. https://www.syngenta.fr/cultures/mais/article-herbicide/desherbage-precoce-pour-preserver-le-rendement

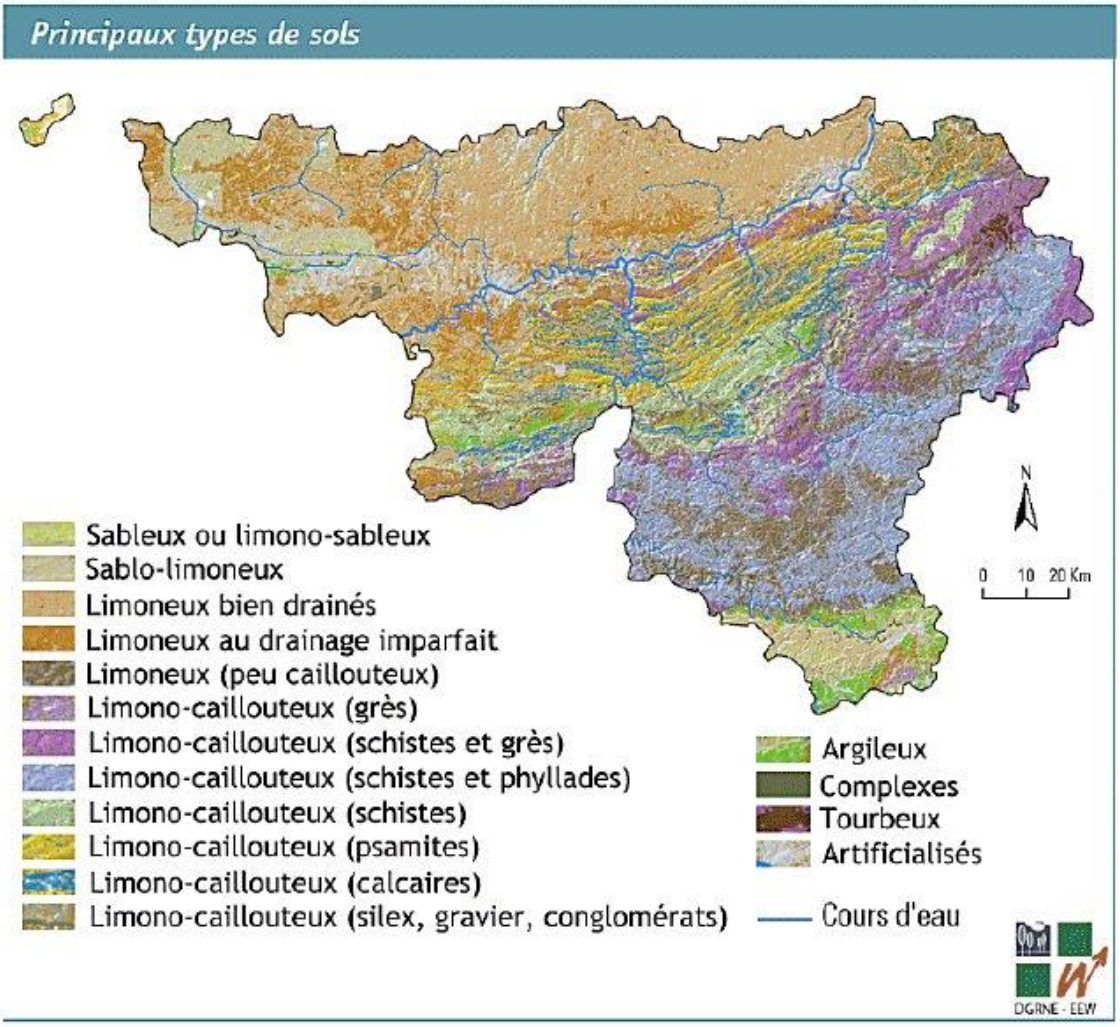
Thomas, Frédéric
2010 Légumineuse / Bactérie Rhizobium = Symbiose - A2C Le Site de l'agriculture de Conservation. http://agriculture-de-conservation.com/Legumineuse-Bacterie-Rhizobium-Symbiose.html
2011 SEMIS DE COUVERT SOUS MAÏS : SORTIR DU MAÏS AVEC UN COUVERT EN PLACE - A2C Le Site de l'agriculture de Conservation. http://agriculture-de-conservation.com/SEMIS-DE-COUVERT-SOUS-MAIS-SORTIR.html

Vergonjeanne, Robin
2015 Maïs Épis Ensiler Uniquement l'épi de Maïs Avec Sa Rafle Pour Moins de 20 €/T. Web-Agri. http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/culture-fourrage/article/ensiler-uniquement-l-epi-et-la-rafle-1178-113433.html

Wouez, Dimitri
2016 Nitrat'info N°16 Juillet 2016.

# Annexes

## *Annexe 1* : Principaux type de sols en Wallonie




Source : (SPW 2017)

## Annexe 2 : Bilan climatologique printemps et été 2017

# 1. Bilan climatologique à Uccle, printemps 2017

### Tableau des valeurs saisonnières

| | Unité | Valeur saisonnière | Normale | | Record + | Année | Record - | Année |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Température moyenne | °C | 11.3 | 10.1 | a | 12.3 | 2007 | 7.7 | 2013 |
| Température maximale moyenne | °C | 15.9 | 14.2 | ta | 17.4 | 2011 | 11.5 | 2013 |
| Température minimale moyenne | °C | 6.5 | 5.9 | n | 7.3 | 2007 | 4.1 | 1996 |
| Total des précipitations | mm | 108 | 187.8 | ta | 276.6 | 2001 | 70.7 | 2011 |
| Nombre de jours de précipitations | d | 38 | 49 | a | 74 | 1983 | 27 | 2011 |
| Nombre de jours d'orage en Belgique | d | 15 | 26.8 | ta | 43 | 1983 | 13 | 2013 |
| Vitesse moyenne du vent | m/s | 3.4 | 3.8 | e | 4.1 | 1994 | 3.4 | 2014 |
| Direction la plus fréquente du vent | | | | | | | | |
| Durée de l'ensoleillement | hh:mm | 534:52 | 463:58 | n | 707:16 | 2011 | 276:52 | 1983 |
| Rayonnement solaire global | kWh/m² | 367.5 | 325 | ta | 417.9 | 2011 | 253.7 | 1983 |
| Humidité relative | % | 68 | 74 | e | 79 | 2001 | 65 | 2011 |
| Tension de vapeur | hPa | 9.2 | 9.2 | n | 10.3 | 2000 | 7.7 | 2013 |
| Pression atmosphérique | hPa | 1017.8 | 1015.2 | a | 1020.3 | 1997 | 1011.1 | 2008 |

Normales et niveaux d'anormalité définis par rapport à la période 1981–2010.
Valeurs records de 1981 à 2016.

Définition des niveaux d'anormalité

| | | |
|---|---|---|
| n | normal | période de retour inférieure à 6 ans |
| a | anormal | période de retour entre 6 et 10 ans |
| ta | très anormal | période de retour entre 10 et 30 ans |
| e | exceptionnel | période de retour supérieure à 30 ans |

# 1. Bilan climatologique à Uccle, été 2017

### Tableau des valeurs saisonnières

| | Unité | Valeur saisonnière | Normale | | Record + | Année | Record - | Année |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Température moyenne | °C | 18.6 | 17.5 | a | 19.7 | 2003 | 16.1 | 1987 |
| Température maximale moyenne | °C | 23.1 | 22.1 | n | 24.4 | 2003 | 20 | 1981 |
| Température minimale moyenne | °C | 13.9 | 13.2 | n | 14.9 | 2003 | 11.7 | 1985 |
| Total des précipitations | mm | 179.9 | 224.6 | n | 364.8 | 1992 | 107.4 | 1983 |
| Nombre de jours de précipitations | d | 44 | 43.9 | n | 61 | 2011 | 26 | 1989 |
| Nombre de jours d'orage en Belgique | d | 36 | 40.1 | n | 52 | 2006 | 25 | 1998 |
| Vitesse moyenne du vent | m/s | 3.2 | 3.2 | n | 3.5 | 1988 | 2.7 | 1989 |
| Direction la plus fréquente du vent | | | | | | | | |
| Durée de l'ensoleillement | hh:mm | 573:21 | 578:20 | n | 739:48 | 2003 | 422:34 | 1981 |
| Rayonnement solaire global | kWh/m² | 448.3 | 429.6 | n | 490.9 | 2003 | 365.1 | 1981 |
| Humidité relative | % | 68 | 73 | e | 78 | 1987 | 67 | 2015 |
| Tension de vapeur | hPa | 14.2 | 14.5 | n | 16.1 | 2003 | 13.2 | 1996 |
| Pression atmosphérique | hPa | 1014.8 | 1016.3 | a | 1018.6 | 2013 | 1013.7 | 2007 |

Normales et niveaux d'anormalité définis par rapport à la période 1981–2010.
Valeurs records de 1981 à 2016.

Définition des niveaux d'anormalité

| | | |
|---|---|---|
| n | normal | période de retour inférieure à 6 ans |
| a | anormal | période de retour entre 6 et 10 ans |
| ta | très anormal | période de retour entre 10 et 30 ans |
| e | exceptionnel | période de retour supérieure à 30 ans |

Source : (IRM 2017)

## Annexe 3 : Listes d'éfficacité des produits phytosanitaires en pré-émergence et en post-émergence avec ou sans therbuthylazine en fonction des adventices présentes

| Préémergence (conditions d'humidité non limitantes) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Matière active | diméthénamid P | S-métolachlore | péthoxamid | pendiméthaline | isoxaflutole | isoxaflutole + thiencarbazone-méthyl + cyprosulfamide |
| Produit commercial | Frontier Elite | Dual Gold | Successor 600 | Stomp Aqua, Most Micro | Merlin | Adengo |
| Dosage/ha | 1,4 l | 1,4 l | 1,2 l | 2,5 l | 100 gr | 0,33 l |
| **Graminées annuelles** | | | | | | |
| Panic pied de coq | SS | SS | S(S) | S | MS | SS |
| Panic dichotome | SS | SS | MS-S | - | - | - |
| Panic schinzii | SS | SS | S | - | - | SS |
| Sétaire verticillée | SS | SS | S(S) | S | SS | SS |
| Digitaire filiforme | S(S) | SS | S | S | SS | S-SS |
| Digitaire sanguine | S(S) | SS | S | S | SS | S-SS |
| Ray grass | MS | S | R | R | R | SS |
| Vulpin | S | S(S) | S | MS | R | SS |
| Pâturin annuel | S | MS | S(S) | S | R | SS |
| Folle avoine | AR | MS | - | R | R | |
| Jouet du vent | - | AR | - | S | R | |
| **Dicotylées annuelles** | | | | | | |
| Amarante | S(S) | S | S | S | SS | S |
| Arroche étalée | AR | R | MS | SS | MS | MS |
| Capselle | S | MS | S | S | SS | SS |
| Chénopode blanc | MS | MS | MS | SS | S | S |
| Fumeterre | SS | S | S | AR | R | R |
| Gaillet gratteron | R | AR | AR | MS | MS | MS |
| Géranium | R | MS | S | MS | R | MS |
| Lamier | S | S | S | S | S | S-SS |
| Matricaire camomille | S | S | S | MS | SS | SS |
| Mercuriale | S | MS | R | S | MS | MS |
| Morelle noire | S | S | S | MS - S | SS | SS |
| Mouron | S | MS | MS-S | S | SS | S |
| Pensée des champs | R | R | AR | S | MS | MS |
| Renouée des oiseaux | R | R | R | MS | MS | S-SS |
| Renouée faux-liseron | AR | AR | AR | AR | R | MS-S |
| Renouée persicaire | AR | AR | AR | MS | SS | SS |
| Sené, Ravenelle | R | R | MS | R | SS | SS |
| Séneçon | MS | MS | MS | R | SS | SS |
| Véroniques | S | S (S) | S | S | S | |
| Sélectivité | +++ | +++ | ++(+) | ++(+) | ++(+) | +++ |

SS = Sensible, S = Assez Sensible, MS = Peu Sensible, AR = Assez Résistant, R = Résistant, - = pas d'info disponible

| Postémergence avec terbuthylazine | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Matière active et stade d'application | mésotrione + terbuthylazine 1 à 7 F | S-métolachlore + terbuthylazine (1) | flufénacet + terbuthylazine (1) | diméthénamid P + terbuthylazine (1) |
| Produit commercial | Calaris | Gardo Gold | Aspect T | Akris |
| Dosage/ha | 1,25 l | 2 l | 2 l | 2,5 l |
| **Graminées annuelles** | | | | |
| Panic pied de coq | S | SS | SS | SS |
| Panic dichotome | R | SS | SS | SS |
| Panic schinzii | MS | MS(*) | MS(*) | S(*) |
| Sétaire verticillée | R | S à SS | SS | SS |
| Digitaire filiforme | AR | S | S | S |
| Digitaire sanguine | MS - S | S | S | S |
| Ray grass | AR | S | S (S) | MS |
| Vulpin | MS-S | S(S) | S (S) | S |
| Pâturin annuel | MS - S | S | SS | S |
| Folle avoine | AR | MS - S | S | MS |
| **Dicotylées annuelles** | | | | |
| Amarante | S(S) | MS-S | S | S(S) |
| Arroche étalée | SS | MS | MS - S | MS |
| Betterave sauvage | SS | MS-S | SS | - |
| Capselle | SS | MS | SS | S |
| Chénopode blanc | SS | MS | MS - S | MS |
| Coquelicot | MS | MS | - | - |
| Fumeterre | SS | S | SS | SS |
| Gaillet gratteron | S | MS | S | S |
| Géranium | MS | MS | S | - |
| Lamier | SS | S | SS | SS |
| Matricaire camomille | S | S | S | S |
| Mercuriale | S | MS | S | S |
| Morelle noire | SS | S | SS | S |
| Mouron | SS | S | S(S) | S |
| Pensée des champs | S | MS | S | MS |
| Renouée des oiseaux | S | MS | S | MS |
| Renouée faux-liseron | S | MS-S | S | MS-S |
| Renouée persicaire | SS | S | SS | SS |
| Repousse de colza | S | AR | SS | - |
| Sené, Ravenelle | SS | MS | SS | MS |
| Séneçon | S(S) | MS-S | S | S |
| Véronique | SS | S (S) | SS | SS |
| Sélectivité | ++(+) | +++ | ++(+) | ++ |

SS = Sensible, S = Assez Sensible, MS = Peu Sensible, AR = Assez Résistant, R = Résistant, - = pas d'info disponible

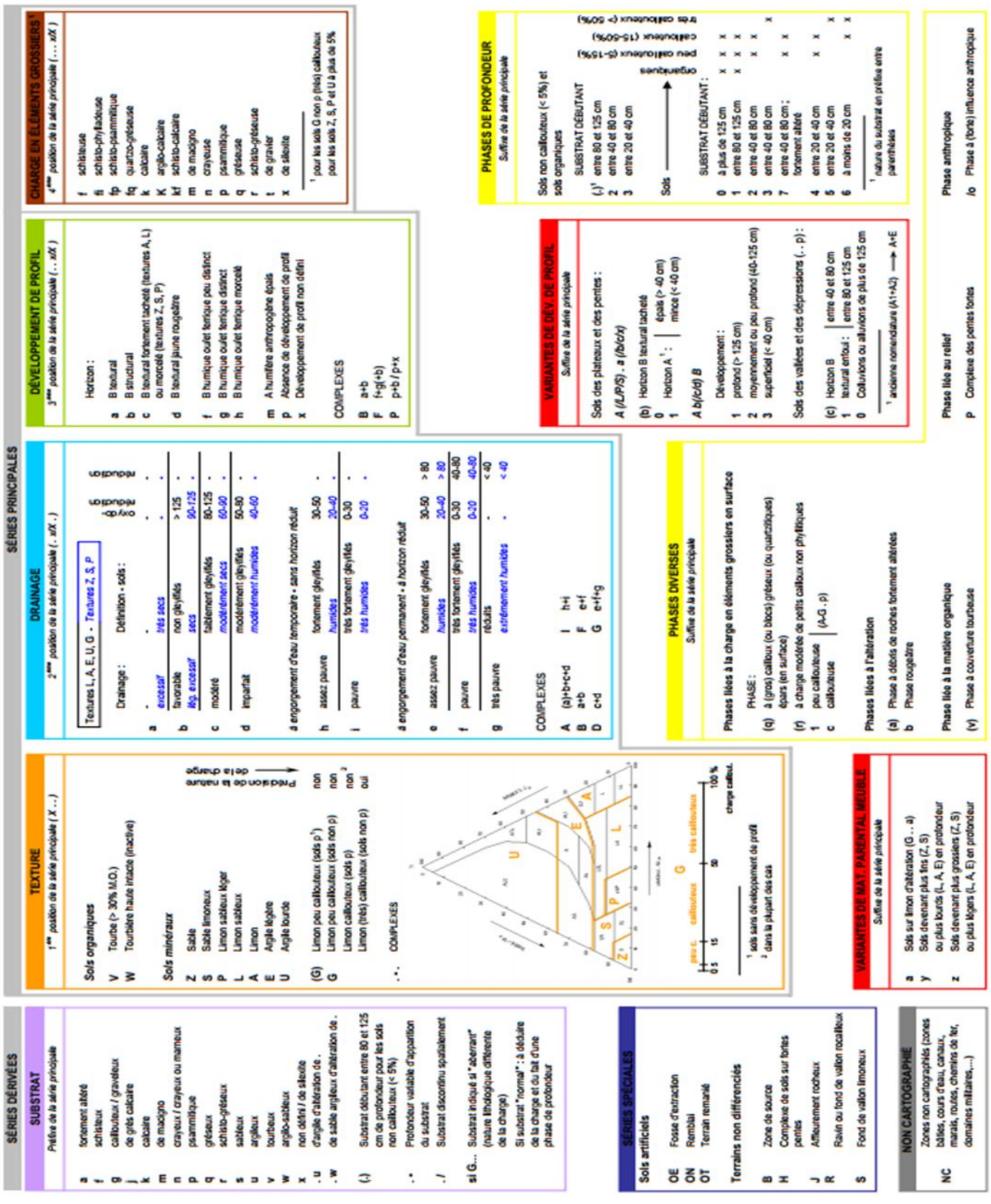
(1) efficacité par rémanence

| Postémergence sans terbuthylazine | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Matière active et stade d'application | sulcotrione 2 à 6 F | mésotrione 2 à 6 F | tembotrione + isoxadifen-éthyl 2 à 8 F | tembotrione + isoxadifen-éthyl + thiencarbazone 2 à 6 F | nicosulfuron 2 à 6 F | foramsulfuron + thiencarbazone + cyprosulfamide 2 à 8 F |
| Produit commercial | Zeus, Sulcogan | Callisto, Osorno | Laudis | Capreno | Samson extra 60 OD 0, 5 l | Monsoon active |
| Dosage/ha | 1 l | 1 l | 2,25 l | 0,2 l | Accent 40 gr | 0,75 à 1,5 l |
| **Graminées annuelles** | | | | | | |
| Panic pied de coq | MS - S | MS - S | SS | SS | SS | SS |
| Panic dichotome | R | R | SS | - | AR | AR |
| Panic schinzii | R | R | SS | - | MR | MS |
| Sétaire verticillée | R | R | SS | SS | SS | SS |
| Digitaire filiforme | AR | AR | S(S) | S | R | R |
| Digitaire sanguine | MS | MS | SS | - | MS | R |
| Ray grass | AR | AR | S | S | SS | SS |
| Vulpin | R | R | S | - | SS | SS |
| Pâturin annuel | R | AR | MS | - | SS | SS |
| Folle avoine | R | R | R | - | SS | SS |
| **Dicotylées annuelles** | | | | | | |
| Amarante | MS | S | S | SS | SS | MS-S |
| Arroche étalée | S | S (S) | SS | S | R | MS-S |
| Betterave sauvage | SS | SS | SS | - | SS | - |
| Capselle | SS | SS | SS | SS | SS | SS |
| Chénopode blanc | SS | SS | SS | S | MS | MS-S |
| Coquelicot | R | R | AR | - | - | - |
| Fumeterre | S(S) | SS | AR | AR | MS | R |
| Gaillet gratteron | MS - S | MS - S | MS | - | S | MS-S |
| Géranium | R | R | R | - | - | MS-S |
| Lamier | SS | SS | SS | SS | S | MS-S |
| Matricaire camomille | MS | MS | MS-S | S | R | SS |
| Mercuriale | AR | MS | MS-S | SS | MS - S | MS |
| Morelle noire | SS | SS | SS | S | MS | MS-S |
| Mouron | S | S | S | S | SS | SS |
| Pensée des champs | S | MS - S | MS | S | AR | AR-MS |
| Renouée des oiseaux | MS | MS - S | S | SS | R | SS |
| Renouée faux-liseron | S | S | MS | S | MS | S |
| Renouée persicaire | SS | SS | SS | SS | S | SS |
| Repousse de colza | MS | S | S(S) | - | SS | SS |
| Sené, Ravenelle | MS - S | S | SS | - | SS | SS |
| Séneçon | S | S | S | S | S | SS |
| Véronique | S | SS | R | R | R | R |
| Sélectivité | +++ | ++(+) | +++ | +++ | ++(+) | ++(+) |

SS = Sensible, S = Assez Sensible, MS = Peu Sensible, AR = Assez Résistant, R = Résistant, - = pas d'info disponible

Source : (CIPF and Centre pilote maïs 2017)

## Annexe 4 : Légende de la carte des sols de Wallonie



## Annexe 5 : Tableau reprenant les données de biomasses des couverts de légumineuses.

Biomasse aérienne des couverts prélevés Le 19/09/17

# SEC

Bloc1

| Objet / rép. | Rep1 (g) | Rep2 (g) | Moy (g) | msac (g) | Moy-msac (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| Mélange réglage 10 | 8,5 | 11,6 | 10,05 | 4,9 | 5,15 |
| Mélange réglage 9 | 13,2 | 21,2 | 17,2 | 4,9 | 12,3 |
| Trèfle Huia phyto | 33,8 | 21,7 | 27,75 | 4,9 | 22,85 |
| Trèfle blanc Rivendel | 27,7 | 34 | 30,85 | 4,9 | 25,95 |
| Trèfle d'alexandrie | 10,6 | 9,2 | 9,9 | 4,9 | 5 |
| Lotier | 17,6 | 20,8 | 19,2 | 4,9 | 14,3 |
| Trèfle Huia méca | 50,2 | 49,3 | 49,75 | 4,9 | 44,85 |

Bloc2

| Objet / rép. | Rep1 (g) | Rep2 (g) | Moy (g) | msac (g) | Moy-msac (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| Mélange réglage 10 | 13,1 | 15,7 | 14,4 | 4,9 | 9,5 |
| Mélange réglage 9 | 13,6 | 24,5 | 19,05 | 4,9 | 14,15 |
| Trèfle Huia phyto | 35,5 | 25,2 | 30,35 | 4,9 | 25,45 |
| Trèfle blanc Rivendel | 35,9 | 35,6 | 35,75 | 4,9 | 30,85 |
| Trèfle d'alexandrie | 10 | 11,3 | 10,65 | 4,9 | 5,75 |
| Lotier | 21,4 | 18,8 | 20,1 | 4,9 | 15,2 |
| Trèfle Huia méca | 38,6 | 37 | 37,8 | 4,9 | 32,9 |

Bloc3

| Objet / rép. | Rep1 (g) | Rep2 (g) | Moy (g) | msac (g) | Moy-msac (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| Mélange réglage 10 | 21,6 | 22,7 | 22,15 | 4,9 | 17,25 |
| Mélange réglage 9 | 19,2 | 22,4 | 20,8 | 4,9 | 15,9 |
| Trèfle Huia phyto | 38,2 | 38,8 | 38,5 | 4,9 | 33,6 |
| Trèfle blanc Rivendel | 47 | 31,1 | 39,05 | 4,9 | 34,15 |
| Trèfle d'alexandrie | 7,7 | 7,8 | 7,75 | 4,9 | 2,85 |
| Lotier | 21,6 | 21 | 21,3 | 4,9 | 16,4 |
| Trèfle Huia méca | 50,4 | 42,3 | 46,35 | 4,9 | 41,45 |

Bloc4

| Objet / rép. | Rep1 (g) | Rep2 (g) | Moy (g) | msac (g) | Moy-msac (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| Mélange réglage 10 | 31,3 | 30,1 | 30,7 | 4,9 | 25,8 |
| Mélange réglage 9 | 12,9 | 14,7 | 13,8 | 4,9 | 8,9 |
| Trèfle Huia phyto | 26,6 | 27,6 | 27,1 | 4,9 | 22,2 |
| Trèfle blanc Rivendel | 37,1 | 41,2 | 39,15 | 4,9 | 34,25 |
| Trèfle d'alexandrie | 20,2 | 16,5 | 18,35 | 4,9 | 13,45 |
| Lotier | 28,2 | 19,9 | 24,05 | 4,9 | 19,15 |
| Trèfle Huia méca | 49,8 | 35,9 | 42,85 | 4,9 | 37,95 |

Biomasse aérienne des couverts prélevés Le 17/10/17

Placé à plat à l'étuve minimum 3 jours à 70 °c
Enlever l'étiquette en papier avant de peser

| Poids sac vide | 2,85 |
|---|---|

| Modalités | Répétitions | Poids humide (en g) | Poids sec (en g) |
|---|---|---|---|
| Trèfle Huia P | Rep1 | 284,84 | 39,68 |
| | Rep2 | 394,5 | 57,56 |
| | Rep3 | 469,92 | 56,37 |
| | Rep4 | 331,91 | 46,61 |
| Trèfle Huia M | Rep1 | 231,91 | 35,22 |
| | Rep2 | 586,66 | 70,36 |
| | Rep3 | 366,55 | 61,11 |
| | Rep4 | 444,46 | 56,03 |
| Trèfle Riv | Rep1 | 338,71 | 49,58 |
| | Rep2 | 335,46 | 51,6 |
| | Rep3 | 294,91 | 46,88 |
| | Rep4 | 368,87 | 53,71 |
| Mélange 10 | / | 265,55 | 59,33 |

# Annexe 6 : Résultat des biomasses sèches du maïs ensilage

| | | | Poids ensileuse | Poids parcelle | Échantillon Pds Frais | Échantillon Pds sec | % MS | Rdt Frais | Rdt Sec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mélange 10 | A | 1 | 118,8 | 119,5 | 690,3 | 267,4 | 38,2 | 49,786 | 19,041 |
| Mélange 10 | B | 2 | 117,2 | 117,9 | 694,6 | 242,1 | 34,3 | 52,396 | 17,990 |
| Mélange 10 | C | 3 | 115,2 | 116,1 | 949,2 | 354,0 | 36,9 | 48,394 | 17,872 |
| Mélange 10 | D | 4 | 112,2 | 113,0 | 818,2 | 308,8 | 37,3 | 47,090 | 17,574 |
| T. HUIA | D | 5 | 121,0 | 121,9 | 928,9 | 353,6 | 37,7 | 50,802 | 19,151 |
| Témoin | C | 6 | 125,8 | 126,7 | 872,8 | 325,0 | 36,8 | 52,779 | 19,443 |
| T. HUIA | B | 7 | 113,4 | 114,4 | 984,8 | 368,3 | 37,0 | 50,836 | 18,833 |
| Témoin | A | 8 | 115,0 | 115,7 | 666,1 | 254,9 | 37,8 | 48,193 | 18,195 |
| Mélange 9 | A | 9 | 108,6 | 109,3 | 741,7 | 293,7 | 39,1 | 45,558 | 17,835 |
| Mélange 9 | B | 10 | 102,4 | 103,1 | 713,4 | 268,9 | 37,2 | 45,827 | 17,052 |
| Mélange 9 | C | 11 | 106,6 | 107,2 | 587,0 | 223,6 | 37,5 | 44,660 | 16,750 |
| Mélange 9 | D | 12 | 106,4 | 107,2 | 771,8 | 290,1 | 37,1 | 44,654 | 16,584 |
| Témoin | D | 13 | 116,2 | 116,8 | 612,8 | 233,9 | 37,6 | 48,671 | 18,305 |
| T. HUIA | C | 14 | 115,0 | 115,8 | 839,5 | 311,4 | 36,7 | 48,265 | 17,703 |
| Témoin | B | 15 | 100,6 | 101,2 | 647,1 | 245,4 | 37,4 | 44,998 | 16,825 |
| T. HUIA | A | 16 | 116,4 | 117,2 | 773,2 | 311,8 | 39,9 | 48,821 | 19,479 |
| T. HUIA | A | 17 | 104,2 | 105,0 | 753,1 | 297,1 | 39,0 | 43,729 | 17,057 |
| TA | B | 18 | 107,2 | 108,0 | 798,6 | 283,4 | 35,0 | 47,998 | 16,818 |
| TB | C | 19 | 108,4 | 109,2 | 806,1 | 306,2 | 37,6 | 45,501 | 17,090 |
| Lotier | D | 20 | 113,6 | 114,4 | 804,9 | 315,2 | 38,7 | 47,668 | 18,467 |
| T. HUIA | D | 21 | 117,6 | 118,4 | 832,7 | 306,9 | 36,4 | 49,346 | 17,980 |
| TA | C | 22 | 115,6 | 116,5 | 855,4 | 325,8 | 37,7 | 48,522 | 18,286 |
| TB | B | 23 | 104,4 | 105,2 | 813,5 | 305,4 | 37,1 | 46,760 | 17,356 |
| Lotier | A | 24 | 117,0 | 117,6 | 626,7 | 235,4 | 37,0 | 49,010 | 18,138 |
| TB | A | 25 | 112,2 | 113,0 | 832,7 | 327,6 | 38,9 | 47,096 | 18,338 |
| T. HUIA | B | 26 | 108,4 | 109,2 | 793,1 | 277,8 | 34,6 | 48,529 | 16,778 |
| Lotier | C | 27 | 120,8 | 121,7 | 866,8 | 302,1 | 34,4 | 50,693 | 17,457 |
| TA | D | 28 | 120,2 | 121,0 | 777,8 | 274,0 | 34,8 | 50,406 | 17,524 |
| TB | D | 29 | 115,0 | 115,8 | 757,3 | 303,6 | 39,7 | 48,231 | 19,124 |
| T. HUIA | C | 30 | 115,4 | 116,4 | 968,3 | 394,3 | 40,4 | 48,486 | 19,580 |
| Lotier | B | 31 | 105,6 | 106,5 | 854,5 | 319,7 | 37,0 | 47,312 | 17,509 |
| TA | A | 32 | 110,0 | 110,7 | 693,6 | 250,9 | 35,7 | 46,121 | 16,448 |

## Annexe 7 : Bulletin d'analyse des prélèvements

CENTRE PROVINCIAL DE L'AGRICULTURE ET DE LA RURALITE

Rue Saint-Nicolas, 17 B-1310 La Hulpe
Tél: 02/656 09 70 - Fax: 02/652 03 06
Membre de REQUASUD

Le Brabant wallon

Greenotec asbl
Route de Wallonie 4
7000 Mons

**BULLETIN D'ANALYSE DE L'AZOTE DANS LE PROFIL DE TERRE** (BA N° N17/1884 - N17/1907)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Date d'échantillonnage | 20/09/17 | Echantillonneur | Le demandeur | N° d'analyses: | De N17/1884 à N17/1907 |
| Date de réception: | 20/09/17 | | | N° de profils: | De P17/0820 à P17/0827 |
| Date d'envoi: | 3/10/17 | | | Conteneur: | Sachets plastiques |
| Dates d'analyses: | Du 20/09/17 au 3/10/17 | | | | |

**Tableau des résultats.**

L'échantillonnage n'est pas réalisé sous couvert de l'accréditation BELAC.
Méthodes d'échantillonnage et d'analyses en page 3
L'incertitude de mesure sur les résultats d'analyses accréditées peut être obtenue sur simple demande.

| N° d'analyse / Horizon | pH_KCl 1N | Carbone organique g/kg | Humus % | Azote total g/100 gr de terre sèche. | Matière sèche % | Azote nitrique mg N-NO3/l | Azote nitrique kg N-NO3/Ha | Azote ammoniacal mg N-NH4/l | Azote ammoniacal kg N-NH4/Ha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nom de la parcelle:** C XXX Témoin | | | | | | **Etat des échantillons à la réception:** Bons | | | |
| | | | | | | **Mode de prélèvement:** | | **N° de profil:** P17/0820 | |
| N17/1884 *0-30 cm* | 6,4 | 8 | 1,6 | 0,09 | 77 | 0,66 | 18 | | |
| N17/1885 *30-60 cm* | | | | | 84 | 0,30 | 8 | | |
| N17/1886 *60-90 cm* | | | | | 87 | 0,19 | 5 | | |
| **Nom de la parcelle:** C XXX T. HUIA M | | | | | | **Etat des échantillons à la réception:** Bons | | | |
| | | | | | | **Mode de prélèvement:** | | **N° de profil:** P17/0821 | |
| N17/1887 *0-30 cm* | 6,3 | 9 | 1,8 | 0,10 | 83 | 0,37 | 9 | | |
| N17/1888 *30-60 cm* | | | | | 88 | 0,31 | 8 | | |
| N17/1889 *60-90 cm* | | | | | 86 | 0,21 | 6 | | |
| **Nom de la parcelle:** C XXX TB HUIN P | | | | | | **Etat des échantillons à la réception:** Bons | | | |
| | | | | | | **Mode de prélèvement:** | | **N° de profil:** P17/0822 | |
| N17/1890 *0-30 cm* | 6,2 | 9 | 1,8 | 0,10 | 75 | 0,72 | 21 | | |
| N17/1891 *30-60 cm* | | | | | 84 | 0,34 | 9 | | |
| N17/1892 *60-90 cm* | | | | | 87 | 0,20 | 5 | | |

BELAC N° 280-TEST
Méthode accréditée BELAC.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis aux analyses. Ce rapport doit être reproduit dans son intégralité.

(BA N° N17/1884 - N17/1907)

Greenotec asbl
Route de Wallonie 4
7000 Mons

| N° d'analyse<br>*Horizon* | pH_KCl<br>1N | Carbone organique<br>g/kg | Humus<br>% | Azote total<br>g/100 gr de terre sèche | Matière sèche<br>% | Azote nitrique<br>mg N-NO3/l | Azote nitrique<br>kg N-NO3/Ha | Azote ammoniacal<br>mg N-NH4/l | Azote ammoniacal<br>kg N-NH4/Ha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nom de la parcelle:** C XXX TB RIU | | | | | | | | **Etat des échantillons à la réception:** Bons | |
| | | | | | **Mode de prélèvement:** | | | **N° de profil:** P17/0823 | |
| N17/1893 *0-30 cm* | 6,1 | 8 | 1,7 | 0,10 | 80 | 0,30 | 8 | | |
| N17/1894 *30-60 cm* | | | | | 86 | 0,27 | 7 | | |
| N17/1895 *60-90 cm* | | | | | 87 | 0,17 | 4 | | |
| **Nom de la parcelle:** C XXX Maïs x 9 | | | | | | | | **Etat des échantillons à la réception:** Bons | |
| | | | | | **Mode de prélèvement:** | | | **N° de profil:** P17/0824 | |
| N17/1896 *0-30 cm* | 6,2 | 9 | 1,8 | 0,10 | 79 | 0,83 | 22 | | |
| N17/1897 *30-60 cm* | | | | | 81 | 0,25 | 7 | | |
| N17/1898 *60-90 cm* | | | | | 85 | 0,14 | 4 | | |
| **Nom de la parcelle:** C XXX Maïs + 10 | | | | | | | | **Etat des échantillons à la réception:** Bons | |
| | | | | | **Mode de prélèvement:** | | | **N° de profil:** P17/0825 | |
| N17/1899 *0-30 cm* | 6,2 | 8 | 1,6 | 0,09 | 83 | 0,31 | 8 | | |
| N17/1900 *30-60 cm* | | | | | 87 | 0,11 | 3 | | |
| N17/1901 *60-90 cm* | | | | | 88 | 0,11 | 3 | | |
| **Nom de la parcelle:** C XXX TA | | | | | | | | **Etat des échantillons à la réception:** Bons | |
| | | | | | **Mode de prélèvement:** | | | **N° de profil:** P17/0826 | |
| N17/1902 *0-30 cm* | 6,2 | 8 | 1,6 | 0,09 | 84 | 0,50 | 12 | | |
| N17/1903 *30-60 cm* | | | | | 81 | 0,22 | 6 | | |
| N17/1904 *60-90 cm* | | | | | 88 | 0,19 | 5 | | |
| **Nom de la parcelle:** C XXX Lotier | | | | | | | | **Etat des échantillons à la réception:** Bons | |
| | | | | | **Mode de prélèvement:** | | | **N° de profil:** P17/0827 | |
| N17/1905 *0-30 cm* | 6,2 | 8 | 1,6 | 0,09 | 81 | 0,36 | 9 | | |
| N17/1906 *30-60 cm* | | | | | 80 | 0,16 | 5 | | |
| N17/1907 *60-90 cm* | | | | | 85 | 0,14 | 4 | | |

BELAC ▸ Méthode accréditée BELAC.
N° 280-TEST

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis aux analyses. Ce rapport doit être reproduit dans son intégralité.

# Annexe 8 : Tableaux reprenant les comptages d'adventices

| Surface | Stade | Date | Modalité | Répétition | Chénopode Blanc | Morelles noir | Laiteron | Mouron | Senecon | Géranium | Graminée | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2*0,75 = 1,5m² | BBCH 71-75 | 14/08/2017 | Mélange réglage 10 | rep1 | 7 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38 |
| | | | | rep2 | 2 | 12 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 28 |
| | | | | rep3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| | | | | rep4 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| | | | | moy 1,5m² | 4,25 | 8,38 | 0,38 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 26,5 |
| | | | | Moy 1m² | 2,83 | 5,58 | 0,25 | 0,00 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 17,67 |
| | | | Mélange réglage 9 | rep1 | 6 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 18 |
| | | | | rep2 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| | | | | rep3 | 5 | 5 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 19 |
| | | | | rep4 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| | | | | moy 1,5m² | 3,50 | 3,75 | 0,88 | 0,13 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 17 |
| | | | | Moy 1m² | 2,33 | 2,50 | 0,58 | 0,08 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 11,33 |
| | | | Trèfle Huia phyto | rep1 | 4 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| | | | | rep2 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| | | | | rep3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | | | | rep4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 16 |
| | | | | moy 1,5m² | 4,625 | 2,125 | 0,5 | 0 | 0,125 | 0 | 0 | 14,75 |
| | | | | Moy 1m² | 3,08 | 1,42 | 0,33 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 9,83 |
| | | | Trèfle blanc | rep1 | 5 | 4 | 2 | 3 | 0 | 1 | 0 | 32 |
| | | | | rep2 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 | 25 |
| | | | | rep3 | 4 | 3 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 | 23 |
| | | | | rep4 | 0 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| | | | | moy 1,5m² | 3,5 | 3,625 | 1,125 | 1,875 | 0,5 | 1,125 | 0 | 23,5 |
| | | | | Moy 1m² | 2,33 | 2,42 | 0,75 | 1,25 | 0,33 | 0,75 | 0,00 | 15,67 |
| | | | Trèfle d'alexandrie | rep1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 22 |
| | | | | rep2 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| | | | | rep3 | 2 | 3 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 19 |
| | | | | rep4 | 7 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| | | | | moy 1,5m² | 4,5 | 2,5 | 1 | 0,75 | 0,25 | 0 | 0 | 18 |
| | | | | Moy 1m² | 3,00 | 1,67 | 0,67 | 0,50 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 12,00 |
| | | | Lotier | rep1 | 9 | 3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 31 |
| | | | | rep2 | 4 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 16 |
| | | | | rep3 | 6 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 20 |
| | | | | rep4 | 6 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| | | | | moy 1,5m² | 5,5 | 2,5 | 1 | 0,5 | 1,125 | 0 | 0,25 | 21,75 |
| | | | | Moy 1m² | 3,67 | 1,67 | 0,67 | 0,33 | 0,75 | 0,00 | 0,17 | 14,50 |
| | | | Trèfle Huia méca | rep1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 10 |
| | | | | rep2 | 4 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 24 |
| | | | | rep3 | 7 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| | | | | rep4 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| | | | | moy 1,5m² | 5 | 4,75 | 0,25 | 0 | 0,375 | 0 | 0 | 20,75 |
| | | | | Moy 1m² | 3,33 | 3,17 | 0,17 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 13,83 |
| | | | Témoin | rep1 | 28 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66 |
| | | | | rep2 | 7 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| | | | | rep3 | 5 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 |
| | | | | rep4 | 9 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 25 |
| | | | | moy 1,5m² | 11,875 | 5,75 | 0,75 | 0 | 0,125 | 0 | 0 | 37 |
| | | | | Moy 1m² | 7,92 | 3,83 | 0,50 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 24,67 |

| Date | Modalité | Répétition | Chénopode Blanc | | Morelles noir | | Laiteron | | Mouron | | Seneçon | | Géranium | | Graminée | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19/09/2017 | Mélange réglage 10 | rep1 | 4 | 1 | 10 | 7 | 2 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| | | rep2 | 1 | 0 | 7 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 |
| | | rep3 | 3 | 4 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| | | rep4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 |
| | | moy 1,5m² | 2,13 | | 5,88 | | 0,50 | | 0,38 | | 0,38 | | 0,00 | | 0,13 | | 9,38 |
| | | Moy 1m² | 1,42 | | 3,92 | | 0,33 | | 0,25 | | 0,25 | | 0,00 | | 0,08 | | 6,25 |
| | Mélange réglage 9 | rep1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | | rep2 | 4 | 0 | 9 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| | | rep3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| | | rep4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | | moy 1,5m² | 2,25 | | 4,25 | | 0,13 | | 0,50 | | 0,50 | | 0,00 | | 0,00 | | 7,63 |
| | | Moy 1m² | 1,50 | | 2,83 | | 0,08 | | 0,33 | | 0,33 | | 0,00 | | 0,00 | | 5,08 |
| | Trèfle Huia phyto | rep1 | 3 | 8 | 4 | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 |
| | | rep2 | 6 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| | | rep3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | | rep4 | 4 | 6 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| | | moy 1,5m² | 3,75 | | 2,875 | | 0,75 | | 0 | | 0,125 | | 0 | | 0 | | 7,5 |
| | | Moy 1m² | 2,50 | | 1,92 | | 0,50 | | 0,00 | | 0,08 | | 0,00 | | 0,00 | | 5 |
| | Trèfle blanc | rep1 | 5 | 4 | 5 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 27 |
| | | rep2 | 5 | 3 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 25 |
| | | rep3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 27 |
| | | rep4 | 0 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 15 |
| | | moy 1,5m² | 3,625 | | 3,25 | | 0,875 | | 0,875 | | 0 | | 3,125 | | 0 | | 11,75 |
| | | Moy 1m² | 2,42 | | 2,17 | | 0,58 | | 0,58 | | 0,00 | | 2,08 | | 0,00 | | 7,83 |
| | Trèfle d'alexandrie | rep1 | 3 | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| | | rep2 | 5 | 5 | 6 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| | | rep3 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| | | rep4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| | | moy 1,5m² | 4,25 | | 3,375 | | 1 | | 1,125 | | 1,125 | | 0 | | 0 | | 10,88 |
| | | Moy 1m² | 2,83 | | 2,25 | | 0,67 | | 0,75 | | 0,75 | | 0,00 | | 0,00 | | 7,25 |
| | Lotier | rep1 | 8 | 15 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| | | rep2 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| | | rep3 | 6 | 5 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 |
| | | rep4 | 5 | 4 | 3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| | | moy 1,5m² | 6,25 | | 2,75 | | 0,625 | | 0 | | 0,125 | | 0 | | 0,125 | | 9,875 |
| | | Moy 1m² | 4,17 | | 1,83 | | 0,42 | | 0,00 | | 0,08 | | 0,00 | | 0,08 | | 6,58 |
| | Trèfle Huia méca | rep1 | 4 | 4 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | | rep2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| | | rep3 | 1 | 2 | 8 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 |
| | | rep4 | 3 | 3 | 4 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| | | moy 1,5m² | 2,75 | | 4,625 | | 0,125 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 7,5 |
| | | Moy 1m² | 1,83 | | 3,08 | | 0,08 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 5 |
| | Témoin | rep1 | 17 | 11 | 9 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 47 |
| | | rep2 | 13 | 6 | 10 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 |
| | | rep3 | 6 | 5 | 9 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| | | rep4 | 7 | 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| | | moy 1,5m² | 9,25 | | 5,125 | | 0,5 | | 1,375 | | 0,625 | | 0 | | 0 | | 16,88 |
| | | Moy 1m² | 6,17 | | 3,42 | | 0,33 | | 0,92 | | 0,42 | | 0,00 | | 0,00 | | 11,25 |

## Annexe 9 : Tableau reprenant l'analyse de la qualité de l'ensilage

| Référence | Ref Greenote | MS | MPT | PBD | VEM | VEVI | AMIDON |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vieusart 2017 | 1N8 | 96,29 | 6,29 | 22,37 | 1003,69 | 1066,05 | 38,37 |
| Vieusart 2017 | 2N8 | 96,12 | 6,1 | 20,46 | 965,66 | 1014,32 | 37,04 |
| Vieusart 2017 | 3N8 | 95,73 | 5,74 | 16,9 | 973,97 | 1025,43 | 32,47 |
| Vieusart 2017 | 4N8 | 94,36 | 6,34 | 22,72 | 983,45 | 1037,04 | 35,09 |
| | | 95,625 | 6,1175 | 20,6125 | 981,6925 | 1035,71 | 35,7425 |
| Vieusart 2017 | 1N7 | 94,52 | 6,17 | 21,08 | 975,43 | 1026,76 | 36,59 |
| Vieusart 2017 | 2N7 | 94,25 | 5,96 | 19 | 920,79 | 952,81 | 27,72 |
| Vieusart 2017 | 3N7 | 94,63 | 5,64 | 15,81 | 941,03 | 980,17 | 32,39 |
| Vieusart 2017 | 4N7 | 94,54 | 6,1 | 20,33 | 956,84 | 1001,83 | 32,61 |
| | | 94,485 | 5,9675 | 19,055 | 948,5225 | 990,3925 | 32,3275 |
| Vieusart 2017 | 1N5 | 94,54 | 6,57 | 24,96 | 989,39 | 1045,44 | 36,7 |
| Vieusart 2017 | 4N5 | 94,47 | 6,12 | 20,65 | 935,57 | 973,15 | 26,68 |
| Vieusart 2017 | 2N5 | 95,26 | 5,72 | 16,88 | 950,85 | 994,35 | 25,07 |
| Vieusart 2017 | 3N5 | 94,87 | 5,54 | 14,79 | 997,7 | 1055,96 | 34,06 |
| | | 94,785 | 5,9875 | 19,32 | 968,3775 | 1017,225 | 30,6275 |
| Vieusart 2017 | 3N2 | 93,85 | 6,24 | 21,69 | 956,49 | 1001,3 | 36,3 |
| Vieusart 2017 | 2N2 | 94,54 | 6,16 | 20,94 | 999,94 | 1059,96 | 35,37 |
| Vieusart 2017 | 1N2 | 94,97 | 5,9 | 18,44 | 999,71 | 1059,01 | 34,03 |
| Vieusart 2017 | 4N2 | 95,48 | 6,48 | 23,93 | 988,37 | 1042,52 | 33,74 |
| | | 94,71 | 6,195 | 21,25 | 986,1275 | 1040,6975 | 34,86 |
| Vieusart 2017 | 1N3 | 94,79 | 5,7 | 16,44 | 964,46 | 1011,56 | 30,74 |
| Vieusart 2017 | 2N3 | 94,04 | 5,99 | 19,58 | 908,95 | 939,05 | 24,55 |
| Vieusart 2017 | 3N3 | 94,74 | 5,82 | 17,57 | 1015,38 | 1080,15 | 38,09 |
| Vieusart 2017 | 4N3 | 95,17 | 5,88 | 18,32 | 950,45 | 992,99 | 27,53 |
| | | 94,685 | 5,8475 | 17,9775 | 959,81 | 1005,9375 | 30,2275 |
| Vieusart 2017 | 4N4 | 94 | 6,29 | 22,18 | 1005,39 | 1067,06 | 40,01 |
| Vieusart 2017 | 1N4 | 94,59 | 6,31 | 22,44 | 967,1 | 1015,65 | 33,4 |
| Vieusart 2017 | 3N4 | 95,11 | 5,41 | 13,66 | 947,09 | 988,71 | 27,18 |
| Vieusart 2017 | 2N4 | 94,2 | 5,66 | 16,08 | 943,92 | 983,9 | 29,64 |
| | | 94,475 | 5,9175 | 18,59 | 965,875 | 1013,83 | 32,5575 |
| Vieusart 2017 | 4N6 | 94,59 | 6,26 | 21,99 | 971,55 | 1020,66 | 30,91 |
| Vieusart 2017 | 2N6 | 95,14 | 6,51 | 24,6 | 992,02 | 1049,58 | 31,53 |
| Vieusart 2017 | 3N6 | 94,76 | 5,75 | 17,11 | 923,21 | 957,28 | 28,42 |
| Vieusart 2017 | 1N6 | 94,79 | 5,71 | 16,56 | 962,47 | 1009,78 | 33,03 |
| | | 94,82 | 6,0575 | 20,065 | 962,3125 | 1009,325 | 30,9725 |
| Vieusart 2017 | 3N1 | 95,03 | 6,15 | 21,08 | 920,96 | 955,04 | 27,61 |
| Vieusart 2017 | 1N1 | 94,55 | 6,48 | 24,34 | 939,62 | 979,63 | 29,31 |
| Vieusart 2017 | 4N1 | 95 | 6,08 | 20,2 | 962,69 | 1009,9 | 32,06 |
| Vieusart 2017 | 2N1 | 93,97 | 5,83 | 17,98 | 912,4 | 943,85 | 29,99 |
| | | 94,6375 | 6,135 | 20,9 | 933,9175 | 972,105 | 29,7425 |