

**Faculté des bioingénieurs**

# **Impact du strip-till et des sous-semis de trèfle blanc et de fétuque rouge en culture de maïs sur le ruissellement, l'érosion, le transfert de pesticides et les propriétés physiques du sol**

Auteur : Orane Boswell

Promoteur : Prof. Charles Biielders (UCL)

Co-promoteur : Timothée Clément (UCL)

Lecteurs : Prof. Aurore Degré (ULG)

Prof. Pierre Bertin (UCL)

Année académique 2021-2022

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement



Je tiens tout d'abord à remercier mon promoteur, Charles Biolders, de m'avoir laissé l'opportunité de travailler sur ce mémoire, ainsi que pour son encadrement tout au long de ce travail.

Je remercie également Timothée Clément pour son suivi tout au long de l'année et son aide précieuse pour la réalisation des mesures de terrain.

Merci également à Martin Zanutel pour son aide dans le cadre des mesures de stabilité structurale.

Enfin, merci à mes amis et à ma famille de m'avoir soutenue tout au long de l'accomplissement de ce travail.



## Table des matières

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table des matières .....                                                               | i   |
| Liste des figures .....                                                                | iii |
| Liste des tableaux .....                                                               | v   |
| 1. Introduction .....                                                                  | 1   |
| 2. Etat de l'art .....                                                                 | 3   |
| 2.1 L'érosion.....                                                                     | 3   |
| 2.1.1 Définition .....                                                                 | 3   |
| 2.1.2 Ordres de grandeur.....                                                          | 4   |
| 2.1.3 Causes de l'érosion .....                                                        | 4   |
| 2.1.3.1 Erosivité de la pluie.....                                                     | 4   |
| 2.1.3.2 Erodibilité du sol .....                                                       | 4   |
| 2.1.3.3 Topographie .....                                                              | 5   |
| 2.1.3.4 Couverture du sol .....                                                        | 5   |
| 2.1.3.5 Travail du sol.....                                                            | 5   |
| 2.1.4 Conséquences de l'érosion.....                                                   | 5   |
| 2.1.4.1 Conséquences sur site.....                                                     | 5   |
| 2.1.4.2 Conséquences hors site.....                                                    | 6   |
| 2.2 La culture de maïs en Wallonie .....                                               | 7   |
| 2.3 Techniques de conservation.....                                                    | 8   |
| 2.3.1 Principes.....                                                                   | 8   |
| 2.3.2 Méthodes.....                                                                    | 8   |
| 2.3.3 Focus sur la technique du strip-till.....                                        | 9   |
| 2.3.3.1 Avantages et inconvénients .....                                               | 10  |
| 2.3.3.2 Impact sur les propriétés physiques du sol, le ruissellement et l'érosion..... | 11  |
| 2.3.4 Focus sur la technique du sous-semis .....                                       | 12  |
| 2.3.4.1 Avantages et inconvénients .....                                               | 15  |
| 2.3.4.2 Impact sur les propriétés physiques du sol, le ruissellement et l'érosion..... | 15  |
| 3. Objectifs .....                                                                     | 19  |
| 4. Matériels et méthodes.....                                                          | 20  |
| 4.1 Site de l'étude .....                                                              | 20  |
| 4.2 Description de l'essai.....                                                        | 20  |
| 4.2.1 Plan de l'essai .....                                                            | 21  |
| 4.2.2 Itinéraire technique .....                                                       | 22  |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Mesures.....                                                              | 23 |
| 4.3.1 Mesures de précipitation .....                                          | 23 |
| 4.3.2 Mesures de ruissellement, d'érosion et de transfert de pesticides ..... | 23 |
| 4.3.3 Mesures d'infiltration.....                                             | 26 |
| 4.3.4 Mesures de stabilité structurale.....                                   | 28 |
| 4.3.5 Mesures de pourcentage de couverture végétale.....                      | 29 |
| 4.3.6 Mesures de biomasse .....                                               | 29 |
| 4.3.7 Planning complet des mesures réalisées .....                            | 30 |
| 4.4 Analyse des données.....                                                  | 30 |
| 5. Résultats et discussion.....                                               | 32 |
| 5.1 Précipitations .....                                                      | 32 |
| 5.2 Ruissellement.....                                                        | 34 |
| 5.2.1 Saison de culture du maïs .....                                         | 34 |
| 5.2.2 Période d'interculture.....                                             | 40 |
| 5.3 Erosion.....                                                              | 43 |
| 5.3.1 Saison de culture du maïs .....                                         | 43 |
| 5.3.2 Période d'interculture.....                                             | 46 |
| 5.4 Transfert de pesticides .....                                             | 48 |
| 5.5 Infiltration.....                                                         | 50 |
| 5.6 Stabilité structurale .....                                               | 54 |
| 5.6.1 Humectation lente .....                                                 | 54 |
| 5.6.2 Humectation rapide .....                                                | 56 |
| 5.6.3 Agitation après pré-humidification .....                                | 58 |
| 5.6.4 Discussion des résultats des 3 tests de stabilité structurale.....      | 59 |
| 5.7 Pourcentage de couverture végétale .....                                  | 61 |
| 5.8 Biomasse.....                                                             | 62 |
| 5.9 Discussion générale .....                                                 | 63 |
| 5.9.1 Mise en commun des observations pour les différentes mesures .....      | 64 |
| 5.9.2 Comparaison des résultats attendus et observés .....                    | 68 |
| 5.9.3 Pistes d'amélioration.....                                              | 69 |
| 6. Conclusion.....                                                            | 70 |
| Bibliographie .....                                                           | 71 |
| Annexes .....                                                                 | 80 |

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Strip-tiller utilisé dans le cadre de l'essai .....                                                                                                           | 9  |
| Figure 2 : Eléments d'un strip-tiller classique tel qu'utilisé dans le cadre de l'essai .....                                                                            | 10 |
| Figure 3 : Sous-semis de ray-grass en champ de maïs .....                                                                                                                | 13 |
| Figure 4 : Sous-semis de fétuque en champ de maïs .....                                                                                                                  | 13 |
| Figure 5 : Sous-semis de trèfle en champ de maïs .....                                                                                                                   | 13 |
| Figure 6 : Combiné de semis adapté pour l'implantation de sous-semis .....                                                                                               | 14 |
| Figure 7 : Semoir nouvelle génération Pöttinger .....                                                                                                                    | 14 |
| Figure 8 : Localisation de la zone d'étude .....                                                                                                                         | 20 |
| Figure 9 : Agencement des sous-parcelles en 3 blocs au sein desquels les 4 traitements sont disposés aléatoirement .....                                                 | 21 |
| Figure 10 : Présentation du dispositif pour une sous-parcelle .....                                                                                                      | 22 |
| Figure 11 : Comparaison entre les précipitations moyennes mensuelles et les données de précipitations pour la saison de culture 2021-2022 mesurée en champ .....         | 32 |
| Figure 12 : Précipitations journalières observées durant la saison de culture du maïs 2021 au niveau du site de l'essai .....                                            | 33 |
| Figure 13 : Précipitations journalières observées durant la période d'interculture 2021-2022 au niveau du site de l'essai .....                                          | 33 |
| Figure 14 : Ruissellement cumulé pour la saison de culture du maïs selon les traitements .....                                                                           | 34 |
| Figure 15 : Ruissellement observé en fonction des différents traitements pour chaque évènement de prise de mesure durant la saison de culture du maïs .....              | 35 |
| Figure 16 : Relief constitué de zones surélevées au niveau des inter-rangs et de dépressions au niveau des rangs pour une parcelle de strip-till .....                   | 36 |
| Figure 17 : Ruissellement cumulé pour l'intégralité de la saison de culture du maïs .....                                                                                | 37 |
| Figure 18 : Ruissellement observé sur les différents traitements en fonction de l'intensité maximale de précipitation durant la saison de culture du maïs .....          | 38 |
| Figure 19 : Ruissellement observé sur les différents traitements en fonction du volume de précipitations pour chaque évènement durant la saison de culture du maïs ..... | 39 |
| Figure 20 : Ruissellement cumulé pour la période d'interculture selon les traitements .....                                                                              | 40 |
| Figure 21 : Ruissellement observé en fonction des différents traitements pour chaque évènement de prise de mesure durant la période d'interculture .....                 | 41 |
| Figure 22 : Vibroculteur utilisé dans le cadre de l'essai au niveau des parcelles de témoin et de strip-till .....                                                       | 42 |
| Figure 23 : Ruissellement cumulé pour l'intégralité de la période d'interculture .....                                                                                   | 42 |

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 24 : Erosion cumulée pour la saison de culture du maïs selon les traitements .....                                                              | 43 |
| Figure 25 : Erosion observée en fonction des différents traitements pour chaque évènement de prise de mesure durant la saison de culture du maïs ..... | 44 |
| Figure 26 : Perte en terre cumulée pour l'intégralité de la saison de culture du maïs .....                                                            | 46 |
| Figure 27 : Erosion cumulée pour l'interculture selon les traitements .....                                                                            | 46 |
| Figure 28 : Erosion observée en fonction des différents traitements pour chaque évènement de prise de mesure durant la période d'interculture .....    | 47 |
| Figure 29 : Perte en terre cumulée pour l'intégralité de la période d'interculture .....                                                               | 48 |
| Figure 30 : Quantité de sulcotrione transportée par les eaux de ruissellement .....                                                                    | 49 |
| Figure 31 : Quantité cumulée de sulcotrione dans les eaux de ruissellement .....                                                                       | 50 |
| Figure 32 : Conductivité hydraulique à saturation pour la saison de culture du maïs et la période d'interculture .....                                 | 51 |
| Figure 33 : Effet de campagne sur le diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'humectation lente .....                                             | 55 |
| Figure 34 : Effet de traitement sur le diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'humectation lente .....                                           | 55 |
| Figure 35 : Effet de campagne sur le diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'humectation rapide .....                                            | 57 |
| Figure 36 : Effet de traitement sur le diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'humectation rapide .....                                          | 57 |
| Figure 37 : Diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'agitation après pré-humidification .....                                                     | 58 |
| Figure 38 : Evolution du pourcentage de couverture végétale à travers la saison de culture du maïs et la période d'interculture .....                  | 61 |
| Figure 39 : Impact des opérations de travail en champ sur la couverture végétale pour les parcelles de sous-semis .....                                | 63 |
| Figure 40 : Rendement sec en maïs selon les différents traitements pour la saison de culture du maïs 2021 .....                                        | 64 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Itinéraire technique de l'essai .....                                                                                                                                                | 22 |
| Tableau 2 : Propriétés principales du sulcotrione .....                                                                                                                                          | 24 |
| Tableau 3 : Classe de stabilité et de sensibilité à l'encrouement selon les valeurs de MWD ....                                                                                                  | 29 |
| Tableau 4 : Analyse de la variance sur les mesures de ruissellement pour chacun des événements individuellement durant la saison de culture du maïs .....                                        | 35 |
| Tableau 5 : Analyse de la variance sur les mesures de ruissellement pour chacun des événements individuellement durant la période d'interculture .....                                           | 41 |
| Tableau 6 : Analyse de la variance sur les mesures d'érosion pour chacun des événements individuellement durant la saison de culture du maïs .....                                               | 44 |
| Tableau 7 : Concentration en sédiments des eaux de ruissellement pour chacun des événements individuellement durant la saison de culture du maïs et analyse de la variance sur ces mesures ..... | 45 |
| Tableau 8 : Analyse de la variance sur les mesures d'érosion pour chacun des événements individuellement durant la période d'interculture .....                                                  | 47 |
| Tableau 9 : Concentration en sédiments des eaux de ruissellement pour chacun des événements individuellement durant la période d'interculture et analyse de la variance sur ces mesures .....    | 48 |
| Tableau 10 : Notation utilisée pour distinguer les campagnes de mesure d'infiltration .....                                                                                                      | 50 |
| Tableau 11 : Différence observée entre les différents traitements et campagnes de mesure pour les mesures de conductivité hydraulique à saturation .....                                         | 52 |
| Tableau 12 : Notation utilisée pour distinguer les campagnes de mesure de stabilité structurale .....                                                                                            | 54 |
| Tableau 13 : Analyse de la variance sur les mesures de diamètre moyen pondéral à la suite du test d'humectation lente .....                                                                      | 55 |
| Tableau 14 : Analyse de la variance sur les mesures de diamètre moyen pondéral à la suite du test d'humectation rapide .....                                                                     | 56 |
| Tableau 15 : Analyse de la variance sur les mesures de diamètre moyen pondéral à la suite du test d'agitation après pré-humidification .....                                                     | 58 |
| Tableau 16 : Biomasse sèche moyenne et pourcentage de matière sèche en fin de cycle pour les traitements présentant un couvert durant l'interculture .....                                       | 62 |



# 1. Introduction

Le processus d'érosion est bien connu à travers le monde, qu'il s'agisse d'érosion hydrique ou encore éolienne. En Belgique, les taux d'érosion annuels sont estimés entre 0,1 t/ha et 0,5 t/ha en condition naturelle et pour ce qui est des terres agricoles, l'intervalle se situe entre 3 et 30 t/ha (Morgan, 2005). Dans d'autres pays, ces taux peuvent néanmoins atteindre 170 t/ha/an pour les terres cultivées (Morgan, 2005).

La forme d'érosion qui fait le plus parler d'elle dans nos régions est l'érosion hydrique de par les impacts divers, notamment pour la population. Peuvent être citées les coulées de boues induites par le phénomène d'érosion qui sont régulièrement évoquées dans les médias avec des impacts sur les routes et infrastructures publiques mais aussi sur les habitations et jardins des privés (Henneton & Van Leeuw, 2018). Dans de nombreux cas sont alors montrées du doigt les parcelles agricoles en amont. Au-delà des aspects matériels et financiers non négligeables, c'est donc l'image même du monde agricole qui est impactée, créant parfois des tensions entre agriculteurs et riverains (Berlaimont & Remi, 2014).

Par ailleurs, des impacts sur les rendements sont également observés, de manière plus ou moins prononcée selon les régions du globe (Fabre, 2019). Cependant, dans l'optique de nourrir de plus en plus de personnes sur terre en raison de l'augmentation de la population observée depuis de nombreuses décennies (Organisation des Nations Unies [ONU], 2022), il est nécessaire de limiter cette perte de rendement au maximum. De plus, ce n'est pas uniquement la production alimentaire qui est impactée mais la capacité même des sols à assurer leurs services écosystémiques (Pennock, 2019). Des impacts sur les masses d'eau sont également constatés, avec certains endroits pour lesquels un phénomène d'eutrophisation peut même être observé (Pennock, 2019), menant dès lors à des dégâts environnementaux et une potentielle perte de biodiversité. Dans ce contexte, il est nécessaire de repenser les techniques agricoles afin de limiter les conséquences observées pour la population et l'environnement sur le long terme.

Dans ce mémoire, ce sont les cultures de maïs qui sont étudiées. Il s'agit en effet de l'une des 5 cultures les plus présentes en Wallonie (Centre Indépendant de Promotion Fourragère [CIPF], 2021). Dû au large écartement entre les rangs, une grande part de la surface du sol est laissée à nu en début de cycle ; de plus, son implantation tardive dans la saison (mi-avril) induit une couverture du sol faible durant la période de l'année où les pluies d'intensités les plus importantes sont observées en Belgique (soit le printemps et l'été) (Gillijns et al., 2005). Proposer des techniques de culture innovantes adaptées à cette espèce végétale et démontrer leurs impacts positifs sont donc essentiels pour promouvoir leur utilisation par le plus grand nombre d'agriculteurs.

Parmi les techniques existantes, plusieurs classifications sont définies. Seront distinguées notamment les mesures préventives, qui cherchent à empêcher l'apparition de l'érosion au sein de la parcelle, les mesures curatives, qui visent à résoudre les problèmes d'érosion au sein de la parcelle, et les mesures palliatives, qui ne permettent pas de réduire l'érosion sur les parcelles mais d'en limiter les conséquences en aval (Dautrebande et al., 2006).

Dans le cadre de ce mémoire, ce sont des techniques applicables en champ qui sont étudiées, impliquant la gestion des sols et le rôle de la végétation au sein même des parcelles agricoles. Il s'agit dès lors de mesures préventives dans la lutte contre l'érosion.

La première technique étudiée est celle du strip-till. Il s'agit d'une technique de travail du sol localisé où n'est travaillé que le rang du futur semis, laissant donc les inter-rangs couverts des résidus des cultures précédentes. La seconde technique étudiée est celle des sous-semis. Celle-ci consiste à semer, simultanément ou de manière décalée dans le temps, une espèce végétale différente du maïs au niveau des inter-rangs. Cela permet ainsi de couvrir ces derniers durant la saison de culture, mais également de servir de culture de couverture directement en place après la récolte du maïs pour les mois d'hiver. Les espèces étudiées sont le trèfle blanc (*Trifolium repens*) et la fétuque rouge (*Festuca rubra*).

La suite de ce mémoire se présente en quatre sections principales. Tout d'abord, un état de l'art concernant les connaissances sur le phénomène d'érosion ainsi que sur les différentes techniques de conservation qui sont étudiées. Suite à la formulation des objectifs, une présentation des méthodes et du matériel utilisés dans le cadre de cet essai est réalisée. Par la suite, les résultats ainsi que la discussion de ceux-ci sont apportés. Et enfin, la dernière section présente les conclusions qui ont pu être tirées au terme de l'essai.

## 2. Etat de l'art

### 2.1 L'érosion

#### 2.1.1 Définition

L'érosion peut être définie comme un processus d'altération de la surface du sol et de modification du relief impliquant successivement le détachement de particules du sol et leur transport (Morgan, 2005). Les formes d'érosion sont diverses ; celles-ci peuvent être dues à l'eau, au vent, à la gravité, au travail du sol sur les terres mises en culture ou encore à la récolte de plantes à racines ou de tubercules lorsque de la terre adhère aux cultures récoltées. Ces formes d'érosion sont alors respectivement dénommées érosion hydrique, érosion éolienne, glissement de terrain, érosion aratoire et érosion par récolte. Dans le cadre de ce mémoire, la forme d'érosion étudiée est l'érosion hydrique pour laquelle le détachement et le transport des particules de sol sont dus à l'action de l'eau.

Plusieurs mécanismes sont impliqués au cours des phases de détachement et de transport. Tout d'abord, le rejaillissement, aussi nommé splash, qui intervient lors de l'impact des gouttes de pluie sur le sol. Dans un premier temps, l'énergie cinétique de la goutte permet de détacher les particules de sol et dans un second temps, de projeter ces particules sur une distance de quelques centimètres à plusieurs décimètres (Morgan, 2005). Le processus de détachement est observable sur tous types de pente (y compris pente nulle) tandis que le processus de transport ne conduit à un déplacement net de terre que sur les sols en pente. En effet, sur sol plat, les particules de sol sont projetées dans toutes les directions de sorte qu'en chaque point, le bilan de particules de sol arrachées et déposées est nul. Tandis que sur sol en pente, par effet de gravité, les particules de sol sont projetées préférentiellement dans la direction aval (Morgan, 2005). Peuvent également être impliqués dans le détachement les phénomènes de slaking (éclatement des agrégats dû à la compression de l'air emprisonné durant l'humectation), de gonflement différentiel (dû à la microfissuration des agrégats durant une phase d'humectation ou de retrait dans les sols contenant de l'argile) et de dispersion physico-chimique (dû à la réduction des forces d'attraction entre particules colloïdales lors de l'humectation qui est donc affectée par la concentration et composition en électrolytes dans la solution du sol) (Le Bissonnais, 2016).

Ensuite, l'érosion en nappe intervient lorsqu'une lame d'eau (peu épaisse) se forme à la surface du sol. Celle-ci ne permet pas de détacher les particules de sol dû à l'énergie cinétique trop faible de l'eau (inférieure au seuil de la contrainte de cisaillement nécessaire au détachement) et ne participe donc pas au détachement. Elle permet néanmoins de transporter des particules qui ont déjà été détachées par d'autres mécanismes. Lorsque la lame d'eau grossit, le sol n'étant jamais parfaitement plat, le ruissellement se concentre pour former des filets d'eau menant alors à un ruissellement concentré. Si la contrainte de cisaillement de l'eau dépasse alors la valeur critique de contrainte permettant le détachement de particules du sol, l'érosion concentrée se déclenche, conduisant à la formation d'incisions.

Ces incisions sont nommées rigoles et ravines selon les dimensions physiques constatées. Lors de l'érosion concentrée, la force de cisaillement de l'eau de ruissellement est le principal mécanisme de détachement des particules de sol qui pourront ensuite être transportées.

Un autre phénomène à mentionner est celui de la redéposition des sédiments. En effet, les sédiments sont transportés en suspension dans l'eau lorsque celle-ci possède assez d'énergie cinétique pour les déplacer. Cependant, lorsque la charge en sédiments transportés dépasse la capacité de transport (dépendant de la vitesse), les particules en suspension dans la lame d'eau se redéposent au sol. Un ralentissement de l'eau provoque donc une redéposition des sédiments sur le lieu du ralentissement.

### 2.1.2 Ordres de grandeur

En Belgique, les taux d'érosion annuels sont estimés entre 0,1 *t/ha* et 0,5 *t/ha* en condition naturelle et pour ce qui est des terres agricoles, l'intervalle se situe entre 3 et 30 *t/ha* (Morgan, 2005) avec environ 40% de la surface agricole totale wallonne qui subit des pertes supérieures à 5 *t/ha/an* (Service Public de Wallonie [SPW], 2014). Ces chiffres varient cependant selon les pays, avec par exemple des taux d'érosion qui peuvent aller jusqu'à 170 *t/ha/an* pour les terres cultivées aux Etats-Unis (Morgan, 2005).

### 2.1.3 Causes de l'érosion

#### 2.1.3.1 Erosivité de la pluie

L'érosion est étroitement liée aux précipitations, d'une part, en raison du pouvoir de détachement des gouttes de pluie lors de leur impact sur le sol et d'autre part, dû à la participation des eaux de pluie au ruissellement (Morgan, 2005). Il a été montré que l'érosion peut être générée par deux types d'évènements pluvieux : les évènements intenses de courtes durées pour lesquels la capacité d'infiltration du sol est excédée, formant ainsi une lame d'eau en surface, et les évènements prolongés de basse intensité pour lesquels le sol finit par être saturé (Morgan, 2005). En effet, lorsque la capacité d'infiltration du sol est excédée, c'est-à-dire que l'intensité des pluies est supérieure au taux d'infiltration, la différence de flux d'eau entre ces deux valeurs correspond à la part qui peut participer au ruissellement. La réponse du sol est donc liée à l'évènement en lui-même mais également à la nature du sol ainsi qu'aux conditions antécédentes qui déterminent la teneur en eau du sol avant l'évènement de précipitation.

#### 2.1.3.2 Erodibilité du sol

L'érodibilité du sol définit la résistance du sol au détachement et au transport (Morgan, 2005). Deux caractéristiques principales peuvent être mise en avant concernant ce paramètre : la résistance mécanique, ayant un impact sur le détachement des particules de sol, et la capacité d'infiltration, ayant un impact sur le ruissellement en déterminant le volume d'eau participant à celui-ci.

Pour ce qui est de la résistance mécanique, deux propriétés physiques du sol sont utilisées : la stabilité structurale des agrégats et la cohésion du sol. La stabilité structurale correspond à la capacité des agrégats à résister à la fragmentation sous l'effet de forces externes qui peuvent mener à quatre principaux mécanismes de désagrégation : l'éclatement, la désagrégation par gonflement différentiel, la désagrégation mécanique par l'impact des gouttes de pluie et la dispersion physico-chimique (Le Bissonais, 2016). La cohésion représente quant à elle une propriété du sol reflétant sa résistance au cisaillement et donc sa résistance au détachement des particules dû à la friction de l'eau lors du ruissellement.

#### *2.1.3.3 Topographie*

La topographie a un impact sur la vitesse et sur le débit du ruissellement de l'eau et donc sur sa capacité à détacher et transporter les particules de sol. En effet, plus la pente est forte, plus la vitesse et donc son énergie cinétique seront élevées ; plus la longueur de pente est élevée, plus le volume d'eau ruisselé augmente, ce qui augmente sa capacité à transporter les sédiments. Par ailleurs, quand l'épaisseur de la lame d'eau augmente, la vitesse a aussi tendance à augmenter. Or, l'énergie cinétique étant directement liée à la vitesse des eaux de ruissellement, le détachement et le transport des particules de sol le sont également.

#### *2.1.3.4 Couverture du sol*

La végétation agit comme une couche protectrice ou tampon entre l'atmosphère et le sol. En effet, les composants aériens, comme les tiges et les feuilles, absorbent une partie de l'énergie cinétique des gouttes de pluie et des eaux de ruissellement limitant ainsi en partie le phénomène de rejaillissement (Brant et al., 2017) ; tandis que les composants souterrains, comme le système racinaire, contribuent à la résistance mécanique du sol (Morgan, 2005). Une importante diminution de l'érosion hydrique est donc observée même avec une faible augmentation du taux de couverture végétale du sol (Gillijns et al., 2005).

#### *2.1.3.5 Travail du sol*

De nombreuses méthodes de travail du sol ont été mises au point par l'Homme, ayant bien souvent pour même objectif l'amélioration de la productivité agricole. Peuvent être cités notamment le labour, le pseudo-labour, le semis-direct ou encore le strip-till. Ces méthodes agissent également sur l'érosion étant donné leur impact sur la capacité d'infiltration du sol, la teneur en matière organique des couches superficielles du sol, et sur le taux de couverture du sol par des résidus ou la rugosité hydraulique.

### *2.1.4 Conséquences de l'érosion*

#### *2.1.4.1 Conséquences sur site*

Sur site, les pertes de sol peuvent aussi bien avoir des effets à court terme qu'à long terme. Au niveau des conséquences observables à court terme, des dégâts directs sur les cultures peuvent être mentionnés, voire la destruction d'une partie des cultures du champ lorsque l'eau

parvient à emporter le sol qui permettait aux racines d'ancrer la plante ou même à emporter la plante en elle-même (Dautrebande et al., 2006).

Cette perte de sol mène également à une perte de substrat pour la croissance des végétaux et de tout ce qui compose ce substrat (dont la matière organique et les nutriments), menant donc à une perte de fertilité au niveau des sols touchés (Dautrebande et al., 2006). Sur le long terme, la couche de sol permettant le stockage d'eau se voit elle aussi réduite, diminuant alors les possibilités de rétention de l'eau dans le sol (Dautrebande et al., 2006).

De plus, l'impact des gouttes de pluie sur le sol peut mener à la formation d'une croûte de battance ayant un impact négatif sur la capacité d'infiltration du sol (Crucil & Van Oost, 2021 ; Le Bissonnais et al., 2005). Ces divers facteurs mis ensemble peuvent mener à une diminution des rendements au sein des parcelles qui sont touchées par le phénomène d'érosion (Prasuhn, 2012).

#### *2.1.4.2 Conséquences hors site*

Les conséquences les plus observables pour la population en général sont les inondations boueuses causées par le ruissellement au niveau des parcelles agricoles en amont qui amène une charge plus ou moins importante de sédiments vers l'aval (Ryken et al., 2018). En aval, ces coulées de boue peuvent avoir un impact notamment sur les habitations ou encore sur les infrastructures publiques telles que les voies de communication menant à des dégâts plus ou moins importants selon l'ampleur de la coulée de boue. De plus, cela induit un coût dans le cas de la destruction ou de la rénovation d'infrastructures et d'habitations mais également, et dans tous les cas, un coût de nettoyage non négligeable. En effet, sans prendre en compte les coûts liés à l'intervention des services de secours qui est parfois nécessaire, le montant lié aux réparations des dégâts dus aux inondations boueuses est estimé à 600 000€ par an pour la Wallonie (SPW, 2014).

Même si une partie majoritaire des sédiments érodés est redéposée ou retenue par divers obstacles lors de son cheminement, environ 12% finissent par atteindre une masse d'eau de surface en aval (Département de l'étude du milieu naturel et agricole [DEMNA] & SPW Agriculture, Ressources naturelles et Environnement [SPW ARNE], 2021). Cependant, la charge en sédiments et également en nutriments, fertilisants ou encore pesticides de ces eaux, engendre des conséquences sur la vie aquatique de ces lieux de « rejets ». Tout d'abord, les produits utilisés sur le champ peuvent impacter la santé des organismes présents. Ensuite, la présence des particules de sol dans l'eau peut mener à un passage moins important de la lumière au sein de la masse d'eau (augmentation de la turbidité), ayant donc un impact sur la vie aquatique. Enfin, l'apport important de nutriments, surtout de phosphore et d'azote, entraîne une explosion du développement de certains végétaux aquatiques habituellement plus faible de par les concentrations limitées en nutriments des masses d'eau (DEMNA & SPW ARNE, 2021). Le passage de la lumière est donc influencé, mais également les concentrations en oxygène disponibles pour la faune et la flore aquatique (car consommé par ces végétaux aquatiques). Ce phénomène d'eutrophisation est naturel, mais les activités humaines, telles que

l'agriculture notamment, augmentent son occurrence d'apparition depuis plusieurs dizaines d'années (Camus, 2014).

Une augmentation du risque de débordement des rivières peut aussi être mise en avant de par l'arrivée importante de terre qui peut provoquer un envasement du cours d'eau, modifiant alors son cours et pouvant mener à son débordement (SPW, 2014). Les coûts d'entretien associés afin de limiter cela peuvent également être importants.

Tout cela a également un impact psychologique et un impact sur la perception du monde agricole dans son ensemble. Dans certains cas des conflits peuvent aussi exister entre agriculteurs et riverains (principalement suite aux inondations boueuses) comme certains articles de presse le démontrent tel que notamment la RTBF qui titrait en 2018 « Les agriculteurs souvent pointés du doigt après les coulées de boue » (Carlier, 2018).

## 2.2 La culture de maïs en Wallonie

Deux types de culture de maïs sont développés en Wallonie : le maïs cultivé pour le grain et le maïs fourrager (utilisation de la plante entière). Les surfaces dédiées se situent respectivement autour de 50 000 *ha* et 170 000 *ha* pour l'entière de la Belgique (StatBel, 2020), dont environ un tiers se trouve en Wallonie, faisant ainsi du maïs l'une des 5 cultures les plus présentes dans la région (CIPF, 2021). Le rendement obtenu varie en fonction des conditions climatiques observées pour les différentes années, mais se situe autour de 10 *t/ha* pour le maïs grain et 40 *t/ha* pour le maïs fourrager (StatBel, 2020).

Il est également à noter que nombres de parcelles destinées à la culture de maïs fourrager se situent sur des terrains en pente, qui sont donc d'autant plus sensibles au phénomène d'érosion. En effet, anciennement utilisées comme pâtures de par leur caractère difficilement praticable pour les engins agricoles, les pâtures se sont vues remplacées progressivement par des cultures fourragères (SPW, 2017) grâce aux améliorations techniques du matériel mais également en raison de la rentabilité plus élevée du maïs par rapport aux prairies du point de vue de la valeur alimentaire en termes d'apport énergétique (Centre provincial de l'agriculture et de la ruralité, 2006).

La culture de maïs est aussi connue pour être semée relativement tard (après le 15 avril), laissant alors le sol peu couvert pendant une bonne partie du printemps. De plus, la période de culture (de mai à octobre) correspond à la période de l'année où sont rencontrées les pluies avec le potentiel érosif le plus important (Gillijns et al., 2005). Ajouté à cela l'écartement inter-rang important (70 *cm* environ) laissant non couvert une partie importante du sol même après le semis du maïs, il est conseillé et nécessaire de réfléchir à des méthodes de limitation du ruissellement et de l'érosion adaptées à cette culture.

## 2.3 Techniques de conservation

### 2.3.1 Principes

Il existe de nombreuses méthodes de conservation qui sont dictées par de grands principes qui visent à limiter le détachement et le transport des particules de sol (Dautrebande et al., 2006) :

- Réduire la force d'impact des gouttes de pluie ;
- Maintenir ou améliorer la résistance du sol au détachement ;
- Améliorer la capacité d'infiltration du sol ;
- Améliorer la capacité de stockage superficiel du sol ;
- Réduire la vitesse d'écoulement ;
- Limiter la longueur du terrain.

### 2.3.2 Méthodes

Selon Morgan (2005), les différentes méthodes de conservation peuvent être divisées en trois catégories : les mesures agronomiques, les mesures de gestion du sol et les méthodes mécaniques.

Les mesures agronomiques mettent en avant le rôle de la végétation pour protéger les sols (Morgan, 2005), par exemple par la gestion des résidus de culture, la rotation des cultures, la mise en place de cultures de couverture hivernale ou encore de sous-semis.

Les mesures de gestion du sol concernent les différentes manières de préparer le sol afin de promouvoir la croissance des plantes mais également d'améliorer la structure et la résistance à l'érosion (Morgan, 2005). Sont principalement présentes dans cette catégorie les techniques culturales sans labour (TCSL) ou encore le semis direct. Le travail du sol réduit se doit de maintenir une couverture de minimum 30% de la surface du sol par les résidus de culture, tandis que pour le semis direct, la couverture du sol par les résidus se trouve entre 50 et 100%.

Enfin, les méthodes mécaniques ou physiques impliquent généralement des ouvrages d'art ou de modification du relief (Morgan, 2005). Elles servent essentiellement à capturer les eaux de ruissellement, à réduire leur vitesse et/ou à les canaliser sans provoquer d'érosion. Elles n'ont donc que peu d'impact sur le détachement des particules de sol au niveau des parcelles agricoles en elles-mêmes. Dans nos régions, les ballots de paille positionnés perpendiculairement à la pente ou les fascines sont des exemples observables.

Cette classification ne prend cependant pas en compte les mesures végétales non agronomiques telles que les bandes enherbées, les chenaux enherbés ou encore les haies en bordure de terrain. Ces mesures, ne font pas partie intégrante du cycle de culture. Tout comme les méthodes mécaniques, elles n'ont pas d'impact direct sur le détachement des particules de sol au niveau de la parcelle même, mais engendrent un ralentissement des eaux permettant de limiter le transport de sédiments vers l'aval (avec donc un aspect préventif par rapport à l'aval) (Biielders, 2021).

D'autres classifications existent également, avec notamment la distinction entre mesures préventives, qui cherchent à empêcher l'apparition de l'érosion au sein de la parcelle ; mesures curatives, qui visent à résoudre les problèmes d'érosion au sein même de la parcelle ; et mesures palliatives, qui ne permettent pas de réduire l'érosion sur les parcelles mais d'en limiter les conséquences en aval (Dautrebande et al., 2006). La distinction entre mesures à court terme et mesures à long terme est également parfois mentionnée, la différence se situant au niveau de la temporalité avec laquelle les résultats attendus s'observent (Biielders, 2021).

### 2.3.3 Focus sur la technique du strip-till

Le strip till est une technique de travail du sol localisé où le sol n'est travaillé que sur le rang du futur semis. Il s'agit donc d'une technique qui concerne les cultures semées avec un espacement important entre les lignes (nommées cultures sarclées) comme le tournesol, la betterave ou le maïs. Pour ce faire, un passage à travers les résidus est ouvert en créant un lit de semences de 10 à 25 cm de largeur, en laissant les résidus à la surface dans les inter-rangs (Thomas, 2022). Il est donc permis de classer cette méthode au sein des techniques culturales sans labour



Figure 1 : Strip-tiller utilisé dans le cadre de l'essai – source : CIPF

(TCSL), ces techniques étant réputées pour être plus respectueuses de la fertilité (physique et biologique) du sol notamment (Centre wallon de Recherches Agronomiques [CRA-W], 2013).

Lorsque le maïs est cultivé en rotation, la méthode du strip-till permet un passage aisé dans les résidus de couverts végétaux tandis qu'en monoculture de maïs, elle permet une implantation aisée par simple décalage de semis dans l'interligne du maïs de l'année précédente (CIPF, 2020).

La technique a fait son apparition en France en 2005 et se répand en Europe depuis 2010, après avoir été élaborée aux Etats-Unis. Les agriculteurs locaux y étaient en effet confrontés à de graves problèmes d'érosion, en culture de maïs notamment, et ont donc adopté cette méthode afin de lutter contre ces problèmes. En Wallonie, les premiers essais exploratoires ont été mis en place par le CRA-W en 2012 et 2013 afin de mettre en avant les avantages de cette nouvelle méthode apparaissant sur le marché, mais aussi les désavantages associés (CRA-W, 2013).

Actuellement, les strip-tiller les plus courant sont composés des 5 éléments définis à la figure 2 (CIPF, 2020) :

- un disque ouvreuse pour couper les débris (1) ;
- des chasses débris : pour libérer la ligne de semis des débris végétaux (2) ;
- une dent de travail de sol : pour ameublir la ligne de semis (3) ;

- deux disques de part et d'autre de la dent : pour canaliser le flux de terre engendré par cette dernière (4) ;
- un système permettant un rappui et l'affinage de la bande travaillée (5).



Figure 2 : Eléments d'un strip-tiller classique tel qu'utilisé dans le cadre de l'essai – source : C. Roisin, CRA-W

Il est également possible de lier les opérations de travail du sol et de semis en un seul passage en combinant le semoir au strip-tiller. Il est cependant généralement conseillé de décomposer ces deux opérations pour permettre un meilleur réchauffement du sol même si cela nécessite une attention particulière plus importante car la réalisation du semis doit alors être alignée au travail du sol réalisé préalablement (CIPF, 2019).

### 2.3.3.1 Avantages et inconvénients

Au niveau technique, la méthode présente des avantages intéressants pour l'agriculteur. En effet, un gain de temps notable peut être mis en avant dû à la réduction des opérations à réaliser au champ (CIPF, 2019). Cela permet également une réduction au niveau de la consommation de carburant (dû aussi à la limitation des efforts de traction) qui mène donc à des frais moins importants concernant les opérations de travail du sol (CIPF, 2019 ; Thomas, 2022). La réduction du temps dédié aux opérations de travail du sol est estimée à 114-152 minutes par hectare et les économies au niveau de la consommation de carburant à 35,9-45,8 l/ha (Jaskulska et al., 2020). Néanmoins la spécificité et le coût de l'équipement sont tout de même à mettre en balance, l'investissement initial étant non négligeable (CIPF, 2019). Par ailleurs, dans certains cas un surcoût de désherbage chimique est observé afin de contrôler la concurrence entre le maïs et les adventices (Weykmans, 2010).

Autre avantage technique, la possibilité de réaliser une fertilisation localisée grâce à la mise en place d'un équipement spécialisé. Dans certaines études, cette adaptation a en effet permis une réduction de la consommation d'engrais de 30% (Thomas, 2022). Sans même donc s'intéresser aux processus physiques qui sont induits au niveau du sol, la diminution de la dose d'intrant apportée pourrait d'ores et déjà théoriquement diminuer la quantité de substances qui ruisselle vers les masses d'eau avale et potentiellement limiter le phénomène d'eutrophisation.

Concernant les rendements obtenus à l'aide de la technique du strip-till, les résultats de différentes études ne concordent pas toujours. Dans certaines, aucun changement au niveau des rendements n'est observé (Menšík et al., 2020 ; Trevini et al., 2013) tandis que d'autres constatent plutôt une diminution de ceux-ci à environ 80% de ce qui est observé pour un semis classique (CIPF, 2014).

#### *2.3.3.2 Impact sur les propriétés physiques du sol, le ruissellement et l'érosion*

Comme déjà évoqué auparavant, un des avantages principaux mis en avant lors de la présentation de la méthode du strip-till est l'amélioration des propriétés physiques du sol à différents niveaux.

En ne travaillant le sol qu'au niveau de la ligne de semis, les inters-rangs restent couverts par les résidus de culture. Cela permet ainsi théoriquement une protection de la structure du sol en limitant l'impact des gouttes de pluie, ce qui limite dès lors le détachement par rejaillissement et enfin la formation d'une croûte de battance.

Découlant de cela, une amélioration des capacités d'infiltration peut être mise en avant (Holland, 2004 ; Ryken et al., 2018). En effet, la présence d'une croûte de battance (obstruant les pores de la surface du sol) limite fortement l'infiltration de l'eau dans le sol ; en empêchant la formation de celle-ci, une augmentation de la capacité d'infiltration devrait donc être observée. Cela permet alors à une part plus importante de l'eau apportée par les précipitations de s'infiltrer dans le sol plutôt que de participer au ruissellement. En effet, la capacité d'infiltration d'un sol pouvant être définie comme la quantité maximum d'eau qui s'infiltrerait dans le sol dans un intervalle de temps  $t$  (Aquaportail, 2021), une technique culturale permettant d'augmenter celle-ci permet donc une diminution de la quantité d'eau participant au ruissellement et, de par cela, à l'érosion. Dans d'autres études, la différence observée au niveau de la capacité d'infiltration du sol n'est cependant pas significative (Fernández et al., 2015) ; la raison de cela étant en partie à rechercher dans les conditions climatiques différentes entre les années d'essais. Une amélioration de la réserve d'eau retenue par le sol a également été constatée (Jaskulska et al., 2020), permettant de lutter plus efficacement contre un stress hydrique en cas de sécheresse prolongée.

Une protection des agrégats et de leur stabilité peut également être mentionnée, avec des essais sur trois ans qui ont déjà pu démontrer de meilleurs résultats concernant la stabilité des agrégats en comparaison avec un labour conventionnel de par une meilleure distribution des agrégats à travers les différentes classes de tailles considérées (Jaskulska et al., 2020). Cette meilleure stabilité des agrégats permet de limiter la formation d'une croûte de battance. En effet, en limitant la fragmentation des agrégats, moins de particules fines ayant la possibilité d'obstruer la porosité du sol sont générées. La matière organique laissée sur le champ induit également la présence de plus de liants organiques permettant une résistance mécanique accrue du sol face au détachement. En effet, le réseau racinaire participe notamment directement à cette résistance par l'enrobage des agrégats et permet de mieux retenir le sol (Menšík et al., 2020). L'humus dans son ensemble y contribue également avec un effet marqué de différentes substances

(sucres, cellulose, ...) libérées lors de la décomposition de la matière organique fraîche (Dautrebande et al., 2006).

La conservation des résidus au niveau des inter-rangs constitue également un frein au passage de l'eau qui ruissèle de par l'augmentation du frottement engendrée. La vitesse de l'eau circulant au niveau des inter-rangs est donc réduite ce qui induit une diminution de l'énergie cinétique (proportionnelle au carré de la vitesse) qui lui est associée et donc de la capacité de détachement et de transport des particules de sol. De par cela, le phénomène d'érosion est donc dans la théorie réduit et une perte de sol moins importante que pour des techniques de travail du sol conventionnelles est donc attendue au niveau des inter-rangs. Néanmoins, cela dépendra également de l'orientation du travail du sol par rapport à la pente car il existe également un risque que le ruissellement se concentre au niveau des rangs de culture ou des inter-rangs (dans le cas où les uns ou les autres seraient légèrement moins élevés que le reste de la parcelle (Société Japonaise des Ressources Vertes [JGRC], 2001)).

Dans l'étude de Jaskulska et al. (2020), la diminution des pertes de sol liée à l'érosion a pu être estimée à 92% de celle estimée pour un labour conventionnel, tandis que les essais menés par le CIPF dans le cadre du projet ERUISTOP en 2013 ont permis de quantifier cette réduction à 91%. Cette diminution est également observée dans l'étude de Menšík et al. (2020). Dans le même essai du CIPF, une réduction du ruissellement de 63% a été constatée en comparaison à un travail de labour classique pendant la saison de culture (CIPF, 2014).

Il est cependant à noter que certains des processus énoncés nécessitent parfois plusieurs années avant de pouvoir être observés (Abdollahi & Munkholm, 2014 ; Fernández et al., 2015). En effet, les changements au niveau de la structure du sol en elle-même demandent la répétition du traitement sur la parcelle tandis que les impacts « mécaniques », tel que le ralentissement de l'eau dû aux résidus par exemple, devraient être observables dès la première année. Les essais concernant la technique du strip-till ne peuvent donc pas être considérés comme totalement représentatifs après une seule saison, des effets supplémentaires sur la structure apparaissant sur des temps plus longs. Dans la pratique, il est cependant rare d'avoir des successions de cultures sarclées sur une même parcelle, mis à part le maïs pour lequel cela est observé.

Les principes de conservation du sol énoncés auparavant qui sont impliqués dans le cadre de la technique du strip-till sont donc la réduction de l'impact des gouttes de pluie, le maintien ou l'amélioration de la résistance du sol au détachement, l'amélioration de la capacité d'infiltration du sol et la réduction de la vitesse d'écoulement.

#### 2.3.4 Focus sur la technique du sous-semis

L'un des piliers de l'agriculture de conservation est la couverture permanente des sols. C'est dans cette optique que s'inscrit la technique des sous-semis pour les cultures en rang à large espacement tel que le maïs. Celle-ci consiste à semer entre les rangs une autre espèce végétale afin, dans un premier temps, de couvrir les inter-rangs durant la saison de culture et, dans un second temps, de servir de culture de couverture directement en place après la récolte

de la culture principale. Elle poursuit donc un objectif de protection du sol, aussi bien durant la période de culture que durant l'interculture.

Actuellement, le sous-semis le plus connu en culture de maïs est le ray-grass italien (*Lolium multiflorum*) comme visible en figure 3. Cependant, son développement rapide en début de cycle implique que cette graminée ne peut pas être plantée en même temps que la culture principale et demande une implantation décalée dans le temps (Manssens et al., 2018). En effet, la concurrence entre les espèces implantées demande une attention particulière en termes de compétition entre la culture principale (maïs) et le sous-semis (Berendes, 2011). Une réflexion concernant la possibilité de travailler avec d'autres espèces que le ray-grass italien (*Lolium multiflorum*) afin de pouvoir réaliser une implantation simultanée du maïs et du sous-semis est cependant menée depuis quelques années. Sont alors privilégiées des espèces à développement lent en début de cycle (Berendes, 2011).



Figure 3 : Sous-semis de ray-grass en champ de maïs – source : monsol.ca

Sont testés par le CIPF les sous-semis de fétuque rouge (*Festuca rubra*) et de légumineuse (plus précisément le trèfle blanc (*Trifolium repens*)) respectivement en figure 4 et 5. Les premières phases de test ont été de déterminer les espèces et la densité avec lesquelles il est possible de travailler au niveau des inters-rangs, mais aussi de mettre en place un schéma de désherbage sélectif aussi bien pour le maïs que pour les sous-semis.



Figure 4 : Sous-semis de fétuque en champ de maïs – source : CIPF

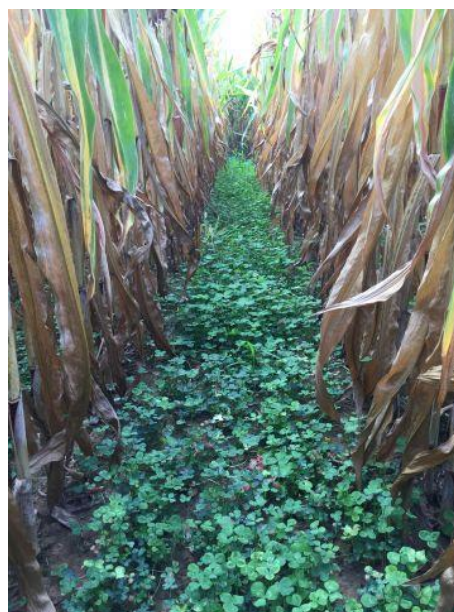


Figure 5 : Sous-semis de trèfle en champ de maïs – source : CIPF

Dans le cas d'un semis simultané de la culture principale et du sous-semis, un matériel spécifique est requis afin de combiner les opérations. Le CIPF a notamment mis en place un semoir adapté en installant un distributeur pneumatique dont la distribution est orientée vers les inter-rangs sur un combiné de semis tout à fait classique (*figure 6*) (CIPF & Protect'Eau, 2018). Il existe également à ce jour des semoirs de « nouvelle génération » permettant l'implantation du semis et du sous-semis simultanément grâce à deux trémies séparées (*figure 7*) (CIPF & Protect'Eau, 2018).



*Figure 6 : Combiné de semis adapté pour l'implantation de sous-semis – source : CIPF*



*Figure 7 : Semoir nouvelle génération Pöttinger – source : Aerosem*

Pour ce qui est de la destruction des sous-semis, plusieurs options sont envisageables. Néanmoins, avant de déterminer le processus à utiliser, il est nécessaire de convenir du moment auquel cette opération doit être réalisée. Le but est en effet d'éviter l'effet dépressif sur la culture suivante au niveau de l'implantation ou encore de l'eau disponible, tout en gardant les effets positifs de protection du sol dans le cadre de la lutte contre l'érosion (Arvalis, 2019 ; Labreuche & Brun, 2010). Dans le cas du maïs, il est conseillé de procéder à la destruction du couvert en février (au plus tard, début mars) (Labreuche & Brun, 2010).

Au niveau des méthodes de destruction qu'il est possible d'utiliser, trois grandes « familles » sont distinguables. Tout d'abord, la destruction par le gel. Celle-ci permet notamment de limiter les opérations mécaniques mais présente le désavantage d'être tributaire des conditions météorologiques (Hick et al., 2016). De plus, chaque espèce (et même stade de développement pour une même espèce) possède sa propre sensibilité au gel rendant parfois cette méthode inapplicable pour certains couverts dans nos régions. Ensuite, la destruction mécanique par le passage d'outils. De nombreux outils différents existent, dont les rouleaux ou encore les broyeurs (Hick et al., 2016). Enfin, la destruction chimique est également possible de par l'usage d'herbicide. Dans le cas des sous-semis en maïs dans nos régions, c'est la destruction chimique qui est favorisée étant donné que le nombre de jours de gel se fait de moins en moins important à travers les années (SPF Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement, 2021).

#### *2.3.4.1 Avantages et inconvénients*

Le sous-semis de ray-grass présente le désavantage de devoir être semé en décalé par rapport au maïs (stade d'implémentation lorsque le maïs possède déjà 6 à 7 feuilles (CIPF & Protect'Eau, 2018)) ce qui entraîne donc des contraintes techniques et de potentiels dégâts sur la culture principale lors du passage des engins en champ. L'utilisation de la fétuque et de légumineuses semées en simultané permet d'enlever cette première contrainte. Cela limite également le temps de travail demandé et la consommation de carburant étant donné que les étapes de semis et de sous-semis peuvent être combinées grâce à l'utilisation de matériel spécifique (CIPF & Protect'Eau, 2018).

Au niveau du désherbage, le ray-grass présente l'avantage que cette opération peut avoir lieu avant l'implantation du sous-semis, l'herbicide devant donc être uniquement sélectif pour la culture principale. Pour les sous-semis à implantation simultanée au maïs, une attention particulière doit être portée au choix du désherbant afin de ne pas perturber la croissance du maïs mais également des sous-semis (CIPF & Protect'Eau, 2018).

Pour ce qui est de la fétuque rouge, les premiers tests du CIPF indiquent qu'une densité de semis de 6 kg/ha rencontre le compromis entre une couverture suffisante du sol et une concurrence limitée sur le maïs. A ce jour, des rendements similaires ont été obtenus pour les parcelles de maïs avec et sans sous-semis de fétuque rouge (CIPF & Protect'Eau, 2018 ; Le Bussy, 2018). Cependant, lors de la réalisation des tests du CIPF en 2018, année exceptionnellement pauvre en termes d'apport hydrique, la fétuque n'a atteint qu'une faible couverture du sol lors de la saison de culture, ce qui pourrait en partie expliquer la faible concurrence observée face au maïs.

Concernant les légumineuses, c'est le trèfle blanc qui a été utilisé dans les premiers essais menés par le CIPF en 2018, avec des couvertures du sol ayant atteint les 50%. Pour ceux-ci, les essais ont mis en avant une perte de rendement se situant entre 1 et 5% selon les essais, permettant de considérer ces espèces comme aptes à être implantées en sous-semis simultanés avec le maïs (CIPF & Protect'Eau, 2018). Cependant, les conditions exceptionnellement sèches de 2018 nécessitent de rester prudent sur les résultats obtenus. Dans d'autres études aucune différence significative concernant les rendements n'a été relevée (Dessart, 2017, Le Bussy, 2018).

Il est donc essentiel, lors de la mise en place d'un sous-semis, de rester attentif à la concurrence que cela engendre entre la culture principale (maïs ou autres) et l'autre espèce qui est introduite dans le champ sous peine d'observer des pertes de rendements plus ou moins importantes.

#### *2.3.4.2 Impact sur les propriétés physiques du sol, le ruissellement et l'érosion*

Comme déjà mentionné auparavant, la présence des sous-semis a aussi bien un impact durant la saison de culture que durant l'inter-saison, où ils agissent alors comme cultures de couverture (Dautrebande et al., 2006). De plus, la culture de couverture qui est alors induite, est directement en place après la récolte du maïs ne laissant donc aucune période où le sol est complètement à nu à l'automne en fin de saison. Les effets de protection mécaniques du sol

sont donc continus dans le temps. Tout comme cela a été mis en évidence pour la technique du strip-till, la présence de résidus de végétation ou de végétation dans le cadre du sous-semis sur le champ permettrait de limiter l'impact des gouttes de pluie et donc la formation de la croûte de battance qui s'ensuit. Cette limitation de l'impact permettrait également de limiter la quantité de particules détachées par des processus érosifs (Blanco-Canqui & Ruis, 2020 ; Bertuzzi et al., 2012), et qui peuvent donc être transportées par ces processus mais aussi par une lame d'eau qui s'écoulerait sur le champ.

Tout comme pour le strip-till, la limitation de la formation de la croûte de battance peut mener à une amélioration de la capacité d'infiltration du sol dont les pores seraient alors moins obstrués (Blanco-Canqui & Ruis, 2020). Une amélioration en matière de porosité du sol a en effet été révélée dans certaines études (Sánchez de Cima et al., 2015), permettant à une part plus importante des apports hydriques d'être infiltrée, ne participant donc plus aux eaux de ruissellement (Blanco-Canqui & Ruis, 2020).

La présence des végétaux induirait également une diminution de la vitesse des eaux de ruissellement dû à la friction engendrée. Ces eaux possèdent alors moins d'énergie cinétique, ce qui limite la capacité de détachement des particules de sol et également la capacité de transport (et donc la charge en sédiments qui peut être charriée par la lame d'eau).

Mis à part les effets de surfaces engendrés par la présence d'une végétation déjà mentionnés, des effets mécaniques souterrains peuvent également être mis en avant. Le développement d'un réseau de fines racines dense entre les rangs de maïs permettrait une meilleure fixation des particules de sol, ce qui limite l'impact des processus érosifs (Manssens et al., 2018). Cette forte exploration racinaire stabilise également les agrégats (Berendes, 2011) par enrobage de ces derniers.

Ces différents effets semblent donc indiquer une réduction du ruissellement attendu pour les parcelles où la technique du sous-semis est pratiquée. Les essais menés dans le cadre du projet MaïSolVert (CIPF & Protect'Eau, 2018) ont montré que le trèfle blanc a permis une réduction importante du ruissellement pouvant aller jusqu'à plus de 50%. L'essai de Wall et al. (1991)<sup>1</sup> avait également montré une réduction du ruissellement allant de 45 à 87% pour une association du maïs et d'une légumineuse (trèfle rouge dans le cadre de leur essai). Pour ce qui est de la fétuque, la réduction du ruissellement n'a pu être observée qu'en fin de saison en raison, comme déjà énoncé auparavant, du développement difficile engendré par les conditions climatiques exceptionnelles de 2018 (CIPF & Protect'Eau, 2018). Il est également intéressant de noter que le couvert a bien joué son rôle dans la limitation du ruissellement mais que le seuil de déclenchement du ruissellement n'a, lui, pas été modifié. Concernant l'érosion, les résultats du même essai ont mis en avant l'effet positif des deux espèces, le trèfle ayant tout de même un

---

<sup>1</sup> Evaluation des pertes de sol et du ruissellement au moyen d'un simulateur de pluie et pas suivi au cours de la saison de culture pour des événements de diverses intensités.

effet plus marqué<sup>2</sup>. Dans l'essai de Wall et al. (1991), cette réduction était estimée de 46 à 78% en comparaison au maïs sans sous-semis.

Concernant l'effet culture de couverture durant l'interculture également induit par cette technique de conservation, les impacts positifs ont déjà été largement démontrés par de nombreuses études, avec aussi bien des bénéfices pour le sol que pour l'environnement (Storr et al., 2018). Peuvent être citées notamment une diminution de la compaction ou encore une amélioration de la stabilité des agrégats humides (Blanco-Canqui & Ruis, 2020). Pour ce qui est du phénomène d'érosion, une recherche anglaise (Storr et al., 2018) a montré que pour 70% des agriculteurs ayant répondu à l'enquête, une limitation était relevée et que dans les autres cas il n'y avait pas de différence observée. D'autres études ont également démontré une baisse du ruissellement et de l'érosion de plus de 90% sur l'intégralité de la période d'interculture<sup>3</sup> (Laloy & Biielders, 2010).

Les effets ne se limitent cependant pas uniquement à la période de présence du sous-semis sur le champ et influencent également la saison de culture suivante. En effet, après la destruction de celui-ci, les résidus laissés sur le champ peuvent également avoir un effet de protection mécanique lors de la saison suivante (protection contre l'impact des gouttes de pluie et ralentissement des eaux de ruissellement notamment). Un apport de matière organique est aussi engendré ainsi qu'une favorisation de la formation d'humus qui mène à une augmentation de l'activité biologique des sols (Berendes, 2011 ; Manssens et al., 2018) et entretient la fertilité des sols (Berendes, 2011). Cet apport de matière organique et d'humus est également susceptible d'améliorer la structure du sol, et notamment la stabilité des agrégats grâce à l'apport de liants (Abiven et al., 2009). Ainsi, cette amélioration de la structure peut permettre de ralentir le développement d'une croûte de battance dans les années suivantes. Néanmoins, les effets sur une réduction du ruissellement et de l'érosion durant la saison de culture suivante dépendent de nombreux facteurs dont la quantité de biomasse apportée au système, le timing de cet apport par rapport aux événements érosifs ou encore le taux de dégradation de la biomasse enfouie (Laloy & Biielders, 2010).

Néanmoins, certains des effets énoncés, concernant surtout les propriétés physiques du sol, sont à attendre sur une période de temps de quelques années plutôt que dans un effet direct observable dès la première année d'adoption de la technique (Chen & Weil, 2011 ; Ren et al., 2019 ; Sánchez de Cima et al., 2015).

Enfin, lors de la récolte, la couverture végétale induite par le sous-semis permettrait d'améliorer la portance des machines et donc de limiter le tassement qui est engendré par leur passage (CIPF & Protect'Eau, 2018 ; Manssens et al., 2018) protégeant ainsi la structure du sol.

Les principes de conservation du sol énoncés auparavant qui sont impliqués dans le cadre de la méthode des sous-semis sont donc assez similaires à la méthode du strip-till avec la

---

<sup>2</sup> Conclusion basée sur un seul évènement significatif ayant eu lieu en fin de saison lorsque les couverts étaient maximums

<sup>3</sup>Culture de couverture de seigle et de ray-grass

réduction de l'impact des gouttes de pluie, le maintien ou l'amélioration de la résistance du sol au détachement, l'amélioration de la capacité d'infiltration du sol et la réduction de la vitesse d'écoulement.

### 3. Objectifs

L'objectif principal de ce mémoire est d'évaluer, dans le cadre d'un essai en champ, les effets de deux techniques de conservation, le strip-till et les sous-semis de fétuque rouge (*Festuca rubra*) et de trèfle blanc (*Trifolium repens*), sur la limitation du ruissellement, de l'érosion, du transfert de pesticides, ainsi que les impacts sur certaines propriétés physiques du sol. De par cela, la mise en avant des avantages pour la protection de l'environnement pourrait permettre de promouvoir ces techniques agricoles auprès du plus grand nombre.

Plus spécifiquement - la faisabilité d'une implantation simultanée dans le cadre des sous-semis ayant déjà été validée - il s'agira, pour les techniques de sous-semis et de strip-till, d'analyser et de quantifier les effets sur les quantités d'eau ruisselées, les quantités de sédiments transportées par les eaux de ruissellement et les quantités de pesticides transportées tout au long de la saison de culture et de l'interculture.

Pour ce faire, un intérêt particulier sera également porté sur :

- La capacité d'infiltration du sol via des mesures de conductivité hydraulique à saturation à différents moments clés de la saison de culture mais aussi de l'interculture ;
- La stabilité des agrégats en début et en fin d'interculture uniquement (tout du moins pour la première année de l'essai) ;
- Le pourcentage de couverture végétale tout au long de la saison de culture et de l'interculture ;
- La biomasse aérienne présente en fin de période d'interculture lors de la destruction des couverts.

## 4. Matériels et méthodes

### 4.1 Site de l'étude

Le site sur lequel a été mené l'essai est situé Rue de la Malaise à Ottignies dans la province du Brabant wallon en Région wallonne. La *figure 8* présente les alentours de la parcelle ainsi que la part de celle-ci occupée par l'essai.

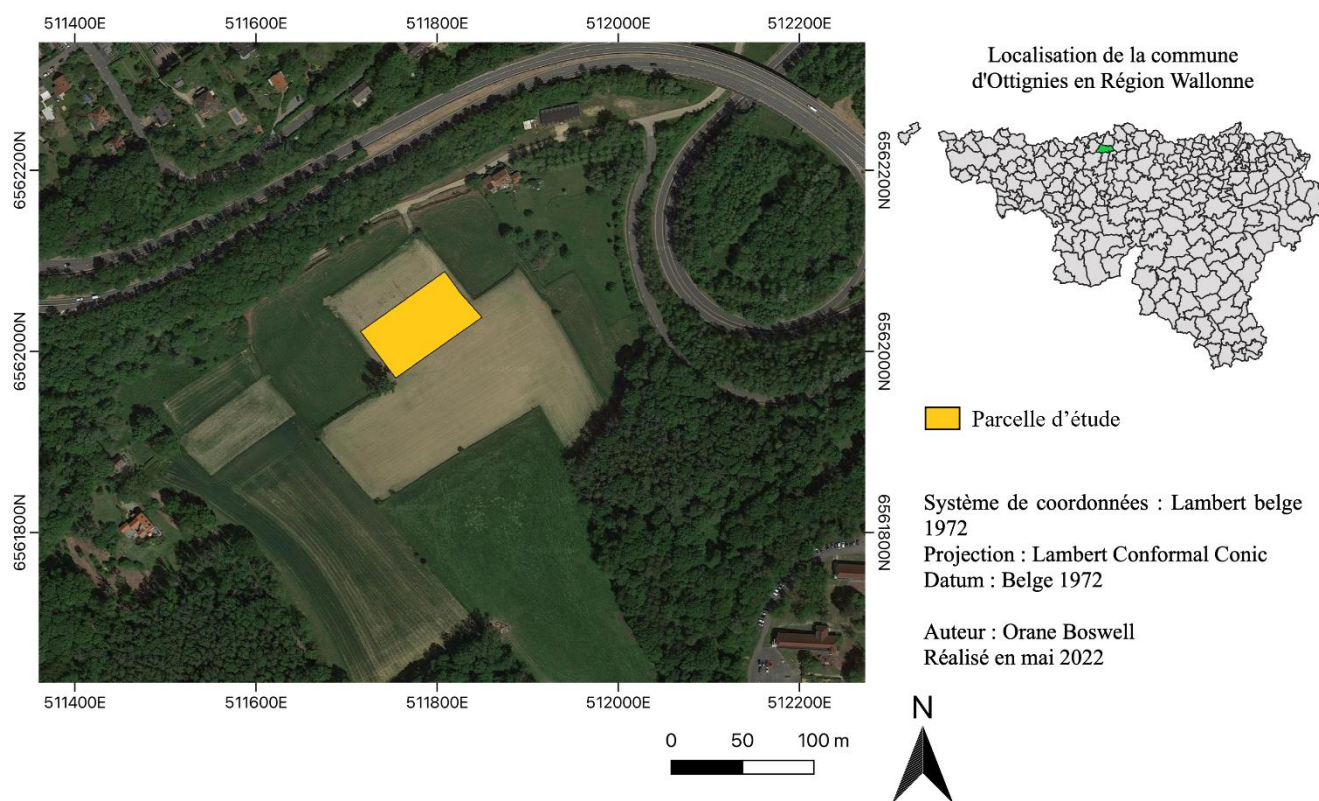


Figure 8 : Localisation de la zone d'étude - source : Google Earth

Selon la Carte Numérique des Sols de Wallonie, la zone d'étude possède un sol de type limoneux à drainage favorable (« Abp », avec p pour absence de développement de profil), ce qui correspond à un sol favorable pour la culture du maïs (Agridea, 2013). Une analyse de la texture de sol basée sur des prélèvements de terrain a également été réalisée et valide les observations réalisées sur base de la carte avec un sol de type limon fin (% sable-limon-argile : 8-72-20). La teneur en carbone organique a également été déterminée à 1,13%. La partie du champ destinée à l'étude présente une pente moyenne de 16,5%.

Les parcellaires agricoles anonymes disponibles sur la plateforme WalOnMap indiquent que du maïs ensilage y est cultivé depuis au moins 2015.

### 4.2 Description de l'essai

L'essai dont il est question dans ce document est réalisé dans le cadre du projet Intell'eau en association avec le CIPF - un organisme de recherche appliquée et de vulgarisation agricole

spécialisé en culture de maïs et de miscanthus - et le Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W).

Les essais ont été lancés au printemps 2021 et deux méthodes de conservation du sol sont testées : la technique du strip-till et la technique des sous-semis avec la fétuque rouge et le trèfle blanc.

#### 4.2.1 Plan de l'essai

La zone d'étude est divisée en 12 sous-parcelles, soit 3 répétitions de chacun des traitements : témoin, sous-semis de fétuque, sous-semis de trèfle et strip-till. Néanmoins, dans le cadre de cet essai, le sol en début de saison était nu (sans résidus de culture de la saison précédente et cela même pour les sous-parcelles de strip-till) ; il n'est alors pas possible de parler d'un « véritable » strip-till. Ceux-ci sont disposés en 3 blocs reprenant une sous-parcelle de chaque traitement disposé aléatoirement au sein de ce bloc. L'agencement des sous-parcelles dans l'espace est présenté en *figure 9*.

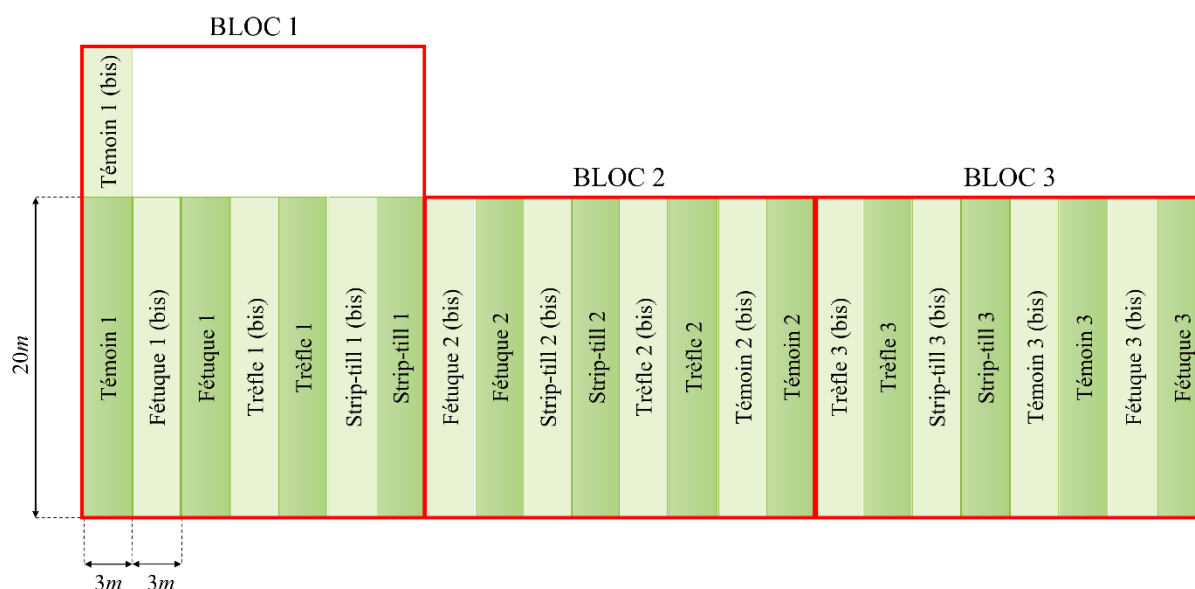
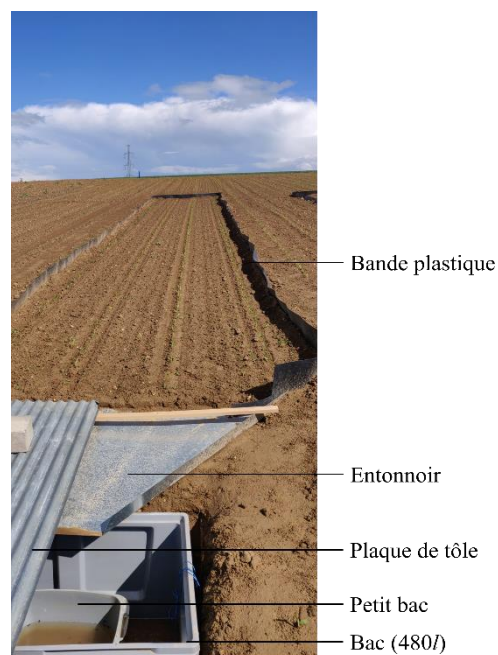


Figure 9 : Agencement des sous-parcelles en 3 blocs au sein desquels les 4 traitements sont disposés aléatoirement (les sous-parcelles « bis » présentant la même disposition des traitements mais sans le dispositif de mesure de ruissellement ; voir texte)

Chacune des sous-parcelles mesure 20 m de longueur et 3 m de largeur, soit 4 rangs de maïs espacés de 75 cm. Elles sont délimitées par des bandes de plastique enfoncées sur environ 10 cm de profondeur et dépassant du sol de 20 cm afin de les isoler hydrologiquement. Les sous-parcelles sont espacées de leurs voisines par 4 rangs de maïs et 3 inter-rangs.

Au bas de chaque sous-parcelle est placé un entonnoir qui récolte les eaux qui ruissellent de la sous-parcelle et les amène dans un bac de 480 l (environ 450 l effectifs car en pratique le bac est toujours légèrement incliné) installé dans un trou creusé en aval. Pour faciliter les mesures issues d'évènements pluvieux peu ruisselants, sont placés dans ces grands bacs, de plus petits bacs faciles à déplacer. Le trou comprenant le bac et l'entonnoir est ensuite couvert par des tôles dépassant largement du bac afin d'éviter l'apport d'eau par les précipitations directes. Le dispositif pour l'une des sous-parcelle est présenté à la *figure 10*.



*Figure 10 : Présentation du dispositif pour une sous-parcelle – source : T. Clément (UCLouvain)*

Durant la saison de culture, une parcelle « bis » située à gauche de chacune des sous-parcelles (à l'exception de la sous-parcelle 'Témoin 1' pour laquelle elle est située en haut de la pente par manque d'espace) (*figure 9*) permet de réaliser les mesures ayant un impact sur le sol et ne pouvant donc pas être réalisées au sein même des sous parcelles servant à la collecte du ruissellement, sous peine d'altérer la surface et/ou le couvert végétal et donc de fausser les autres mesures.

#### 4.2.2 Itinéraire technique

La liste des opérations réalisées sur le champ est présentée dans le *tableau 1*. A noter que l'essai est réalisé en TCSL et que la parcelle n'a pas subi de labour depuis au moins 2020.

*Tableau 1 : Itinéraire technique de l'essai*

| Date       | Opération culturale           | Sous-parcelles       | Détails                                                                                                                                                                                                                            |
|------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 27/04/2021 | Strip-till                    | Strip-till           | 1 passage                                                                                                                                                                                                                          |
|            | Travail du sol secondaire     | Témoin               | 2 passages de rotative                                                                                                                                                                                                             |
| 28/04/2021 | Semis                         | Témoin et strip-till | Outil : Semoir à disque monograine classique                                                                                                                                                                                       |
|            | Semis et sous-semis simultané | Fétuque et trèfle    | Outil : Combiné semis CIPF (rotative + rouleau classique + 1 semoir monograine à disque (maïs) surmonté d'un semoir pneumatique (sous-semis))<br><br>Trèfle blanc variété LIFLEX 4,5 kg/ha<br>Fétuque rouge variété RAFAEL 7 kg/ha |
| 08/06/2021 | Pulvérisation herbicide       | Tous                 | 0,5 l/ha Zeus (300 g/l sulcotrione), soit 150 g/ha sulcotrione                                                                                                                                                                     |

|            |                                       |                               |                                                                                                              |
|------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 17/09/2021 | Démontage du site                     | Tous                          |                                                                                                              |
|            | Echantillons estimations de rendement | Tous                          |                                                                                                              |
| 19/10/2021 | Récolte de l'essai                    | Tous                          | Réalisé par l'agriculteur                                                                                    |
| 25/10/2021 | Déchaumage                            | Témoin et strip-till          | Outil : Vibroculteur                                                                                         |
|            | Semis d'un couvert                    | Strip-till                    | 120 kg/ha seigle d'hiver (PROTECTOR), 30 kg/ha avoine rude (LUXURIAL), 15 kg/ha moutarde                     |
| 01/11/2021 | Remontage du site                     | Tous                          |                                                                                                              |
| 28/03/2022 | Mesure biomasse sous-semis et couvert | Fétuque, trèfle et strip-till |                                                                                                              |
| 29/03/2022 | Pulvérisation herbicide               | Tous                          | 2 l/ha Glyfall Plus (360 g glyphosate/l) et 2 l/ha Clinic pro (360 g glyphosate/l) soit 1440 g glyphosate/ha |

Ce sont des essais antérieurs à l'étude présentée ici qui ont permis de déterminer les espèces et les densités de sous-semis à utiliser ainsi que l'herbicide sélectionné afin d'être aussi bien sélectif à la culture principale, le maïs, qu'aux différents sous-semis, la fétuque rouge et le trèfle blanc (voir les résultats obtenus pour le projet MaiSolVert ; CIPF & Protect'Eau, 2018).

### 4.3 Mesures

#### 4.3.1 Mesures de précipitation

Les mesures de précipitations ont été effectuées via un pluviomètre à auget basculeur placé en périphérie du champ à quelques dizaines de mètres des sous-parcelles de l'essai. La majorité des données proviennent du modèle « Watchdog Rain + Temp Station 3200R1 » qui transmet les données à distance. La capacité de l'auget est de 0,25 mm de pluie et la fréquence d'enregistrement est de 10 minutes en cas de pluie et de 1 heure en temps normal.

Durant le mois de mai 2021, les données provenaient d'un autre pluviomètre (modèle Omega) possédant une capacité de l'auget de 0,2 mm et une fréquence d'enregistrement de 15 minutes.

#### 4.3.2 Mesures de ruissellement, d'érosion et de transfert de pesticides

Après chaque évènement ruisselant, le volume d'eau ruisselé au sein d'une sous-parcelle pour une période considérée et la quantité de sédiments présente dans les eaux ruisselées sont déterminés. Pour certains évènements (voir infra), la concentration en sulcotrione dans les eaux est également déterminée. Les caractéristiques principales de ce composé sont reprises dans le *tableau 2* (ChemIDplus, 2021 ; European Commission Health and Consumers Directorate-General, 2014 ; Goujon, 2015).

Tableau 2 : Propriétés principales du sulcotrione (ChemIDplus, 2021 ; European Commission Health and Consumers Directorate-General, 2014 ; Goujon, 2015)

|                                                    |                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Formule moléculaire                                | $C_{14}H_{13}ClO_5S$                                                                                                                |
| Masse molaire [g/mol]                              | 328,77                                                                                                                              |
| Sécurité chimique                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Irritant</li> <li>- Risque pour la santé</li> <li>- Risque pour l'environnement</li> </ul> |
| Solubilité dans l'eau [mg/l]                       | 165                                                                                                                                 |
| Coefficient d'adsorption ( $K_{oc}$ ) [ $cm^3/g$ ] | 36                                                                                                                                  |
| Constante de dissociation (pKa) [-]                | 3,13                                                                                                                                |
| Demi-vie [jours]                                   | 15 à 120                                                                                                                            |

Des analyses « test » sur l'évènement du 21/06/2021 ont montré que la phase adsorbée aux sédiments ne représentait que 0% à 10% des quantités d'herbicides exportées totales (dû au faible coefficient d'adsorption de 36  $cm^3/g$  que présente le composé). Les analyses lors des évènements suivants ont donc uniquement porté sur la forme dissoute en phase aqueuse.

Pour réaliser ces mesures, la liste du matériel nécessaire est la suivante :

- Seau gradué
- Bec doseur
- Flacons de 1 l (en plastique pour les sédiments et en verre ambré pour les pesticides)
- Petite pelle (ou du moins un outil permettant de racler le fond des bacs pour les mélanger, et de récupérer aisément une faible lame d'eau)
- Pompe vide-cave et groupe électrogène

Sur le terrain, la procédure telle que décrite ci-après est appliquée :

- Ouvrir les plaques de tôle recouvrant les bacs et inspecter visuellement.
- 4 cas envisageables :
  - Volume ruisselé < 2 l : pas de prise de mesure car considération qu'il s'agit de la pluie directe tombée sur le haut de l'entonnoir (quelques dizaines de  $cm^2$  d'entonnoir non couvert par les tôles). Vider le bac et le remettre en place.
  - Volume ruisselé > 30 l et eau uniquement dans le plus petit des deux bacs.
    - Homogénéiser le contenu du bac en mélangeant à la main afin de remettre les particules sédimentées en suspension (racler le fond avec la pelle) ;
    - Prélever un flacon en plastique (sédiments) et un flacon en verre (pesticides) ;
    - Prélever l'eau à l'aide du matériel adéquat et noter le volume.
  - Volume ruisselé > 30 l et eau ayant débordé dans le plus grand des deux bacs.
    - Vider le contenu du petit bac dans le grand (en faisant attention à bien mélanger le contenu du petit bac préalablement afin de remettre en suspension les particules ayant sédimenté au fond du petit bac) ;

- Homogénéiser le contenu du grand bac en mélangeant à la main ou à l'aide de la pompe si nécessaire;
- Si le volume est relativement faible, procéder comme pour le cas précédent pour les étapes de mesures de l'érosion, du transfert de pesticides et du ruissellement;
- Si le volume est important, procéder comme le cas précédent pour les mesures de l'érosion et du transfert de pesticide ; et pour le ruissellement, mesurer la hauteur d'eau aux 4 coins du grand bac et, via les dimensions du bac, calculer le volume d'eau ruisselé. Une fois la mesure réalisée, vider le bac à l'aide de la pompe et des outils adéquats.
- Volume ruisselé  $> 2 \text{ l}$  mais  $< 30 \text{ l}$  : procéder comme si plus de  $30 \text{ l}$  mais prélever uniquement un flacon en plastique (pas de prélèvement de flacon en verre pour analyse des pesticides car l'évènement ruisselant est mineur comparé au volume total ruisselé sur une saison mais également pour des raisons de budget).
- Repositionner le matériel sous l'entonnoir et replacer les tôles jusqu'à la prochaine prise de mesure.

Les échantillons « sédiments » sont ensuite traités comme suit :

- Stocker les échantillons plusieurs semaines afin de faire sédimenter les particules de sol ;
- Evacuer le surnageant afin de limiter le temps de séchage à l'étuve ;
- Placer les échantillons à l'étuve ( $45^{\circ}\text{C}$ ) environ une semaine afin de faire évaporer l'eau et de garder uniquement les sédiments secs ;
- Peser les sédiments.

Les résultats de laboratoire sont donc obtenus en  $\text{g/l}$ . Or, de manière générale, les mesures liées à l'évaluation du processus d'érosion sont présentées par unité de surface. Les concentrations en sédiments sont donc multipliées pour chaque évènement par la quantité d'eau ruisselée au sein des sous-parcelles, permettant ainsi d'obtenir une mesure en  $\text{g}/60\text{m}^2$ , puis ramenées en  $\text{g/ha}$  par conversion des unités de surface.

Les échantillons « pesticides » suivent le traitement suivant :

- Stocker les échantillons en chambre froide ( $4^{\circ}\text{C}$ ) ;
- Envoyer endéans les 48h les échantillons au laboratoire du CRA-W où sont effectuées les analyses de pesticides par méthode de chromatographie en phase liquide couplée à de la spectrométrie de masse.

Tout comme les échantillons « sédiments », les résultats sont ramenés en  $\text{g/ha}$  en utilisant les résultats obtenus pour les mesures de ruissellement.

Si un évènement ruisselant est observé avant la pulvérisation de sulcotrione, une analyse au temps « zéro » concernant la présence de différentes matières actives herbicides - dont la sulcotrione - est réalisée afin vérifier et de quantifier s'il y a ou non des résidus de pesticides issus des années précédentes.

Lors de la réalisation des moyennes pour chacun des traitements, les trois répétitions par traitements sont utilisées. Si pour certains événements des prises de mesures ne sont pas réalisables (renversement des bacs, tôles déplacées par le vent, ...) et mènent donc à un manque de données concernant certaines des sous-parcelles, la procédure suivante est appliquée : si deux bacs sont utilisables, la moyenne entre les deux est réalisée et si un seul bac est utilisable, les résultats de ce bac sont indiqués comme moyenne.

#### 4.3.3 Mesures d'infiltration

Les mesures d'infiltration ont pour but de déterminer la conductivité hydraulique du sol à saturation au niveau de l'inter-rang. Plusieurs campagnes de mesure sont réalisées durant la période de culture et durant l'interculture :

- Au début de la saison, c'est-à-dire juste après que la culture de maïs, et le sous-semis selon le traitement, aient été mis en place ;
- A la fin de la saison, c'est-à-dire juste avant la récolte du maïs ;
- Après la récolte, le déchaumage (témoin et strip-till) et le semis des couverts (strip-till) MAIS uniquement pour les traitements qui nécessitent un retravail du sol (témoin et strip-till) ;
- Avant la destruction du couvert et la mise en place du nouveau cycle de culture.

Pour chacune des campagnes, deux zones sont délimitées : une en haut de parcelle et une en bas de parcelle. Celles-ci doivent cependant être localisées à différents endroits pour chacune des campagnes afin que des mesures antérieures n'aient pas d'impact sur les suivantes (piétinement autour de la zone, empreinte de l'anneau). Pour chacune de ces zones, 2 mesures sont réalisées, ce qui donne donc 48 mesures d'infiltration par campagne. Les mesures ne sont pas réalisées au sein des sous-parcelles elles-mêmes (mais au niveau des sous-parcelles « bis ») car cela fausserait les mesures de ruissellement et d'érosion.

La liste du matériel nécessaire afin de réaliser ces mesures est la suivante :

- Infiltromètre simple anneau (7,5 cm de rayon interne)
- Goutteur (afin de saturer le sol avant de lancer les mesures)
- Bouteille de Mariotte
- Bidons d'eau
- Carré de tissu
- Graisse pour automobile
- Chronomètre

Sur le terrain, la procédure présentée ci-après est appliquée :

- Se positionner au niveau de la zone de mesure ;
- Appliquer une fine couche de graisse sur le bord interne de l'anneau ;
- Mettre une planchette sur l'anneau et taper sur la planchette pour enfoncer délicatement le simple anneau le plus droit possible dans le sol jusqu'à une profondeur de 7 cm (identique pour chaque mesure) ;

- Positionner un tissu sur la surface du sol afin de limiter l'effet de l'impact des gouttes sur le sol ;
- A l'aide du gouteur, apporter une certaine quantité d'eau afin de préhumecter le sol à l'endroit de la mesure (attendre 30 minutes sauf si le sol est déjà saturé ou humide, 15 minutes suffisent alors) ;
- Une fois le sol en partie préhumecté, installer la bouteille de Mariotte au-dessus du simple anneau et lire la hauteur d'eau toutes les 5 minutes ;
- Attendre que le volume infiltré en fonction du temps se stabilise. Quand 2 mesures identiques (ou ayant une différence maximum de 0,1 cm) sont observées d'affilée, stopper la mesure et considérer la moyenne des deux derniers relevés.

Les mesures de terrain permettent donc d'obtenir un débit d'infiltration dans l'infiltromètre en cm par x minutes. C'est l'équation de Wooding pour le régime permanent (débit constant) qui est alors utilisée afin de décrire l'infiltration à partir d'un anneau (Eq. 1) (Biielders, 2016 ; Elrick & Reynolds, 1992) :

$$Q = \frac{r \cdot \phi_m}{G} + \frac{r \cdot H \cdot K_s}{G} + \pi \cdot r^2 \cdot K_s \quad (1)$$

Avec  $Q$ , le débit d'infiltration [ $cm^3/min$ ] ;  $r$ , le rayon du perméamètre [ $cm$ ] ;  $H$ , l'épaisseur de la lame d'eau [ $cm$ ] ;  $\phi_m$ , le potentiel de flux matriciel [ $cm^2/min$ ] ;  $K_s$ , la conductivité hydraulique à saturation du sol [ $cm/min$ ] ; et  $G$ , un facteur de forme tel que (Eq. 2) :

$$G = 0,316 \cdot \frac{D}{r} + 0,184 \quad (2)$$

Avec  $D$ , la profondeur d'enfoncement de l'anneau du perméamètre dans le sol [ $cm$ ].

Les paramètres  $r$ ,  $G$ ,  $H$  et  $Q$  peuvent être directement obtenus sur le terrain au cours des mesures d'infiltration, laissant donc deux inconnues  $\phi_m$  et  $K_s$  (le paramètre à obtenir). L'équation peut cependant être simplifiée en posant l'hypothèse d'une forme exponentielle pour la courbe de conductivité hydraulique et d'un sol initialement pas trop proche de la saturation. Dans ce cas,  $\phi_m$  vaut  $K_s/\alpha$  avec  $\alpha$  basé essentiellement sur des considérations structurales et texturales. Les sols limoneux présentent un  $\alpha$  évalué à  $12 m^{-1}$  (Elrick et al., 1989). L'équation de Wooding devient alors (Eq. 3) :

$$Q = \frac{r \cdot K_s}{\alpha \cdot G} + \frac{r \cdot H \cdot K_s}{G} + \pi \cdot r^2 \cdot K_s \quad (3)$$

Et en isolant  $K_s$ , le paramètre recherché (Eq. 4) :

$$K_s = \frac{Q \cdot G}{\left(\frac{r}{\alpha} + r \cdot H + G \cdot \pi \cdot r^2\right)} \quad (4)$$

#### 4.3.4 Mesures de stabilité structurale

Les mesures de stabilité structurale permettent de quantifier la stabilité des agrégats du sol à différentes contraintes et notamment de se faire une idée de la sensibilité du sol à l'érosion et à la battance. Cette mesure est réalisée uniquement durant la période d'interculture : après la récolte du maïs, le déchaumage et le semis des couverts pour les parcelles où cela est nécessaire ; et avant la destruction du couvert et la mise en place du nouveau cycle de culture (soit au même moment que pour les mesures d'infiltration durant cette période).

Sur le terrain, il s'agira de prélever les échantillons au niveau de l'inter-rang le mieux conservé (hors de la sous-parcelle en elle-même au niveau des sous-parcelles « bis »). Une quantité identique de sol est prélevée tous les 2 m sur les 20 m de longueur de la sous-parcelle afin d'obtenir un échantillon composite représentant la sous-parcelle en un unique échantillon. Si le sol est assez sec, il est tamisé sur site pour ne garder que les agrégats ayant un calibre situé entre 3 et 5 mm qui sont conservés dans un récipient en plastique jusqu'à leur utilisation. Si le sol est trop humide, l'échantillon composite est mis à sécher un à plusieurs jours à l'air libre (vérification de l'état toutes les 24h car séchage rapide) puis tamisé pour ne garder que les agrégats de bon calibre.

C'est la méthode Le Bissonnais (2016) qui est ensuite utilisée sur ces échantillons d'agrégats de calibre 3-5 mm et qui consiste en 3 tests à réaliser en laboratoire. Une description rapide des 3 tests est explicitée ci-après. Pour plus d'informations, se référer au protocole complet de Le Bissonnais (2016).

- Humectation lente : 5 g d'agrégats sont déposés sur une table à tension à un potentiel matriciel de -0,3 kPa durant 30 minutes.
- Humectation rapide : 5 g d'agrégats sont rapidement immergés dans de l'eau désionisée durant 10 minutes.
- Agitation après pré-humidification : 5 g d'agrégats sont immergés 10 minutes dans de l'éthanol, puis transférés dans de l'eau désionisée où ils sont agités vigoureusement 20 fois. Les agrégats sont ensuite laissés pendant 30 minutes afin de sédimenter.

A la fin de chaque test, une mesure de la distribution granulométrique des agrégats est effectuée afin d'évaluer la fragmentation observée pour les différents tests. Cette étape est elle-même divisée en deux étapes distinctes : le tamisage humide avec un tamis 50  $\mu m$  dans l'éthanol et le tamisage à sec en six fractions de taille de fragments. La première étape permet de séparer les fragments de tailles supérieures et inférieures à 50  $\mu m$ . La seconde étape consiste à sécher la part de fragments dont la taille est supérieure à 50  $\mu m$  au four et à la tamiser à la main dans une colonne à six tamis afin de séparer les fractions selon les classes suivantes : 2000, 1000, 500, 200, 100 et 50  $\mu m$ . Il est alors possible de calculer le pourcentage de masse de chacune des fractions (< 50  $\mu m$  compris) et Mean Weight Diameter (MWD, le Diamètre Moyen Pondéral) selon la formule (Eq. 5) :

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i}{m_{tot}} \quad (5)$$

Avec  $m_i$  la masse de particules restant sur le tamis  $i$  [g],  $x_i$  le diamètre moyen des particules restant sur le tamis  $i$ <sup>4</sup> [mm] (moyenne entre l'ouverture des tamis  $i$  et  $i-1$ ) et  $m_{tot}$  la masse totale de particules collectée après le tamisage à sec [g].

Les résultats obtenus permettent ensuite de classer la stabilité des agrégats selon la classification présentée dans le *tableau 3*.

Tableau 3 : Classe de stabilité et de sensibilité à l'encroûtement selon les valeurs de MWD (Le Bissonnais, 2016)

| Class | MWD [mm]  | Stability     | Crustability               |
|-------|-----------|---------------|----------------------------|
| 1     | < 0,4     | Very unstable | Systematic crust formation |
| 2     | 0,4 – 0,8 | Unstable      | Crusting frequent          |
| 3     | 0,8 – 1,3 | Medium        | Crusting moderate          |
| 4     | 1,3 – 2,0 | Stable        | Crusting rare              |
| 5     | > 2,0     | Very stable   | No crusting                |

#### 4.3.5 Mesures de pourcentage de couverture végétale

Le suivi du pourcentage de couverture permet de suivre l'évolution du couvert à travers le temps et donc le pourcentage de sol directement exposé à l'impact des gouttes lors d'un événement de précipitation. Cette mesure est réalisée environ une fois par mois. La liste du matériel nécessaire est la suivante :

- Appareil photo (Pentax)
- Perche (afin de positionner l'appareil photo face au sol au-dessus de la sous parcelle à 3 m de hauteur)
- Logiciel de traitement d'images (ImageJ)

Sur le terrain, la procédure suivante est appliquée :

- Se positionner à une distance d'environ 10 m de l'aval de la sous-parcelle ;
- Prendre quelques photos perpendiculairement au sol ;
- Extraire le pourcentage de sol couvert grâce au logiciel ImageJ (proportion de pixels de couleur verte).

#### 4.3.6 Mesures de biomasse

Une mesure de la biomasse aérienne au niveau des inter-rangs est effectuée en fin de l'interculture permettant d'avoir une idée de la masse totale de végétaux qui est restituée au sol au moment de la destruction des sous-semis et cultures de couverture. Ces mesures sont réalisées au moment où l'on considère que la biomasse est maximale pour la saison d'interculture (c'est-à-dire, en l'absence de périodes de forte gelée, juste avant la destruction chimique du couvert pour la mise en place de la nouvelle culture).

La liste du matériel nécessaire est la suivante :

- Cadre 1,33m x 0,75m / Corde pour délimiter la zone de prélèvement

<sup>4</sup> Pour les particules retenues par le tamis au quadrillage de 2 mm, le diamètre moyen est fixé à 2,5 mm.

- Sécateur (ou autres moyens de coupe)
- Balance

Sur le terrain, la procédure suivante est appliquée :

- Délimiter la zone ;
- Prélever manuellement toute la biomasse aérienne ;
- Enlever les traces d'humidité superflue (pluie, rosée) en secouant les feuilles ;
- Peser la biomasse prélevée ;
- Prélever un échantillon, mettre à l'étuve à 70°C pendant quelques jours et peser pour déterminer la teneur en matière sèche.

Cette mesure est réalisée pour une placette par sous-parcelle.

#### 4.3.7 Planning complet des mesures réalisées

Un retour complet sur les dates exactes des prises de chacune des mesures est présenté aux *annexes 1* et *2*. Les mesures de ruissellement, d'érosion, de pesticides, de pourcentage de couverture végétale et la prise d'échantillons pour les mesures de stabilité structurale sont réalisées en une journée pour l'ensemble des sous-parcelles pour chaque session de mesure (*annexe 1*) ; tandis que les mesures d'infiltration demandent un temps plus long et sont donc réalisées en plusieurs jours (*annexe 2*).

Les mesures de ruissellement, d'érosion, de transfert de pesticides, de pourcentage de couverture végétale, de biomasse et d'infiltration durant la saison de culture ont été réalisées par Timothée Clément. Les campagnes de mesure d'infiltration durant la période d'interculture et les mesures de stabilité structurale ont été réalisées par Orane Boswell.

#### 4.4 Analyse des données

Le traitement et l'analyse des données obtenues pour les différentes mesures sont réalisés à l'aide des logiciels Excel et Rstudio.

Avant présentation et discussion des résultats, une analyse ANOVA est effectuée. Le but est de définir si les moyennes des échantillons étudiés proviennent de populations différentes et donc si la différence de moyenne entre les groupes est suffisamment importante par rapport à la variation moyenne au sein des groupes eux-mêmes. Ainsi, il est possible de mettre en évidence l'existence ou non d'un lien entre le facteur ou les facteurs de variabilité étudiés (technique de conservation du sol, période de mesure) et la variable d'intérêt (les mesures de terrain). Cependant, avant de réaliser ce test, 4 hypothèses sont à vérifier pour chaque variable quantitative :

- L'indépendance des observations : pour chacune des mesures réalisées, cette hypothèse est d'ores et déjà validée. En effet, la répétition des traitements au niveau de sous-parcelles différentes permet d'obtenir plusieurs résultats totalement indépendants de par leur positionnement aléatoire dans l'espace au sein de chacun des trois blocs ;
- L'absence de valeurs aberrantes (extrêmes) ;

- La normalité (les données devraient être distribuées approximativement normalement) ;
- L'homogénéité des variances.

La vérification des hypothèses effectuées, la procédure du test ANOVA est la suivante (Datanovia, 2018) :

- Calculer la variance résiduelle (variance intra-groupe), ce qui indique à quel point chaque participant est différent de la moyenne de son propre groupe ;
- Calculer la variance entre les moyennes des groupes (variance inter-groupe) ;
- Calculer la statistique F comme étant :

$$F = \frac{\text{Variance inter groupe}}{\text{Variance intra groupe}}$$

Au plus F est élevé, au plus la différence entre les groupes est significative.

Ces analyses sont réalisées dans le logiciel Rstudio grâce à l'utilisation des fonctions `anova_test()` et `aov`. La comparaison par paires est réalisée à l'aide de la fonction `tukey_hds`. Les codes de vérification des hypothèses et de l'analyse statistique sont présentés en *annexe 3*.

Dans le cas où les hypothèses ne seraient pas respectées c'est le test de Kruskal-Wallis, une alternative non-paramétrique au test ANOVA, qui est alors utilisé afin de déterminer l'existence ou non d'une différence significative entre les groupes, celui-ci ne demandant pas la vérification des hypothèses d'absence de valeurs aberrantes, de normalité et d'homogénéité des variances posées pour la réalisation du test ANOVA. Les fonctions utilisées sont alors `kruskal.test` et `pairwise.wilcox.test` (codes utilisés en *annexe 4*). Ce test ne permet cependant pas de mettre en avant l'impact de différents facteurs ou de leurs interactions contrairement à une ANOVA à deux facteurs. Il s'agit en effet d'une alternative à l'ANOVA à un facteur. Néanmoins, dans le cas où deux facteurs sont à analyser, les groupes de comparaison sont alors formés en prenant en compte les deux facteurs simultanément pour la comparaison par paires.

## 5. Résultats et discussion

Dans la suite du document, les notations utilisées dans les figures et tableaux afin de mentionner les différents traitements sont les suivantes : T pour témoin, F pour sous-semis de fétuque, C pour sous-semis de trèfle (« clover » en anglais) et S pour strip-till. De plus, le code couleur témoin en bleu, sous-semis de fétuque en vert, sous-semis de trèfle en jaune et strip-till en rouge est également appliqué pour les graphes.

### 5.1 Précipitations

A Louvain-la-Neuve, le climat est considéré comme chaud et tempéré avec des précipitations importantes qui peuvent s'abattre toute l'année peu importe la saison. En moyenne (sur les années de 1999 à 2019), le cumul de précipitation sur l'année s'élève à 820 mm et se répartit comme présenté à la *figure 11* (Climate-data.org). Au niveau du site de l'essai, les mesures des précipitations ont été réalisées en périphérie du champ à quelques dizaines de mètres des sous-parcelles d'étude, les précipitations mensuelles sont également présentées à la *figure 11*.

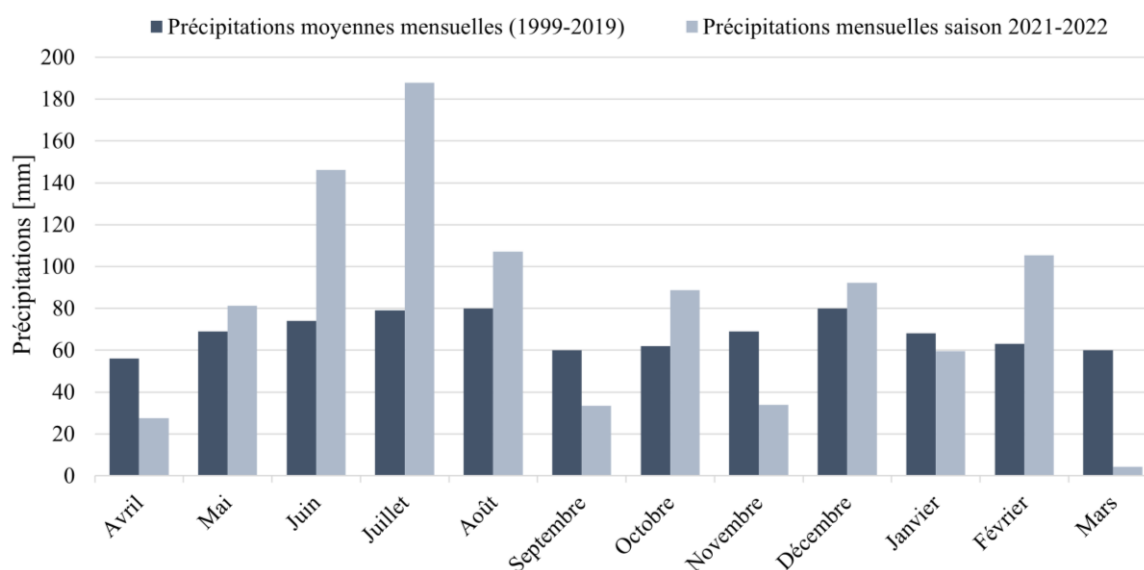


Figure 11 : Comparaison entre les précipitations moyennes mensuelles (source – Climat-data.org) et les données de précipitations pour la saison de culture 2021-2022 mesurée en champ

De manière générale, l'année 2021 fut assez riche en précipitations, avec notamment des mois d'été dont les précipitations totales ont largement dépassé les précipitations moyennes mensuelles. L'année 2022 a quant à elle commencé plus ou moins dans la norme, mis à part pour le mois de mars où seulement 4 mm de précipitations ont été totalisés, ce qui est donc très inférieur à la moyenne observée.

Au niveau des *figures 12* et *13* sont présentés les relevés de précipitations journalières du 28/04/2021 au 19/10/2021, soit la période de culture du maïs ; et du 20/10/2021 au 28/03/2022, soit la période d'interculture. Cela permet ainsi de mettre en évidence les événements de précipitation importants ayant eu lieu durant la période de l'essai. Les lignes

verticales en transparence rouge indiquent les jours où les prises de mesures de ruissellement, d'érosion et de transfert de pesticides ont été réalisées.

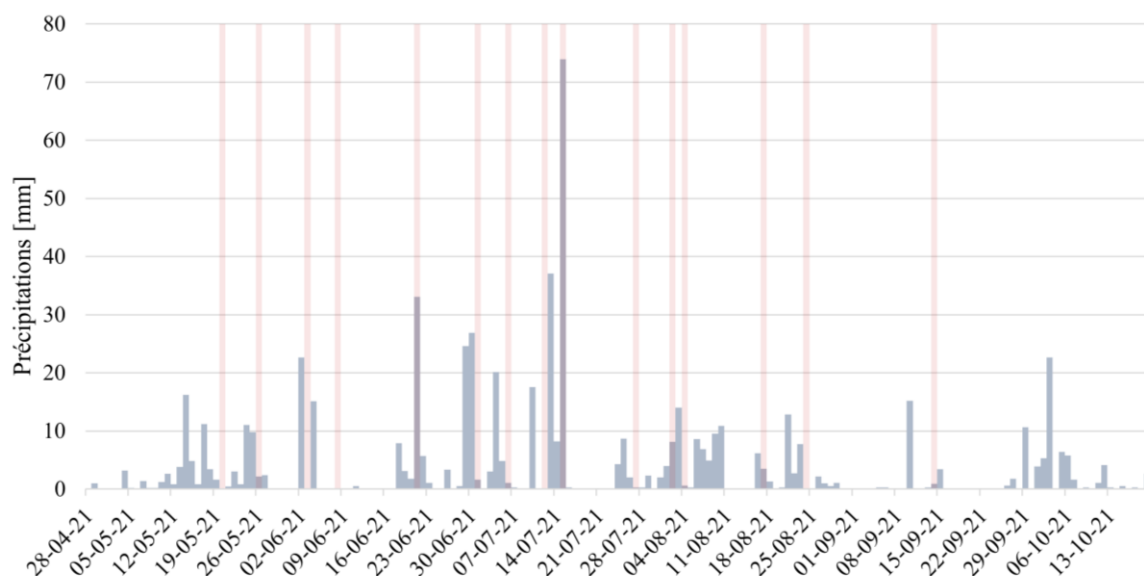


Figure 12 : Précipitations journalières observées durant la saison de culture du maïs 2021 au niveau du site de l'essai. Les lignes verticales en transparence rouge indiquent les jours où les bacs de ruissellement ont été relevés

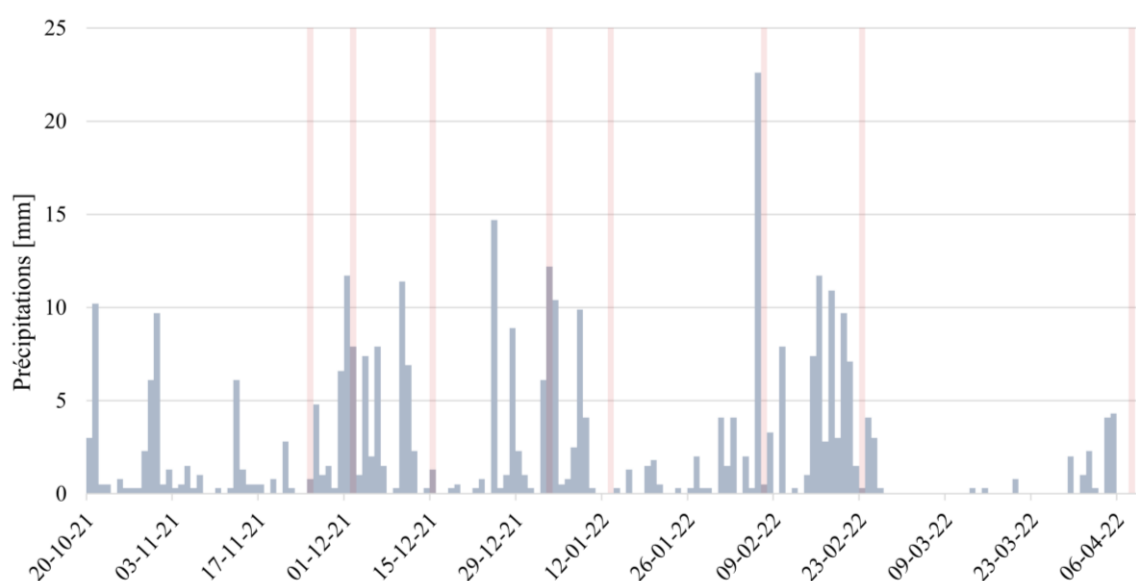


Figure 13 : Précipitations journalières observées durant la période d'interculture 2021-2022 au niveau du site de l'essai. Les lignes verticales en transparence rouge indiquent les jours où les bacs de ruissellement ont été relevés

Pour la saison de culture du maïs, un évènement sort du lot à la date du 15/07/2021. Il s'agit en effet de la période où la Belgique a connu des inondations importantes dues à la succession d'évènements de précipitation à caractère orageux avec des pluies de fortes intensités. Pour la saison d'interculture, les quantités de précipitations sont mieux réparties avec des évènements moins importants mais plus réguliers dans l'ensemble.

Quelques caractéristiques associées aux différents évènements ayant mené à des prises de mesures sur le terrain sont reprises en *annexe 5*.

## 5.2 Ruissellement

### 5.2.1 Saison de culture du maïs

Durant la saison de culture du maïs, 15 sessions de mesure ont eu lieu. Les ruissellements cumulés pour l'intégralité de la saison pour chacun des traitements sont présentés en *figure 14*. Cependant, il s'agit d'une représentation des moyennes qui ne rend donc pas compte du fait que des résultats parfois fort différents aient été observés au sein d'un même traitement ou encore du nombre d'observations considéré. Les écart-types n'ont pas été renseignés pour des questions de lisibilité du graphe. Par ailleurs, même si trois sous-parcelles par traitement étaient présentes sur le champ, pour certains événements, il n'a pas été possible d'exploiter la totalité des sous-parcelles (débordement des bacs, tôles déplacées par le vent, ...). Le graphe présenté en *figure 15* présente donc les résultats obtenus pour chaque événement individuellement afin de pouvoir prendre connaissance de ces informations (la moyenne et l'écart-type étant représentés par le barplot et les observations individuelles par les points).

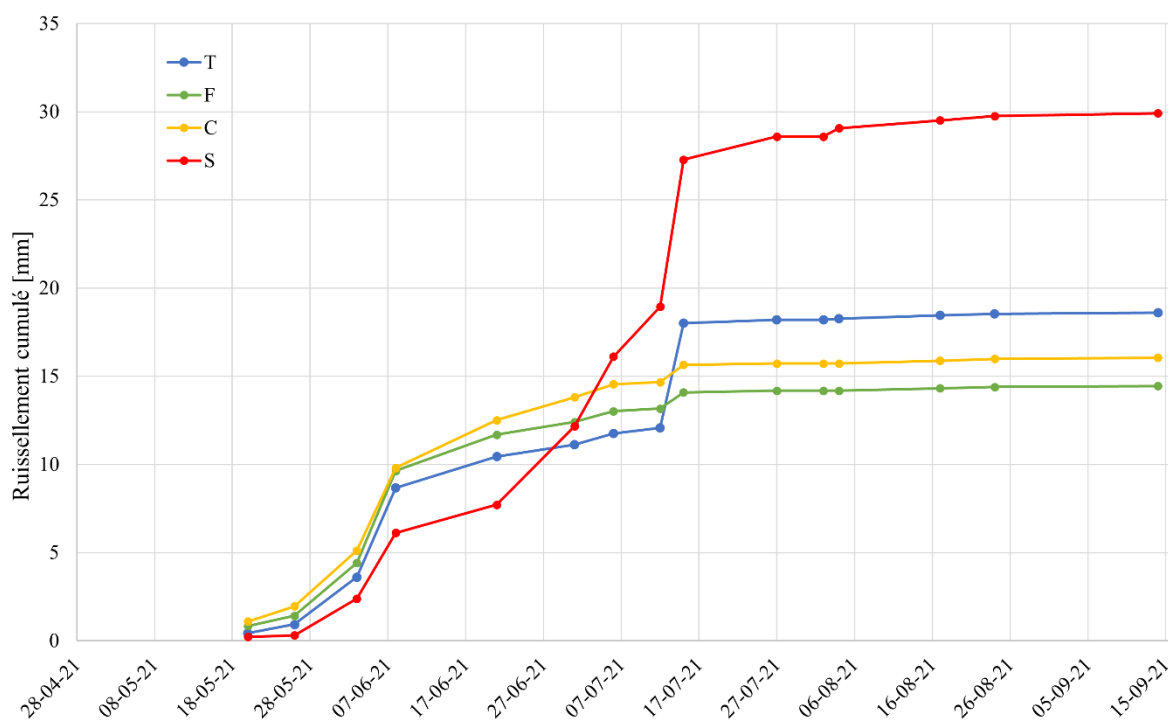


Figure 14 : Ruissellement cumulé pour la saison de culture du maïs selon les traitements

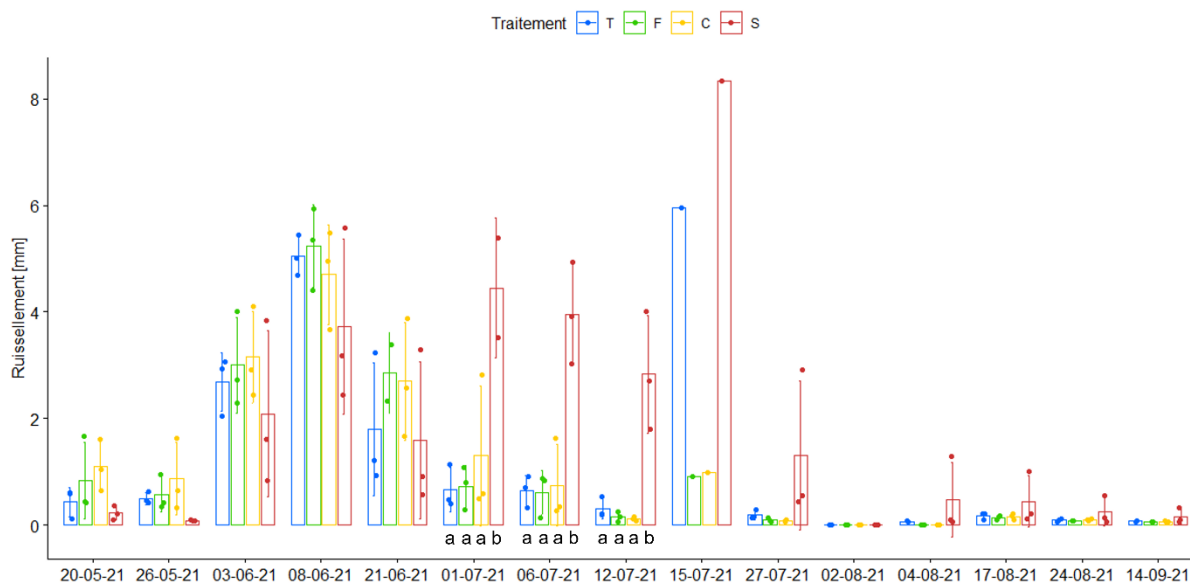


Figure 15 : Ruissellement observé en fonction des différents traitements pour chaque évènement de prise de mesure durant la saison de culture du maïs (pour les évènements considérés individuellement où une différence significative est observée, les traitements avec une même lettre au sein d'un même évènement ont des valeurs moyennes qui ne sont pas significativement différentes)

Pour les évènements considérés individuellement, lorsque les données le permettent, une ANOVA est réalisée afin de mettre en évidence les éventuelles différences significatives entre traitements. Ces résultats sont présentés dans le *tableau 4*. Pour les évènements où une différence significative est observée, une comparaison par paire est réalisée. Les résultats de ces comparaisons sont présentés sur la *figure 15*.

Tableau 4 : Analyse de la variance sur les mesures de ruissellement pour chacun des évènements individuellement durant la saison de culture du maïs

| Evènement | F value                        | Pr > F      |
|-----------|--------------------------------|-------------|
| 20/05/21  | 2,22                           | 0,163       |
| 26/05/21  | 2,14                           | 0,174       |
| 03/06/21  | 0,62                           | 0,621       |
| 08/06/21  | 1,24                           | 0,357       |
| 21/06/21  | 0,39                           | 0,765       |
| 01/07/21  | 8,53                           | 0,010       |
| 06/07/21  | 18,35                          | $6.10^{-4}$ |
| 12/07/21  | 16,54                          | $8.10^{-4}$ |
| 15/07/21  | 1 seule mesure par traitement  |             |
| 27/07/21  | 2,16                           | 0,171       |
| 02/08/21  | 0 mm pour tous les traitements |             |
| 04/08/21  | 1,30                           | 0,339       |
| 17/08/21  | 1,02                           | 0,433       |
| 24/08/21  | 1,00                           | 0,441       |
| 14/09/21  | 1,60                           | 0,265       |

Une première constatation concernant ces deux graphes est le comportement similaire des deux traitements de sous-semis, ne permettant donc pas de mettre en avant l'avantage de l'un par rapport à l'autre. En comparaison aux sous-parcelles témoin, ils montrent également une

évolution plutôt similaire sur une large proportion des évènements. Néanmoins, pour l'évènement du 15/07/2021, il semblerait que les sous-parcelles de sous-semis aient pu mener à une réduction du volume de ruissellement en comparaison à ce qui a été observé pour le traitement témoin. Il est cependant important de souligner que seule une sous-parcelle de chaque traitement a pu mener à une mesure de ruissellement pour cet évènement. Pour le traitement de strip-till cela est dû à un débordement des bacs en bas de parcelle tandis que pour les autres traitements, la force d'Archimède ayant soulevé les bacs dans le trou, il n'a pas été possible de définir de volumes ruisselés. Les conclusions tirées concernant cet évènement doivent donc être prises avec beaucoup de précaution.

Ensuite, pour ce qui est du traitement de strip-till, deux comportements différents sont observés au cours de la saison. Tout d'abord, en début et en fin de saison de culture du maïs, les sous-parcelles de strip-till présentent un ruissellement similaire aux trois autres traitements. En début de saison, il paraît même que le ruissellement est légèrement inférieur dans le strip-till (sans que cela soit significatif). Il apparaît également que l'une des sous-parcelle tire quasiment systématiquement les résultats à la hausse lorsque ce comportement est observé. Ensuite, durant le mois de juillet, un ruissellement largement supérieur à celui constaté pour les autres traitements est observé dans le strip-till.

Il est néanmoins difficile de donner une raison à l'évolution observée du comportement des sous-parcelles de strip-till. Une hypothèse qui peut être évoquée est liée à la manière dont est travaillé le sol. Pour les témoins, le travail est uniforme sur toute la sous-parcelle, laissant donc un sol avec une surface semblable sur l'intégralité de la sous-parcelle. Pour ce qui est du traitement de strip-till, il a été observé que le travail du sol et le passage du semoir au niveau des rangs a abaissé le niveau du sol par rapport aux inter-rangs. Un relief constitué de zones surélevées au niveau des inter-rangs et de dépressions au niveau des rangs de maïs est donc observé au final (*figure 16*). Lors des évènements de précipitations, il est dès lors possible que, de par cette différence de relief entre rangs et inter-rangs, les eaux de ruissellement s'écoulent d'abord vers le rang, avant de s'écouler vers le bas de la parcelle (par effet de gravité, la zone étant plus basse). Cet écoulement en deux phases - vers les rangs puis vers l'aval - limite donc les possibilités de stockage superficiel de l'eau dans les parcelles de strip-till, induisant donc un ruissellement plus important. Par ailleurs, le sol n'ayant pas été travaillé au niveau des inter-rangs, la croute héritée des précipitations passées n'a pas été détruite et a donc continué à se former à partir d'un stade plus avancé que pour les autres traitements, induisant donc une perméabilité moindre que le traitement témoin. Néanmoins, la croute héritée



*Figure 16 : Relief constitué de zones surélevées au niveau des inter-rangs et de dépressions au niveau des rangs pour une parcelle de strip-till – source : T. Clément (UCLouvain)*

des mois précédant au niveau des parcelles de strip-till ne semble pas avoir d'impact sur le ruissellement au début de la saison de culture en comparaison au témoin.

Pour les événements de précipitation importants, ayant eu lieu majoritairement en juillet (*annexe 5*), les effets combinés de la croute plus développée au fil de la saison et du stockage superficiel moins important pour le strip-till auraient donc induit une moins bonne infiltration de l'eau menant à un ruissellement plus important en comparaison au témoin. Pour les événements précédant juillet, il est supposé que la croute étant à un stade de développement moins avancé, cela a en partie permis de limiter le ruissellement. Par ailleurs, pour les événements d'intensité et de volume moins importants ayant lieu avant et après juillet, ce phénomène se marquerait également moins dû aux caractéristiques des précipitations plutôt qu'à un changement au sein des sous-parcelles de strip-till même.

Sur le graphe présenté en *figure 17*, ce sont les quantités totales d'eaux ruisselées sur l'intégralité de la saison de culture du maïs qui sont représentées. Aucun des traitements utilisés ne permet de réduire les quantités d'eau ruisselées de manière globale sur l'intégralité de la saison de culture par rapport au témoin ( $p = 0,062 > 0,05$ ).

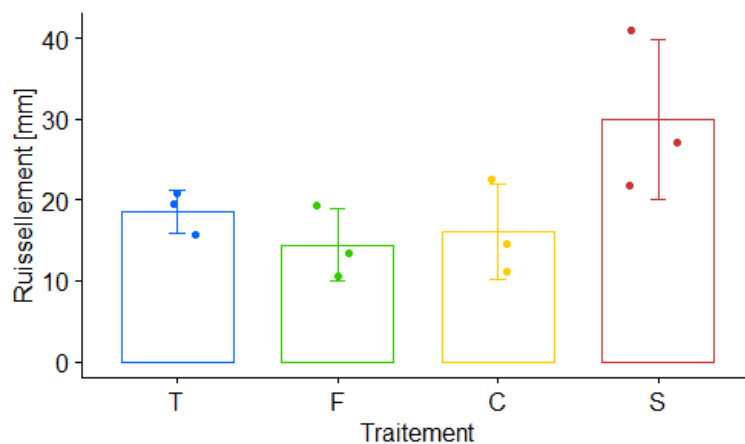


Figure 17 : Ruissellement cumulé pour l'intégralité de la saison de culture du maïs

Une comparaison des quantités d'eau ruisselées moyennes par traitement en fonction de l'intensité maximale de la pluie sur une heure est également présentée en *figure 18*. Pour le strip-till, une distinction a également été faite entre les événements pour lesquels il n'y a pas de différence significative entre traitements (en orange) et ceux pour lesquels il existe une différence significative (le mois de juillet, en brun).

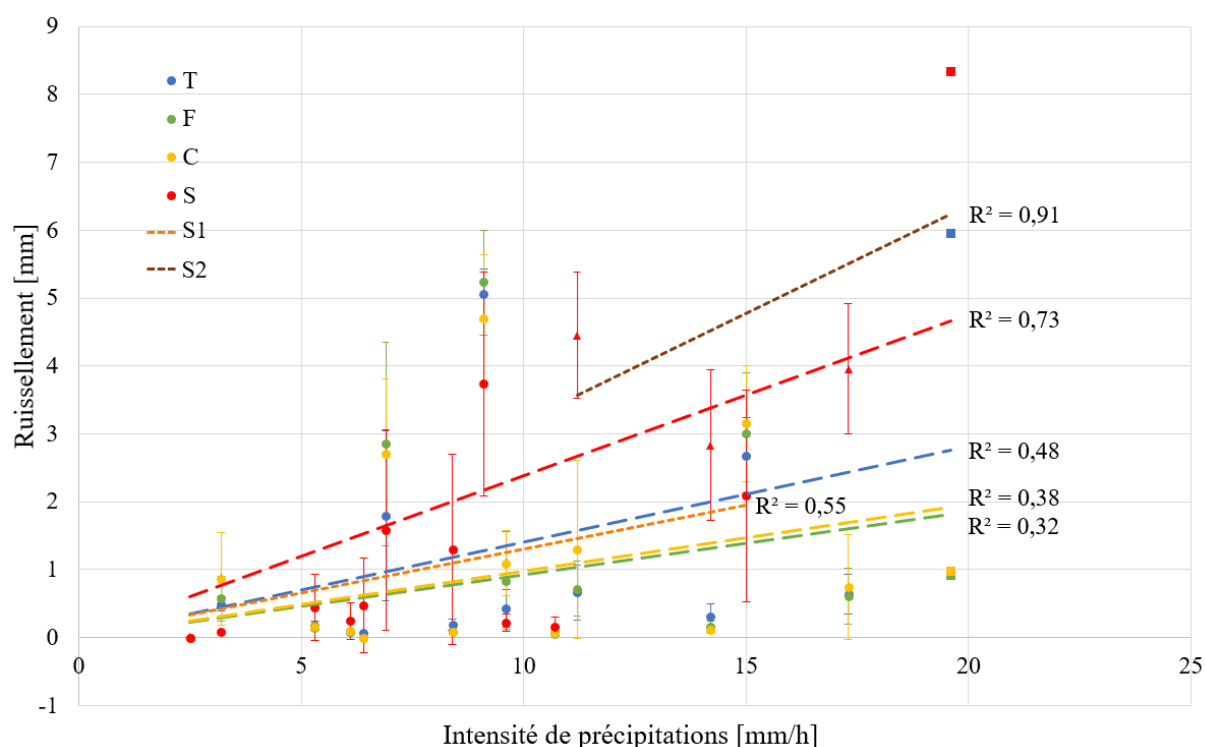


Figure 18 : Ruissellement observé sur les différents traitements en fonction de l'intensité maximale de précipitation durant la saison de culture du maïs. Pour le strip-till, la régression linéaire a également été déterminée pour les événements pour lesquels il n'y a pas de différence significative entre traitements en orange (S1) et ceux pour lesquels il existe une différence significative en brun (S2). Les symboles en triangle correspondent aux événements pour lesquels une différence significative a été observée entre traitements et les symboles en carré à l'évènement du 15/07/2021 (une seule répétition par traitement).

Tout comme auparavant, il est possible de constater que les deux traitements de sous-semis ont une réaction similaire en fonction de l'intensité des précipitations. Il apparaît également une faible différence de comportement entre témoin et sous-semis. Cependant, la régression du témoin semble être fortement tirée par le point présentant l'intensité maximale (19,6 mm/h) tandis que pour les autres intensités, témoin et sous-semis sont proches. De plus, les résultats pour l'évènement d'intensité maximale sont d'autant plus à prendre avec précaution du fait qu'il s'agit de l'évènement du 15/07/2021 pour lequel une seule répétition par traitement a été considérée (carrés à la figure 18). Ces mêmes observations peuvent être menées concernant les quantités ruisselées en fonction de la pluviométrie totale de l'évènement majeur (figure 19). L'évènement du 15/07/2021 avec 73,9 mm précipités (carrés figure 19) semble de nouveau fortement influencé la régression du témoin (les autres évènements présentant des résultats beaucoup plus proches pour témoin et sous-semis).

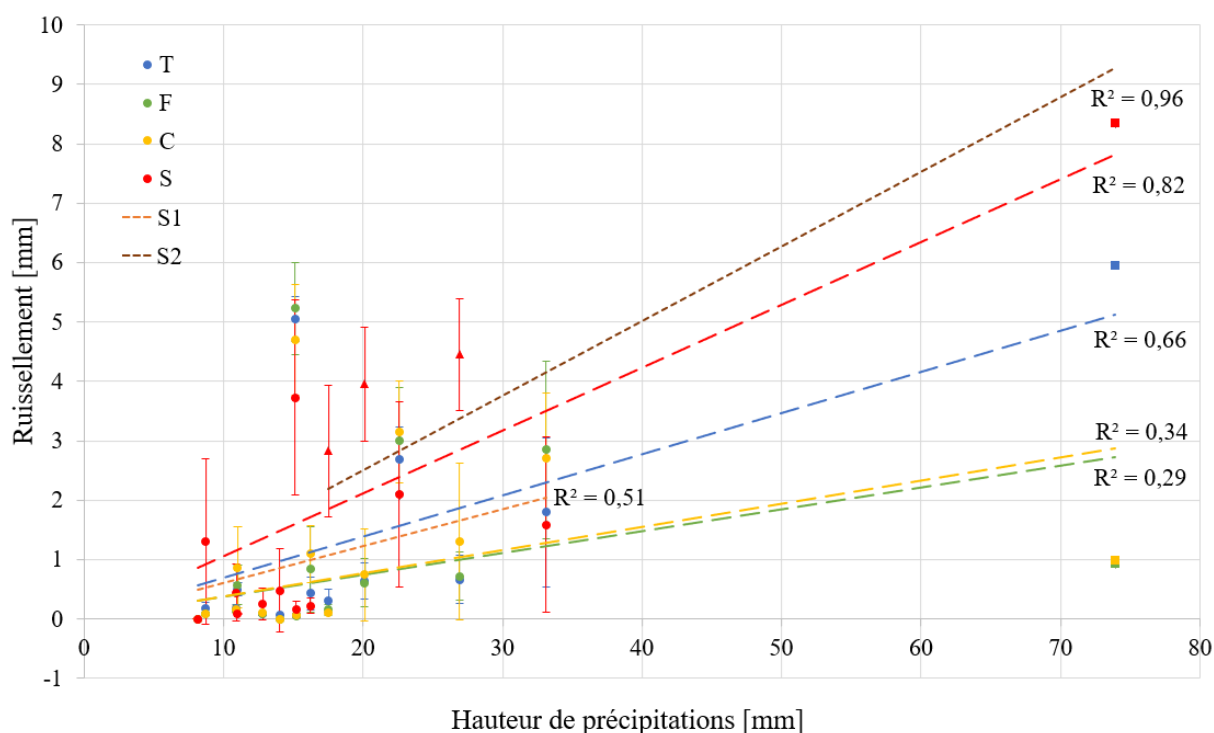


Figure 19 : Ruissellement observé sur les différents traitements en fonction de la hauteur de précipitations pour chaque évènement durant la saison de culture du maïs. Pour le strip-till, la régression linéaire a également été déterminée pour les évènements pour lesquels il n'y a pas de différence significative entre traitements en orange (S1) et ceux pour lesquels il existe une différence significative en brun (S2). Les symboles en triangle correspondent aux évènements pour lesquels une différence significative a été observée entre traitements et les symboles carré à l'évènement du 15/07/2021 (une seule répétition par traitement).

Pour ce qui est du traitement strip-till, la régression en orange est très proche de la régression obtenue pour le témoin, témoignant donc bien de la différence non significative observée entre les deux traitements. La régression en brun, basée sur les évènements du mois de juillet est, elle, bien distincte du témoin, témoignant du ruissellement supérieur observé. En mettant en évidence les évènements pour lesquelles une différence significative est observée à la suite de l'analyse statistique (triangles aux figures 18 et 19), il est constaté que ceux-ci représentent en grande partie les évènements d'intensités les plus importantes observées durant l'essai (l'évènement du 15/07/2021 présentant intensité et volume maximal précipité mais avec uniquement une répétition par traitement est indiqué par les carrés). La part de responsabilité associée au type de précipitation observé semble donc avérée.

Concernant le seuil limite de déclenchement du ruissellement, il est difficile de conclure quoi que ce soit avec les données récoltées durant cet essai étant donné que seul deux évènements de précipitation relevés sur le terrain ont mené à un ruissellement nul pour certaines sous-parcelles. Il est évidemment possible que d'autres évènements non considérés aient également mené à des quantités de ruissellement nul mais il n'est pas possible d'en être certain pour tous. En effet, rien ne certifie que la totalité de l'eau relevée dans les bacs ne s'est écoulée que lors de l'évènement majeur et pas lors des évènements moins importants qui n'ont pas mené à une mesure sur le terrain.

Dans l'un des cas, les quatre traitements ont présenté un ruissellement nul (02/08/2021, intensité maximale observée de 2,5 mm/h) et dans l'autre, les sous-parcelles de témoin et de strip-till ont déclenché un ruissellement mais pas les sous-parcelles de sous-semis (04/08/2021, intensité maximale observée de 6,4 mm/h). Cependant, d'autres événements ayant eu une intensité supérieure à 2,5 mm/h et inférieure à 6,4 mm/h ont mené à du ruissellement au sein de tous les traitements ne permettant donc pas de fixer un seuil de déclenchement dans cet intervalle pour les traitements de sous-semis. De plus, l'évolution du sous-semis à travers la saison induit probablement également une variation de ce seuil sur la saison. Cela démontre néanmoins un seuil probablement supérieur de déclenchement pour les traitements de sous-semis et une grande dépendance aux conditions de précipitations antécédentes observées et aux conditions du sol et d'avancement dans la saison au moment de ces précipitations.

### 5.2.2 Période d'interculture

Durant l'interculture, 8 relevés ont été effectués. Tout comme pour la saison de culture du maïs, sont présentés respectivement en *figure 20* et *21*, le graphe de ruissellement cumulé et le graphe reprenant les événements individuellement.

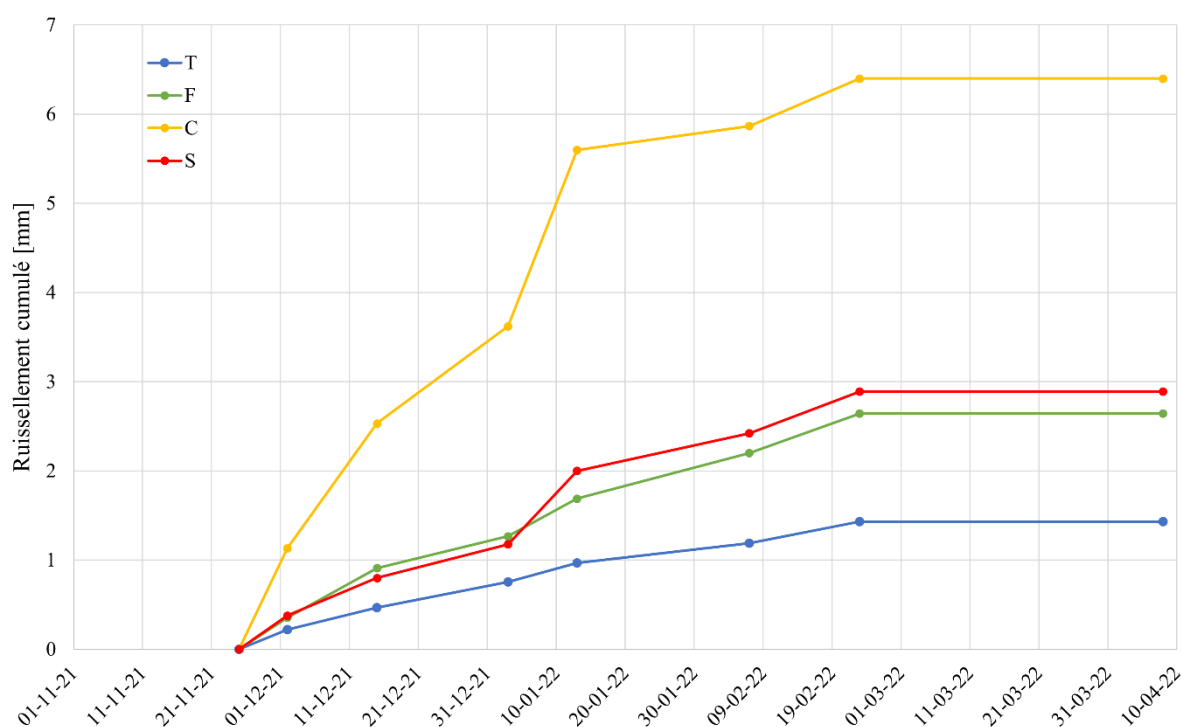


Figure 20 : Ruissellement cumulé pour la période d'interculture selon les traitements

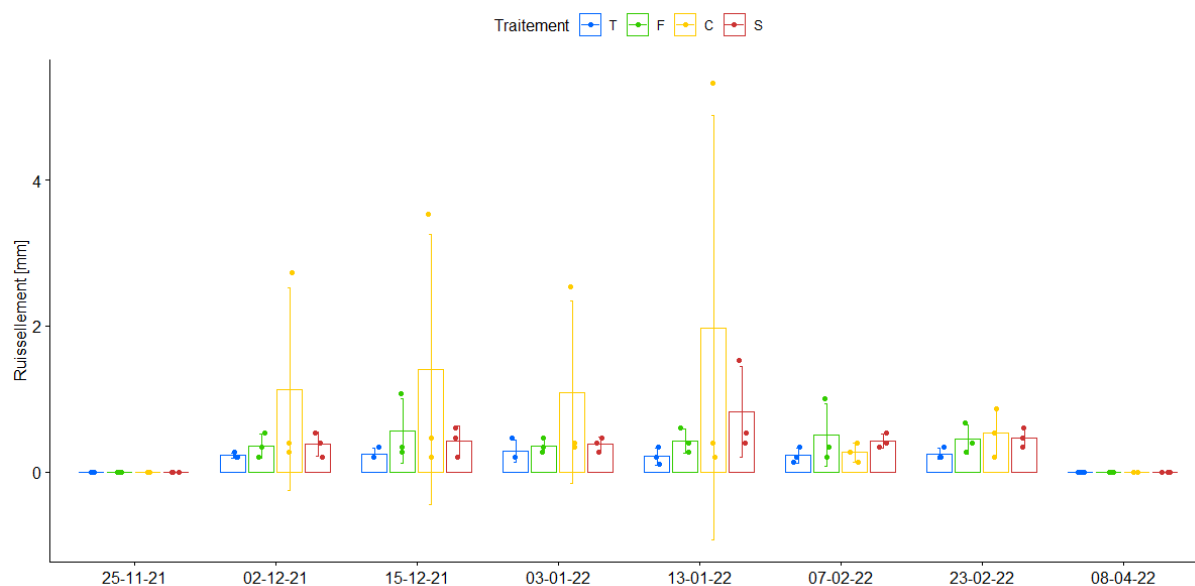


Figure 21 : Ruissellement observé en fonction des différents traitements pour chaque évènement de prise de mesure durant la période d'interculture

Pour les évènements considérés individuellement, lorsque les données le permettent, une ANOVA est réalisée afin de mettre en évidence les différences significatives entre traitements. Ces résultats sont présentés dans le *tableau 5*.

Tableau 5 : Analyse de la variance sur les mesures de ruissellement pour chacun des évènements individuellement durant la période d'interculture

| Evènement | F value                        | Pr > F |
|-----------|--------------------------------|--------|
| 25/11/21  | 0 mm pour tous les traitements |        |
| 02/12/21  | 1,03                           | 0,428  |
| 15/12/21  | 0,86                           | 0,501  |
| 03/01/22  | 1,05                           | 0,421  |
| 13/01/22  | 0,84                           | 0,509  |
| 07/02/22  | 0,98                           | 0,450  |
| 23/02/22  | 1,05                           | 0,421  |
| 08/04/22  | 0 mm pour tous les traitements |        |

La figure présentant le ruissellement cumulé semble indiquer un comportement bien différent des sous-parcelles de trèfle pour la saison d'interculture avec un ruissellement bien plus prononcé jusqu'au mois de février. Cependant, en reprenant chacun des évènements individuellement, il est constaté que ce comportement est en fait dû à une seule sous-parcelle qui tire les résultats à la hausse pour ce traitement. L'hypothèse d'une végétation moins importante au niveau de cette sous-parcelle par rapport aux autres sous-parcelles de ce traitement aurait pu en partie l'expliquer, mais les observations en champ ne corroborent pas cela. La résorption de ce comportement à partir du mois de février n'est pas non explicable par les observations visuelles en champ.

Dans les faits, ce sont les sous-parcelles de témoins qui semblent rendre compte du ruissellement moyen le moins important pour l'intégralité des évènements considérés (*figure 20*). Le sol y a en effet été déchaumé ce qui induit la destruction de la croute de battance et un

sol plus rugueux que s'il n'avait pas été retravaillé. Dans le cas des sous-semis, une partie du sol n'est plus couverte et la surface n'est pas retravaillée. Par conséquent, la croute de battance formée durant la saison de culture persiste pendant la période d'interculture, ce qui pourrait donc expliquer un ruissellement plus important pour ce traitement. Dans le cas du strip-till, le déchaumage est opéré tout comme pour le traitement témoin. Ce déchaumage impacte également les inter-rangs de par l'espacement entre les dents du vibroculteur bien plus étroit que la distance entre rangs de maïs (7 dents sur une largeur de 3 m en comparaison à 4 rangs de maïs sur cette même largeur (*figure 22*)). De plus, la culture de couverture étant semée à la volée, cela n'implique pas de travail du sol supplémentaire par rapport aux sous-parcelles de témoin pour les parcelles de strip-till. Les opérations en champ étant donc strictement identiques pour les deux traitements, aucune différence même légère ne s'observe et des effets similaires peuvent être attendus sur le sol (destruction croute de battance et augmentation de la rugosité).



Figure 22 : Vibroculteur utilisé dans le cadre de l'essai au niveau des parcelles de témoin et de strip-till – source : T. Clément (UCLouvain)

Les résultats obtenus pour les quatre traitements sont néanmoins sans différences significatives durant la période d'interculture selon l'analyse statistique, ne permettant donc pas de mettre en avant l'avantage de l'une ou l'autre technique de conservation en termes de diminution du ruissellement. Il est tout de même important de souligner le fait que les intensités de précipitations maximales observées pour la période d'interculture sont bien inférieures à celles observées durant la saison de culture de maïs.

Sur base du graphe présenté en *figure 23* et de l'ANOVA, il est également possible de constater que, tout comme pour la saison de culture du maïs, aucun des traitements étudiés ne permet une réduction globale du ruissellement observé sur l'intégralité de la saison d'interculture ( $p = 0,489 > 0,05$ ).

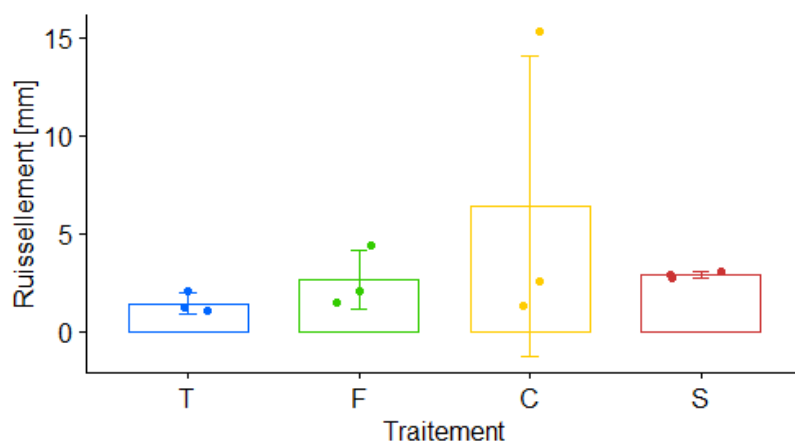


Figure 23 : Ruissellement cumulé pour l'intégralité de la période d'interculture

Concernant le seuil de déclenchement du ruissellement, il est à nouveau difficile de tirer quelque conclusion que ce soit, les conditions du sol et conditions antécédentes de précipitations n'étant pas constantes.

## 5.3 Erosion

### 5.3.1 Saison de culture du maïs

Les mesures d'érosion ayant lieu simultanément aux mesures de ruissellement, 15 sessions de mesures ont été menées durant la saison de culture du maïs. Le graphe présenté en *figure 24* présente l'érosion cumulée au cours de la saison de culture du maïs. Le graphe reprenant les données individuellement est quant à lui disponible en *figure 25*. Un zoom de la *figure 25* sur les événements ayant mené à des quantités de sédiments transportés inférieures à 1 t/ha est disponible en *annexe 6*.

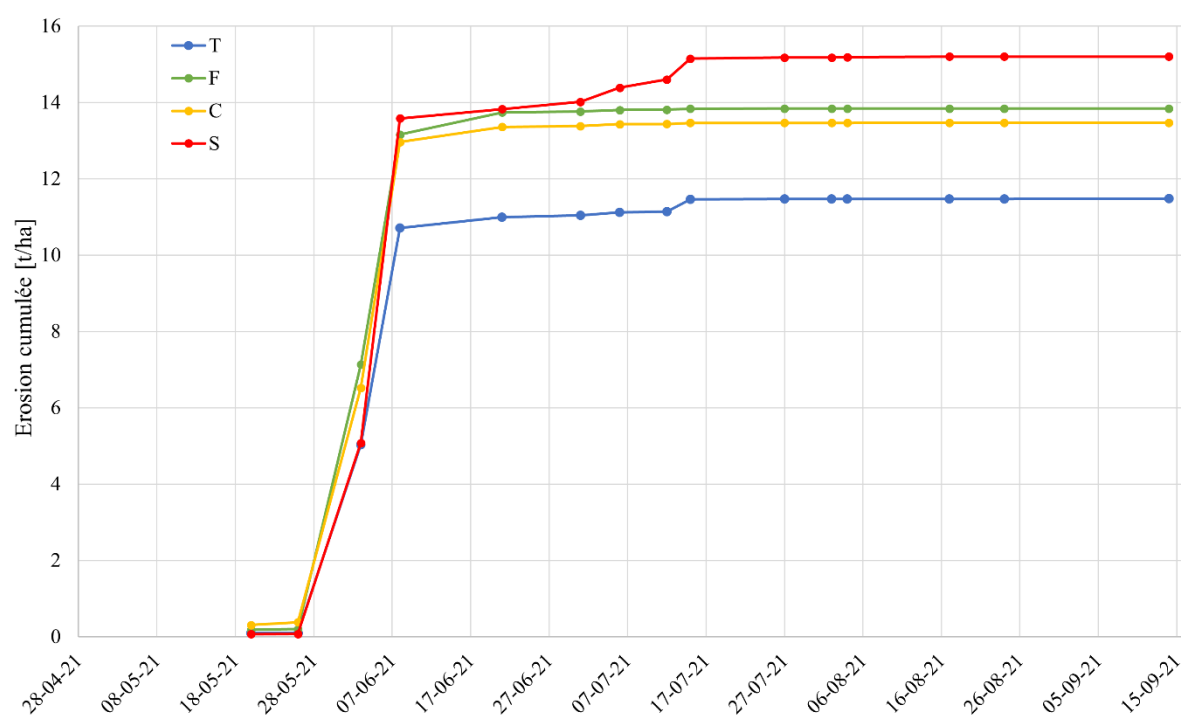


Figure 24 : Erosion cumulée pour la saison de culture du maïs selon les traitements

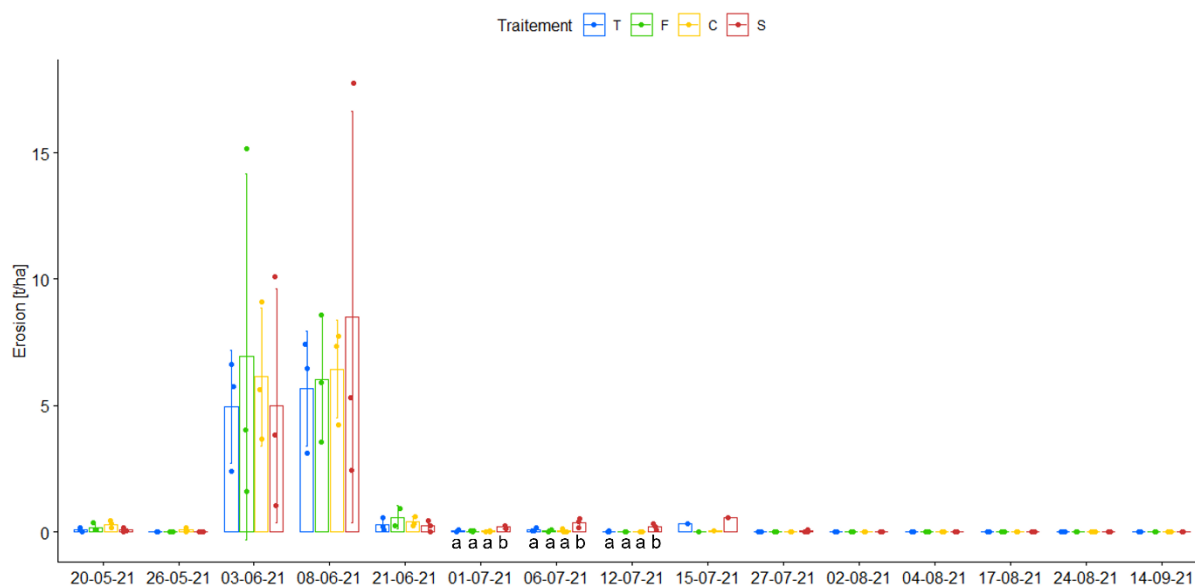


Figure 25 : Erosion observée en fonction des différents traitements pour chaque évènement de prise de mesure durant la saison de culture du maïs (pour les évènements considérés individuellement où une différence significative est observée, les traitements avec une même lettre au sein d'un même évènement ont des valeurs moyennes qui ne sont pas significativement différentes)

Pour les évènements considérés individuellement, lorsque les données le permettent, une ANOVA est réalisée afin de mettre en évidence les différences significatives entre traitements. Ces résultats sont présentés dans le *tableau 6*. Pour les évènements où une différence significative est observée, une comparaison par paire est réalisée. Les résultats de ces comparaisons sont présentés sur la *figure 25*.

Tableau 6 : Analyse de la variance sur les mesures d'érosion pour chacun des évènements individuellement durant la saison de culture du maïs

| Evènement | F value                          | Pr > F |
|-----------|----------------------------------|--------|
| 20/05/21  | 2,31                             | 0,153  |
| 26/05/21  | 1,79                             | 0,227  |
| 03/06/21  | 0,13                             | 0,94   |
| 08/06/21  | 0,24                             | 0,868  |
| 21/06/21  | 0,69                             | 0,586  |
| 01/07/21  | 9,47                             | 0,007  |
| 06/07/21  | 7,40                             | 0,011  |
| 12/07/21  | 9,28                             | 0,006  |
| 15/07/21  | 1 seule mesure par traitement    |        |
| 27/07/21  | 1,03                             | 0,431  |
| 02/08/21  | 0 g/ha pour tous les traitements |        |
| 04/08/21  | 1,37                             | 0,32   |
| 17/08/21  | 3,02                             | 0,094  |
| 24/08/21  | 1,33                             | 0,332  |
| 14/09/21  | 3,10                             | 0,089  |

Seuls deux évènements ont mené à un processus d'érosion significatif les 03/06/2021 et 08/06/2021. Ces deux évènements ont tous les deux eu lieu en début de saison de culture lorsque le sol est encore théoriquement peu couvert (voir les mesures de l'évolution du couvert végétal).

Par la suite, le développement de la couverture végétale aura permis de limiter le phénomène d'érosion et cela même lorsque des précipitations d'intensité plus importantes ont été rencontrées. En effet, pour l'évènement du 15/07/2021 correspondant à une intensité maximale sur une heure et un volume d'eau précipité importants, les quantités de sédiments érodés sont largement inférieures à celles observées pour les évènements du 03/06/2021 et du 08/06/2021. La différence résidant dans le stade de développement plus important des espèces végétales en juillet. L'effet de couverture du sol par la végétation, et donc par le maïs et pas uniquement les sous-semis, est donc bel et bien visible au niveau des quatre traitements. Pour ce qui est de l'effet des sous-semis, les résultats permettent de mettre en évidence une potentielle limitation du phénomène d'érosion pour l'évènement de précipitation du 15/07/2021, mais tout comme pour les mesures de ruissellement sans validation possible via plusieurs répétitions. Les valeurs observées au niveau de perte en terre sont néanmoins beaucoup plus faibles que celles observées en début de saison de culture. Pour les sous-parcelles de strip-till, la même division en deux phases de la saison de culture que pour les résultats de ruissellement peut être effectuée, avec une phase où l'érosion est similaire au traitement témoin et une phase où l'érosion est plus importante en juillet. Cependant, il est à noter que ces tendances sont à attribuer aux quantités d'eau ruisselées plutôt qu'à des concentrations différentes en sédiments dans les eaux de ruissellement (tableau 7). Les différences éventuelles entre traitements sont dès lors à lier aux quantités d'eau impliquées, plutôt qu'à un changement au niveau de la résistance du sol en lui-même engendré par l'un des traitements.

Tableau 7 : Concentration en sédiments des eaux de ruissellement pour chacun des évènements individuellement durant la saison de culture du maïs et analyse de la variance sur ces mesures

| Date       | Concentration en sédiments [g/l] |                 |                |                 | ANOVA   |        |
|------------|----------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------|--------|
|            | Témoin                           | Fétuque         | Trèfle         | Strip-till      | F value | Pr > F |
| 20/05/2021 | 17,3 ± 8,65                      | 20,97 ± 4,9     | 27,3 ± 3,62    | 22,33 ± 20,4    | 0,39    | 0,764  |
| 26/05/2021 | 1,87 ± 0,72                      | 3,33 ± 1,36     | 6,97 ± 2,97    | 4,07 ± 1,82     | 3,79    | 0,058  |
| 03/06/2021 | 177,2 ± 55,13                    | 199,27 ± 160,73 | 189 ± 35,31    | 210,57 ± 72,9   | 0,07    | 0,975  |
| 08/06/2021 | 111,13 ± 41,41                   | 115,3 ± 42,57   | 135,03 ± 17,41 | 195,47 ± 111,25 | 1,12    | 0,396  |
| 21/06/2021 | 14,57 ± 4,29                     | 13,8 ± 11,98    | 14,17 ± 1,44   | 15,13 ± 13,04   | 0,01    | 0,998  |
| 01/07/2021 | 8,57 ± 7,88                      | 2,9 ± 0,62      | 1,9 ± 0,78     | 5,53 ± 2,42     | 1,55    | 0,275  |
| 06/07/2021 | 10,73 ± 5,26                     | 6,37 ± 2,16     | 5,37 ± 1,37    | 9 ± 2,86        | 1,70    | 0,244  |
| 12/07/2021 | 6,53 ± 1,74                      | 6,7 ± 0,56      | 4,53 ± 2,27    | 7,17 ± 1,21     | 1,64    | 0,256  |
| 15/07/2021 | 4,23 ± 1,3                       | 1,57 ± 1,21     | 2,1 ± 1,08     | 4,67 ± 1,75     | 3,84    | 0,057  |
| 27/07/2021 | 3,6 ± 1,42                       | 4,47 ± 1,1      | 2,33 ± 0,61    | 1,37 ± 1,2      | 4,46    | 0,040  |
| 02/08/2021 | 0 ± 0                            | 0 ± 0           | 0 ± 0          | 0 ± 0           | /       |        |
| 04/08/2021 | 1,07 ± 1,5                       | 0 ± 0           | 0 ± 0          | 2,03 ± 0,55     | /       |        |
| 17/08/2021 | 2,53 ± 1,07                      | 1,97 ± 0,64     | 1,27 ± 0,9     | 4,43 ± 3,44     | 1,56    | 0,273  |
| 24/08/2021 | 2,17 ± 0,29                      | 1,43 ± 1,14     | 0,77 ± 0,98    | 4,73 ± 6,29     | 0,86    | 0,499  |
| 14/09/2021 | 2,1 ± 0,53                       | 0,47 ± 0,06     | 0,23 ± 0,4     | 1 ± 1,56        | 2,87    | 0,104  |

En s'intéressant à présent aux quantités totales érodées sur la saison de culture (*figure 26*) et au résultat de l'ANOVA, il est constaté qu'aucun des traitements n'a conduit à une diminution globale du taux d'érosion au terme de cette première année d'essai, par comparaison au témoin ( $p = 0,971 > 0,05$ ).

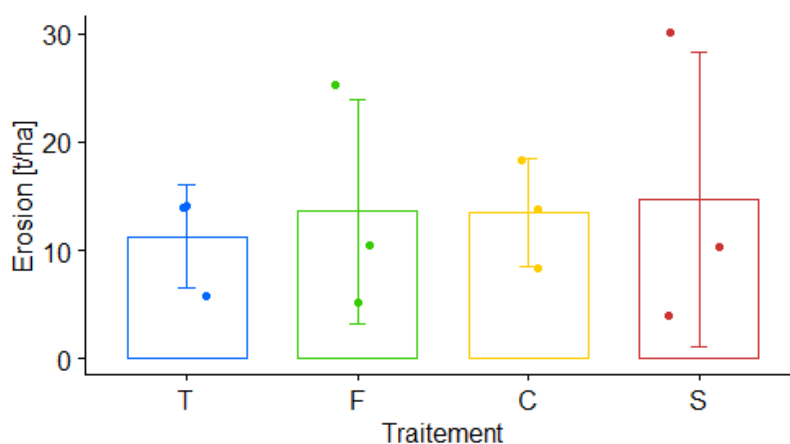


Figure 26 : Perte en terre cumulée pour l'intégralité de la saison de culture du maïs

### 5.3.2 Période d'interculture

En *figure 27* est présentée l'érosion cumulée pour l'intégralité de l'interculture et en *figure 28* les résultats obtenus pour chacun des événements individuellement.

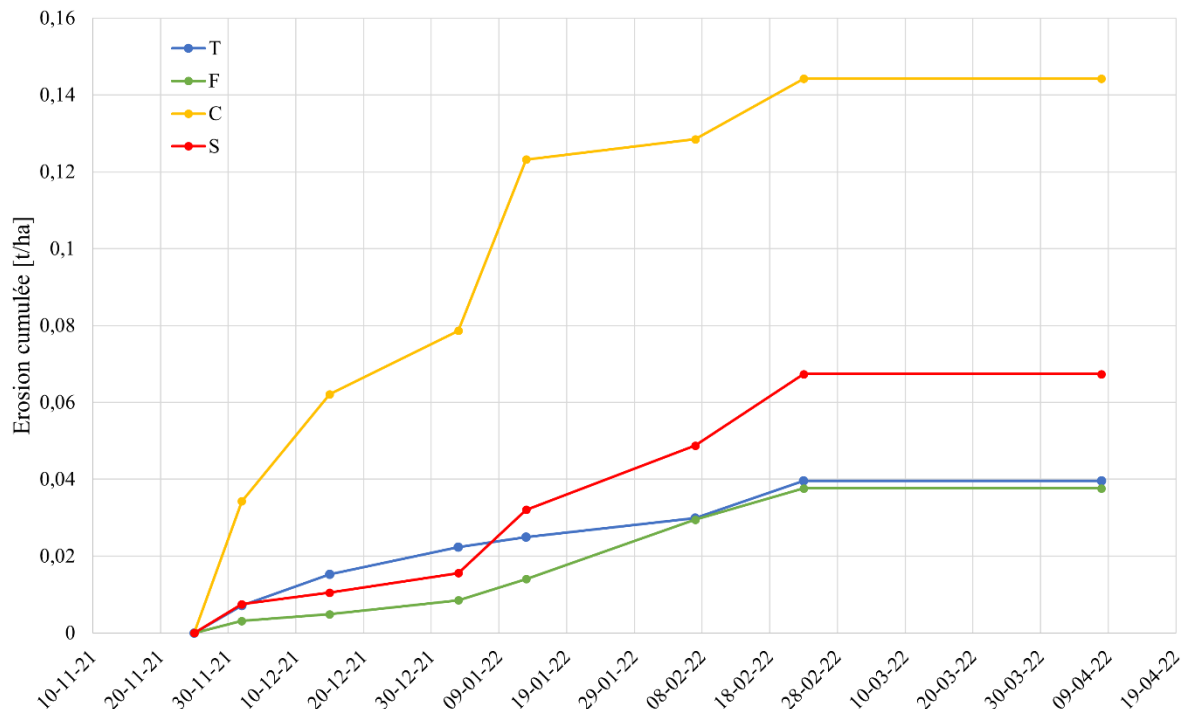


Figure 27 : Erosion cumulée pour la période d'interculture selon les traitements

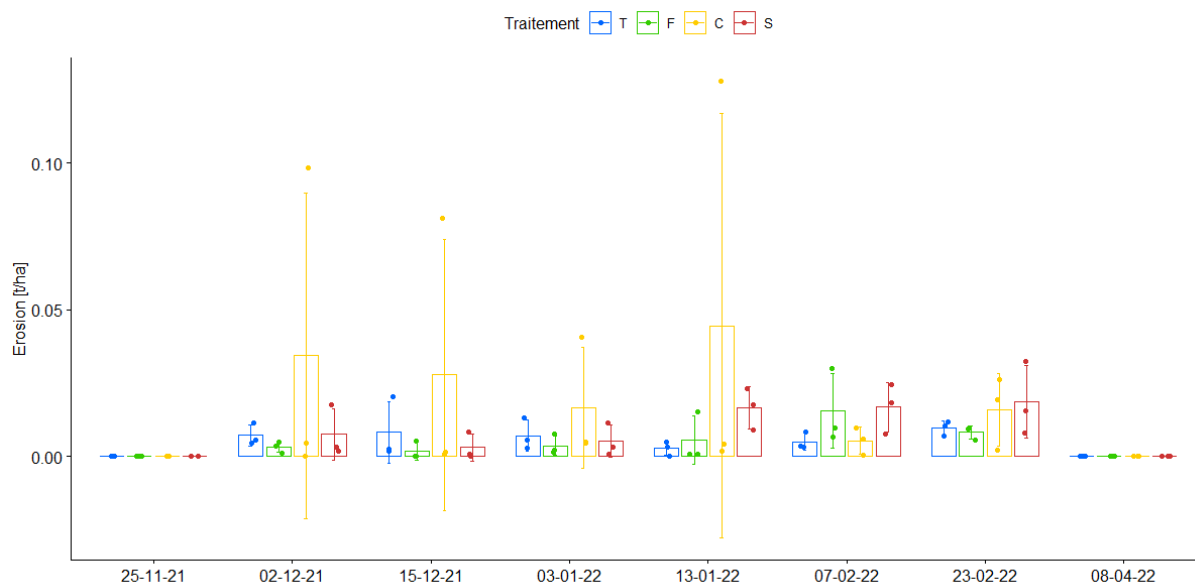


Figure 28 : Erosion observée en fonction des différents traitements pour chaque évènement de prise de mesure durant la période d'interculture

Pour les événements considérés individuellement, lorsque les données le permettent, une ANOVA est réalisée afin de mettre en évidence les différences significatives entre traitements. Ces résultats sont présentés dans le *tableau 8*.

Tableau 8 : Analyse de la variance sur les mesures d'érosion pour chacun des événements individuellement durant la période d'interculture

| Evènement | F value                          | Pr > F |
|-----------|----------------------------------|--------|
| 25/11/21  | 0 g/ha pour tous les traitements |        |
| 02/12/21  | 0,77                             | 0,541  |
| 15/12/21  | 0,77                             | 0,544  |
| 03/01/22  | 0,81                             | 0,524  |
| 13/01/22  | 0,82                             | 0,519  |
| 07/02/22  | 1,84                             | 0,219  |
| 23/02/22  | 0,91                             | 0,477  |
| 08/04/22  | 0 g/ha pour tous les traitements |        |

Tout d'abord, un élément essentiel à mettre en avant concernant ces résultats est la différence d'échelle observée en comparaison avec ce qui a pu être observé durant la saison de culture du maïs. En effet, alors que des pertes en terre de plusieurs tonnes par hectare ont été observées durant la saison de culture, les pertes ne dépassent généralement pas les 20 kg/ha pendant la période d'interculture. Les quantités de terres perdues durant l'interculture sont donc négligeables en comparaison au reste de l'année. L'explication est à aller chercher au niveau des précipitations elles-mêmes. Effectivement, il est connu que l'intensité des pluies est plus importante durant les mois de printemps et d'été, correspondant à la saison de culture du maïs, que durant les mois d'automne et d'hiver, correspondant à l'interculture ; cela est également vérifié par les mesures de pluviométrie au cours de cet essai. De plus, les témoins et strip-till ayant été déchaumés, ils sont bien plus « rugueux » qu'un lit de semence de maïs permettant donc un stockage superficiel de l'eau plus important et une croûte de battance se formant moins

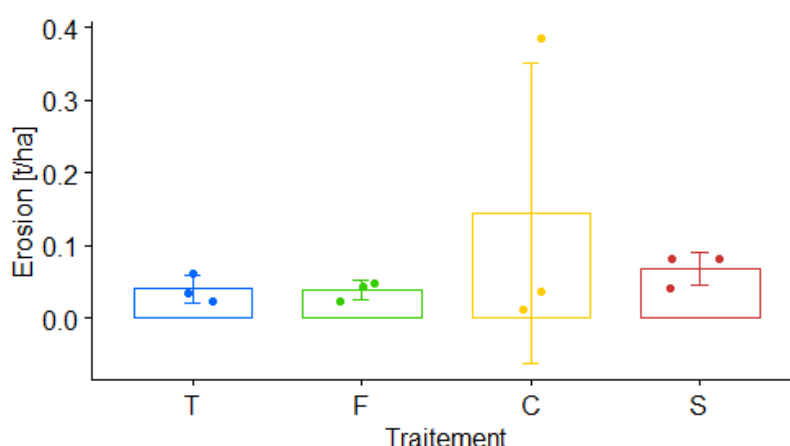
rapidement. Les sous-semis sont eux couverts de végétation ce qui n'était pas le cas en début de saison de culture du maïs.

Ensuite, il est à noter que l'une des sous-parcelles de trèfle tire de nouveau largement les résultats à la hausse pour ce traitement. Cette tendance n'est cependant pas à attribuer à une résistance mécanique du sol plus faible, qui entrainerait plus de détachement pour une même quantité de ruissellement, mais bien à la quantité d'eau ruisselée plus importante au niveau d'une des sous-parcelles comme cela a déjà été observé pour les mesures de ruissellement. En effet, en considérant la concentration en sédiments dans les eaux de ruissellement (*tableau 9*), il est constaté que celle-ci est similaire pour les quatre traitements lors des divers évènements.

*Tableau 9 : Concentration en sédiments des eaux de ruissellement pour chacun des évènements individuellement durant la période d'interculture et analyse de la variance sur ces mesures*

| Date       | Concentration en sédiments [g/l] |             |             |              | ANOVA   |        |
|------------|----------------------------------|-------------|-------------|--------------|---------|--------|
|            | Témoin                           | Fétuque     | Trèfle      | Strip-till   | F value | Pr > F |
| 25/11/2021 | 0 ± 0                            | 0 ± 0       | 0 ± 0       | 0 ± 0        | /       |        |
| 02/12/2021 | 3,37 ± 2,08                      | 1,13 ± 0,83 | 1,57 ± 1,84 | 1,63 ± 1,44  | 1,11    | 0,400  |
| 15/12/2021 | 2,73 ± 2,92                      | 0,53 ± 0,92 | 1 ± 1,13    | 0,63 ± 1, 01 | 1,08    | 0,411  |
| 03/01/2022 | 2,27 ± 0,84                      | 0,9 ± 0,61  | 1,37 ± 0,25 | 1,27 ± 1,34  | 1,37    | 0,319  |
| 13/01/2022 | 1,13 ± 1,17                      | 1,4 ± 2,08  | 1,6 ± 1,06  | 2,33 ± 0,91  | 0,42    | 0,746  |
| 07/02/2022 | 2,2 ± 0,61                       | 3,07 ± 0,21 | 1,77 ± 1,72 | 3,93 ± 1,96  | 1,54    | 0,277  |
| 23/02/2022 | 4,07 ± 0,98                      | 2,13 ± 1,27 | 2,53 ± 1,36 | 3,7 ± 1,54   | 1,50    | 0,287  |
| 08/04/2022 | 0 ± 0                            | 0 ± 0       | 0 ± 0       | 0 ± 0        | /       |        |

Enfin, aucun des traitements ne permet une diminution de l'érosion à l'échelle de l'évènement. Par ailleurs, sur l'intégralité de la période d'interculture, la *figure 29* et les résultats de l'analyse statistique indiquent également qu'aucun traitement n'est plus avantageux que les autres ( $p = 0,592 > 0,05$ ).



*Figure 29 : Perte en terre cumulée pour l'intégralité de la période d'interculture*

## 5.4 Transfert de pesticides

L'analyse effectuée en début de saison de culture avant l'application d'herbicide (le « zéro »), soit le 20/05/2021, n'a révélé aucune trace de sulcotrione (l'herbicide utilisé dans cet

essai) au niveau de la parcelle. Cependant, d'autres pesticides ont été détectés tels que le clomazone, le prosulfocarbe et l'acéclonifène. Néanmoins, les quantités de ces produits dans les eaux de ruissellement collectées lors des prélèvements suivants étant, dans plus de 90% des cas, sous les seuils de détection, aucune conclusion ne peut être tirée concernant ces résidus de pesticides.

Les résultats obtenus pour les quatre événements (21/06/2021, 01/07/2021, 06/07/2021 et 12/07/2021) pour lesquels la concentration en sulcotrione a été déterminée sont présentés à la *figure 30*. Les données indiquant une concentration nulle dans ces graphes sont en réalité des mesures où le résultat de laboratoire indiquait une valeur sous le seuil de détection ( $0,1 \mu\text{g/l}$ ). A la date du 12/07/2021, aucun échantillon n'a été prélevé pour les traitements de sous-semis étant donné qu'il y avait moins de 30 l dans les bacs en bas de parcelle. Vu que la quantité de sulcotrione transférée par les eaux de ruissellement décroît fortement au cours du temps, les échelles sont différentes d'un graphe à l'autre. Les analyses de pesticides ont été stoppées 5 semaines après l'épandage de l'herbicide au vu des très faibles concentrations observées pour les dernières mesures.

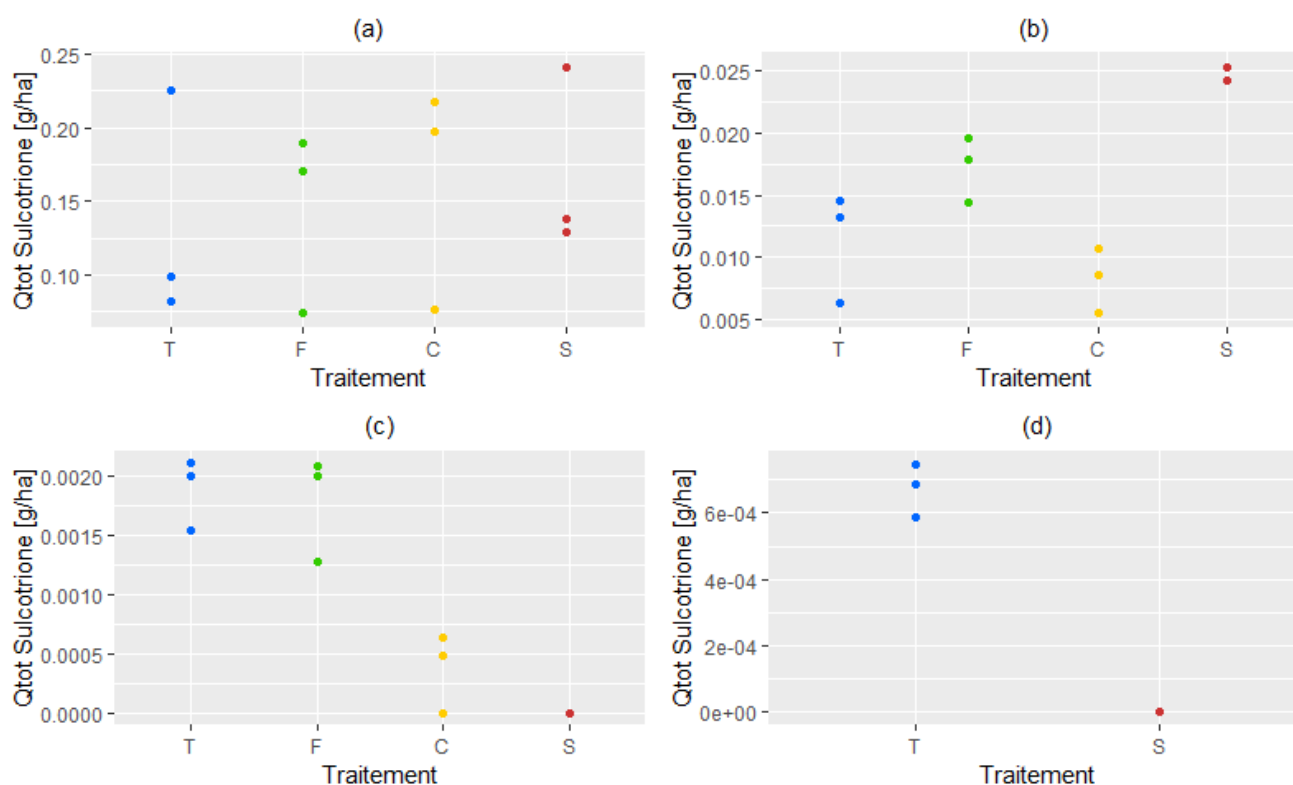


Figure 30 : Quantité de sulcotrione transportée par les eaux de ruissellement pour les événements de précipitation des (a) 21/06/2021, (b) 01/07/2021, (c) 06/07/2021 et (d) 12/07/2021. Les données indiquant une concentration nulle dans ces graphes sont en réalité des mesures où le résultat de laboratoire indiquait une valeur sous le seuil de détection ( $0,1 \mu\text{g/l}$ ).

La *figure 31* présente les quantités cumulées et permet également de noter l'effet global des différents traitements sur le transfert de sulcotrione au cours de la saison. Cette présentation des résultats démontre bien les quantités minimales transportées pour les derniers événements analysés. De plus, aucune différence significative entre les traitements ne peut être relevée aussi

bien au niveau de la dynamique du transport des pesticides au cours de la saison, qu’au niveau des quantités relarguées dans les eaux de ruissellement.

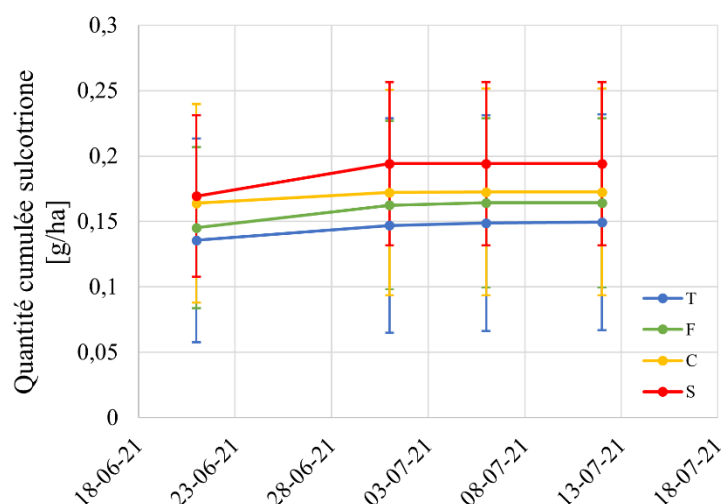


Figure 31 : Quantité cumulée de sulcotrione dans les eaux de ruissellement

Enfin, sachant que 150 g/ha de sulcotrione ont été appliqués, les pertes en sulcotrione par ruissellement représentent environ 0,1 % du total apporté sur l’intégralité de la saison de culture.

## 5.5 Infiltration

La notation utilisée pour différencier les campagnes de mesure de conductivité hydraulique à saturation est présentée dans le *tableau 10*. Les dates exactes des mesures sont présentées en *annexe 2*.

Tableau 10 : Notation utilisée pour distinguer les campagnes de mesure d’infiltration

|         |                               | Traitement |            |         |        |
|---------|-------------------------------|------------|------------|---------|--------|
|         |                               | Témoin     | Strip-till | Fétuque | Trèfle |
| Période | Début de saison (1)           | T1         | S1         | F1      | C1     |
|         | Fin de saison (2)             | T2         | S2         | F2      | C2     |
|         | Après récolte maïs (3)        | T3         | S3         | /       | /      |
|         | Avant destruction couvert (4) | T4         | S4         | F4      | C4     |

Une grande variabilité au sein des mesures est d’ores et déjà observable (*figure 32*). Cette variabilité des mesures d’infiltration entre différents sites de mesure et même au sein d’un même site n’est cependant pas exceptionnelle et a déjà été mentionnée dans d’autres études comme pouvant expliquer en partie le manque de résultats significatifs pour les études portant sur des mesures d’infiltration (Blanco-Canqui & Ruis, 2020).

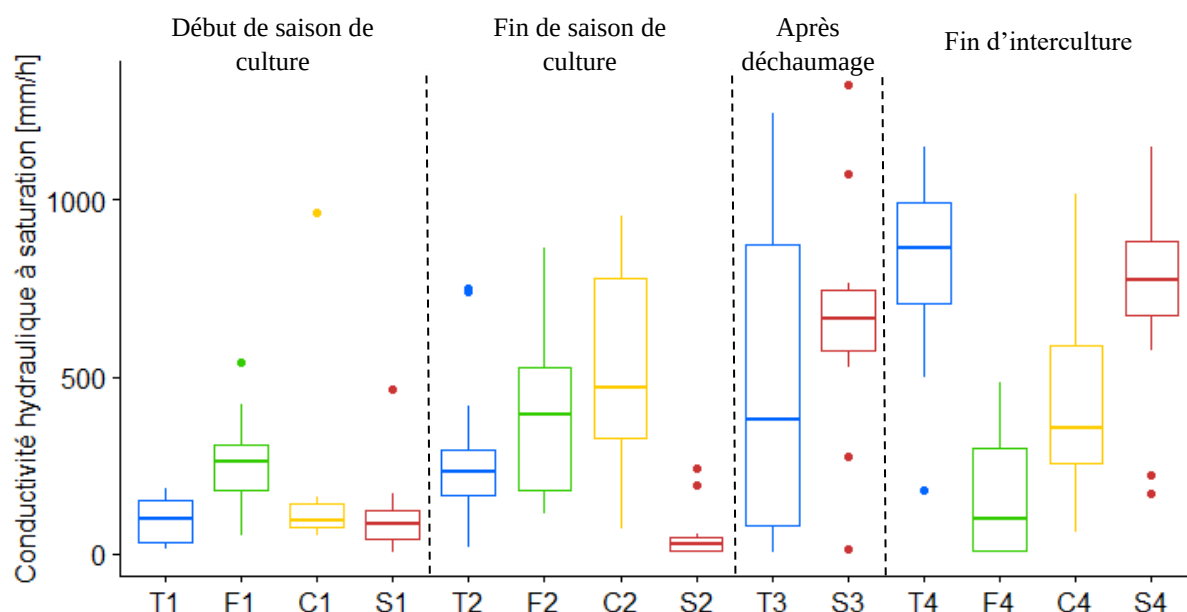


Figure 32 : Conductivité hydraulique à saturation pour la saison de culture du maïs et la période d'interculture

L'analyse statistique s'est effectuée sur le logarithme des valeurs de conductivité hydraulique et non sur les valeurs telles qu'elles sont présentées en *figure 32*, la condition de normalité n'étant pas respectée. D'autres travaux ont déjà recouru à la transformation de variables par le logarithme pour les analyses statistiques sur mesures d'infiltrations (Patin, 2011).

Les hypothèses nécessaires pour la réalisation du test ANOVA sur les mesures d'infiltration ne sont cependant pas validées et cela même après transformation de variable (présence de valeurs extrêmes, hypothèses de normalité et d'homogénéité des variances non respectées (voir *annexe 7*)). Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis est donc utilisé mais, ne permettant pas de distinguer l'impact des deux facteurs étudiés (traitement et campagne) ou de leur interaction, car il s'agit d'une alternative de l'ANOVA à un facteur, les groupes sont formés en prenant en compte les deux facteurs simultanément. Les résultats de ce dernier indiquent qu'au moins un des groupes possède une différence significative par rapport à d'autres groupes ( $p = 8,35.10^{-14} < 0,05$ ) et une comparaison par paires est alors réalisée. Le *tableau 11* présente les résultats de ces comparaisons.

Tableau 11 : Différence observée entre les différents traitements et campagnes de mesure pour les mesures de conductivité hydraulique à saturation (ns : p-valeur > 0,05 / \* : 0,05 > p-valeur > 0,01 / \*\* : 0,01 > p-valeur > 0,001 / \*\*\* : 0,001 > p-valeur)

|    | T1  | F1 | C1  | S1  | T2 | F2 | C2  | S2  | T3 | S3 | T4  | F4  | C4 | S4 |
|----|-----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|----|
| T1 |     |    |     |     |    |    |     |     |    |    |     |     |    |    |
| F1 | **  |    |     |     |    |    |     |     |    |    |     |     |    |    |
| C1 | ns  | ns |     |     |    |    |     |     |    |    |     |     |    |    |
| S1 | ns  | *  | ns  |     |    |    |     |     |    |    |     |     |    |    |
| T2 | *   | ns | ns  | *   |    |    |     |     |    |    |     |     |    |    |
| F2 | **  | ns | **  | **  | ns |    |     |     |    |    |     |     |    |    |
| C2 | **  | *  | **  | **  | ns | ns |     |     |    |    |     |     |    |    |
| S2 | ns  | ** | *   | ns  | ** | ** | *** |     |    |    |     |     |    |    |
| T3 | ns  | ns | ns  | ns  | ns | ns | ns  | *   |    |    |     |     |    |    |
| S3 | **  | ** | **  | **  | ** | ** | *   | **  | ns |    |     |     |    |    |
| T4 | *** | ** | *** | *** | ** | ** | **  | *** | ns | ns |     |     |    |    |
| F4 | ns  | ns | ns  | ns  | ns | ns | *   | ns  | ns | ** | *** |     |    |    |
| C4 | **  | *  | **  | **  | ns | ns | ns  | *** | ns | ns | *   | *   |    |    |
| S4 | *** | ** | *** | *** | ** | ** | **  | *** | ns | ns | ns  | *** | *  |    |

Dans le cadre des mesures d'infiltration, deux analyses distinctes sont réalisées : une comparaison des effets de traitements au sein de la même campagne de mesure et une analyse de l'évolution temporelle du paramètre pour chacun des traitements.

Concernant la comparaison des effets de traitements (pour chacune des campagnes prises isolément):

- Pour les mesures réalisées lors de la première campagne de mesure, c'est-à-dire juste après le semis sur un sol alors nu, il est attendu qu'aucune différence significative ne soit observée entre les traitements témoin et sous-semis de par le travail du sol presque identique réalisé au niveau des inter-rangs. Une différence pourrait par contre être observée concernant les sous-parcelles de strip-till étant donné qu'aucun travail du sol n'est réalisé au niveau des inter-rangs. Les résultats de l'analyse statistique indiquent cependant une différence entre les traitements de fétuque et de témoin tandis qu'aucune différence significative n'est observée entre les traitements trèfle et témoin. Cependant, les opérations effectuées au niveau des sous-parcelles de sous-semis étant en tout point identiques pour les deux espèces et la végétation n'ayant pas encore pu se développer, aucune explication ne permet d'expliquer cette différence du sous-semis de fétuque mais pas de trèfle par rapport au témoin. Les résultats obtenus pour les traitements de témoin et de strip-till ne présentent eux pas de différence significative. Il semblerait donc que l'inter-rang non retravaillé en strip-till avait une « bonne » perméabilité juste après le semis et cela malgré la croute. Une hypothèse avancée pourrait être que la croute au niveau de l'inter-rang des parcelles de strip-till était fortement fissurée. En effet, dans les 30 jours ayant précédé la prise de mesure, 14,6 mm de précipitations ont été recensés,

ce qui est relativement peu. Cependant, aucune observation de terrain ne permet de valider cette hypothèse.

- En fin de saison de culture, les traitements de sous-semis et de témoins présentent une capacité d'infiltration similaire (pas de différences significatives) tandis que les parcelles de strip-till témoignent d'une capacité d'infiltration plus faible au niveau des inter-rangs. Le fait que ces derniers n'aient pas subi de travail du sol en début de saison pourrait en être la cause. En effet, la croûte de battance ayant été détruite lors du travail du sol pour les autres traitements, ce n'est pas le cas pour le traitement de strip-till où celle-ci a donc pu continuer à se développer plus rapidement.
- Juste après la récolte, témoins et strip-till ayant subi les mêmes opérations de travail du sol (mis à part le semis d'une culture de couverture uniquement dans le cas du strip-till), il est normal de ne constater aucune différence dans les résultats obtenus. A noter cependant la très grande dispersion des résultats obtenus lors de cette campagne de mesure pour le traitement témoin.
- En fin de période d'interculture, les sous-parcelles de témoin et de strip-till présentent des résultats similaires et plus élevés que ceux observés pour les sous-parcelles de sous-semis. Encore une fois, c'est le rôle des opérations de travail du sol qui peut être mis en avant, celles-ci ayant permis la destruction mécanique de la croûte superficielle du sol en début d'interculture dans le témoin et le strip-till. Cela n'a pas été le cas pour les traitements de sous-semis où la formation de la croûte de battance opère donc depuis le début de la saison de culture du maïs. Avec le temps, le sol a aussi tendance à se retasser sous l'effet de l'humectation et les travaux de récolte ont également pu engendrer la compaction de certaines zones (ces zones ayant néanmoins été évitées lors de la prise de mesure). Pour ce qui est des traitements de sous-semis, les sous-parcelles de trèfle rendent compte d'une capacité d'infiltration plus importante que les sous-parcelles de fétuque. Les potentielles raisons de cela seront évoquées plus loin dans la discussion générale.

Concernant maintenant l'évolution temporelle, voici les éléments qui peuvent être mis en avant :

- Traitement témoin : la capacité d'infiltration durant la saison de culture du maïs (T1 et T2) augmente légèrement entre le semis et la récolte probablement dû à l'augmentation de l'activité biologique. L'analyse statistique permet en effet de mettre en évidence cette différence mais celle-ci reste minime et donc à nuancer. Pour ce qui est de la saison d'interculture, une amélioration de la capacité d'infiltration est observée. Cela est attribuable au fait que les sous-parcelles de témoin ont subi un déchaumage après la récolte du maïs ayant permis la destruction mécanique de la couche superficielle du sol et, de par cela, de la croûte de battance.
- Traitement strip-till : l'évolution observée est assez similaire à celle des sous-parcelles de témoin. Durant la saison de culture (S1 et S2), aucune différence significative n'est mise en évidence, démontrant donc que rien n'indique qu'un effet sur une modification de la capacité d'infiltration liée à la technique à l'échelle d'une saison de culture soit

observable. Néanmoins, vu l'absence de couvert dans l'inter-rang, il n'y avait pas de raison de s'attendre à une quelconque amélioration. Lors du passage de la saison de culture à l'interculture (S2 et S3), tout comme pour le traitement témoin, une hausse de la capacité d'infiltration est observée. De nouveau, cette variation peut être attribuée au travail du sol ayant eu lieu après la récolte du maïs.

- Traitement trèfle : le sol nu de début de saison (C1) témoigne d'une capacité d'infiltration inférieure au sol de la sous-parcelle lorsqu'il est théoriquement couvert par le trèfle (C2 et C4). La présence de ce sous-semis sur le champ induit donc une augmentation de la capacité d'infiltration qui pourrait être partiellement attribuable aux racines qui créent des macropores dans le sol mais également au fait que le couvert théoriquement en place (voir les résultats obtenus pour l'évolution du pourcentage de couverture végétale) a permis de limiter la formation d'une croûte de battance durant la saison.
- Traitement fétuque : tout au long de la saison, aucune différence significative n'est observée entre les différentes campagnes témoignant donc d'une capacité d'infiltration constante et de l'effet inexistant du sous-semis sur le paramètre. Le traitement de sous-semis de fétuque semblerait donc avoir moins d'impact sur la capacité d'infiltration du sol que le sous-semis de trèfle.

## 5.6 Stabilité structurale

Une notation similaire à celle utilisée pour les mesures d'infiltration est utilisée pour les mesures de stabilités structurale et présentée en rappel dans le *tableau 12*. Les résultats obtenus pour les trois tests sont d'abord présentés dans leur intégralité avant d'être discutés, la discussion des mesures pouvant ainsi avoir lieu sur les trois tests simultanément.

*Tableau 12 : Notation utilisée pour distinguer les campagnes de mesure de stabilité structurale*

| Période                |                               | Traitement |            |         |        |
|------------------------|-------------------------------|------------|------------|---------|--------|
|                        |                               | Témoin     | Strip-till | Fétuque | Trèfle |
|                        |                               |            |            |         |        |
| Après récolte maïs (3) |                               | T3         | S3         | F3      | C3     |
|                        | Avant destruction couvert (4) | T4         | S4         | F4      | C4     |

### 5.6.1 Humectation lente

En raison de la non-homogénéité des variances (*annexe 8*), une transformation des valeurs de diamètre moyen pondéral a été opérée via le logarithme<sup>5</sup>. Les hypothèses pour la réalisation du test ANOVA sont ainsi validées. Les résultats obtenus sont présentés dans le *tableau 13*, indiquant que les facteurs « Traitement » et « Campagne de mesure » sont hautement significatifs.

<sup>5</sup> Comme réalisé dans les analyses de Mirgain (2003)

Tableau 13 : Analyse de la variance sur les mesures de diamètre moyen pondéral à la suite du test d'humectation lente

| Facteur             | F value | Pr > F         |
|---------------------|---------|----------------|
| Traitement          | 10,08   | $1,10^{-5}$    |
| Campagne de mesure  | 137,46  | $< 2,10^{-16}$ |
| Traitement*Campagne | 1,66    | 0,184          |

Etant donné qu'est observé un effet des deux facteurs considérés individuellement mais pas de leur interaction, deux analyses sont réalisées séparément : l'analyse sur la campagne de mesure en rassemblant les données de tous les traitements pour une même campagne, et l'analyse sur le traitement en rassemblant pour un même traitement les données des deux campagnes. Les graphes présentés en *figure 33* et *34* sont alors obtenus (le tableau reprenant les comparaisons du test de Tukey pour l'effet de traitement est présenté en *annexe 9*).

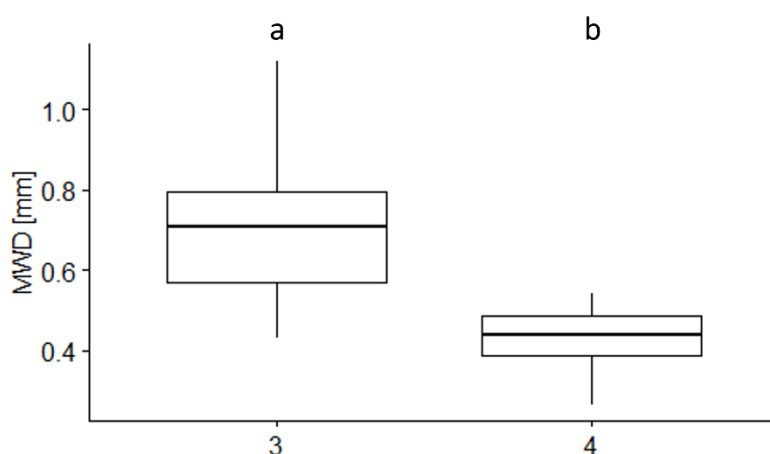


Figure 33 : Effet de campagne sur le diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'humectation lente (les groupes avec une même lettre ont des valeurs moyennes qui ne sont pas significativement différentes)

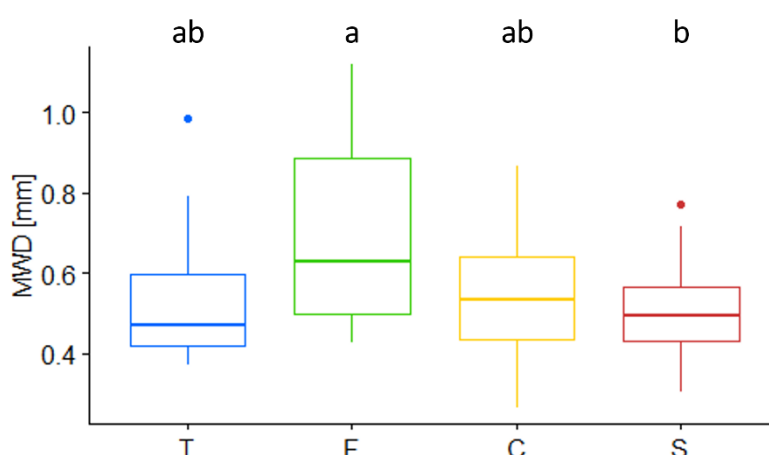


Figure 34 : Effet de traitement sur le diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'humectation lente (les groupes avec une même lettre ont des valeurs moyennes qui ne sont pas significativement différentes)

Les diamètres moyens pondéraux obtenus varient entre 0,2 et 1,2 mm pour le test d'humectation lente. Pour rappel, un diamètre moyen pondéral : inférieur à 0,4 mm témoigne d'un sol très

instable et menant à la formation d'une croute de battance systématique ; compris entre 0,4 et 0,8 mm témoigne d'un sol instable et menant à la formation d'une croute fréquente ; et compris entre 0,8 et 1,3 mm témoigne d'un sol à stabilité moyenne et menant modérément à la formation d'une croute (*tableau 3*).

Pour l'effet campagne de mesure, les résultats mettent en évidence une évolution temporelle du paramètre étudié. Un diamètre moyen pondéral plus important est en effet observé en début de période d'interculture, témoignant donc d'une stabilité plus importante et d'une plus grande résistance à la battance. Concernant l'effet traitement, ce sont les traitements de sous-semis de fétuque et de strip-till qui se différencient avec une stabilité plus importante pour les sous-parcelle de fétuque. Cependant, en comparaison au témoin aucun des traitements ne se différencie. Il est également à noter que, dans l'absolu, les différences observées ne conduisent pas à un changement de classes de stabilité telles que définies par Le Bissonnais (2016), avec une majorité des valeurs obtenues contenues dans la classe 0,4 à 0,8 mm.

### 5.6.2 Humectation rapide

Les hypothèses pour l'application du test ANOVA sont validées (*annexe 10*). Cependant, afin de garder une cohérence entre tous les traitements de données des mesures de stabilité structurale, la transformation de valeur via le logarithme est appliquée (tout comme pour l'humectation lente) ; les résultats des analyses avec ou sans la transformation étant quasiment similaires.

Le test ANOVA fournit les résultats présentés dans le *tableau 14* et permet alors de mettre en évidence que le facteur « Campagne de mesure » est hautement significatif et que le facteur « Traitement » l'est moins, mais reste hautement significatif dans l'absolu. Les graphes présentés en *figure 35* et *36* sont alors obtenus (le tableau reprenant les comparaisons du test de Tukey pour l'effet de traitement est présenté en *annexe 11*).

Tableau 14 : Analyse de la variance sur les mesures de diamètre moyen pondéral à la suite du test d'humectation rapide

| Facteur             | F value | Pr > F                |
|---------------------|---------|-----------------------|
| Traitement          | 5,51    | 0,00199               |
| Campagne de mesure  | 159,82  | < 2.10 <sup>-16</sup> |
| Traitement*Campagne | 1,65    | 0,187                 |

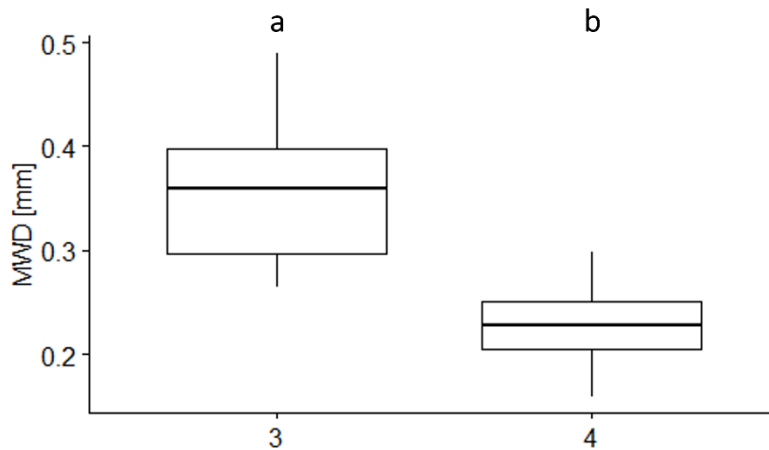


Figure 35 : Effet de campagne sur le diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'humectation rapide (les groupes avec une même lettre ont des valeurs moyennes qui ne sont pas significativement différentes)

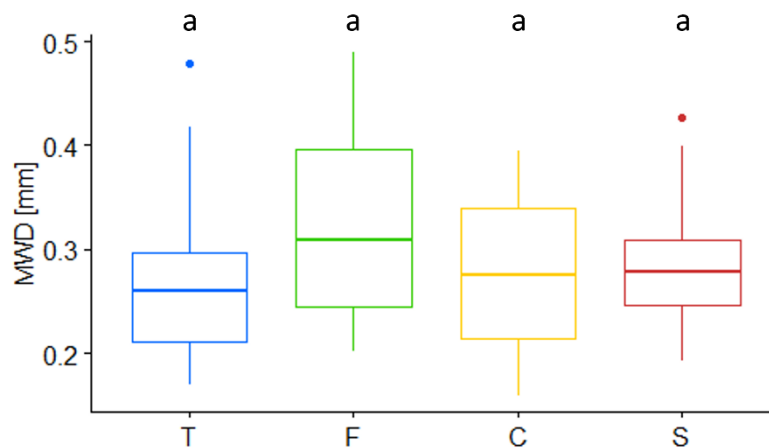


Figure 36 : Effet de traitement sur le diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'humectation rapide (les groupes avec une même lettre ont des valeurs moyennes qui ne sont pas significativement différentes)

Les diamètres moyens pondéraux varient entre 0,15 et 0,5 mm avec une majorité des observations dans la classe inférieure à 0,4 mm selon la classification de Le Bissonnais (2016) (tableau 3). Ce test, menant au phénomène d'éclatement des agrégats dû à la compression de l'air durant l'humidification, est donc plus agressif en comparaison au test d'humectation lente. Il témoigne également de la sensibilité à la battance des sols étudiés.

Tout comme pour le test d'humectation lente, une évolution temporelle est observée avec une stabilité plus importante en début de période d'interculture. Concernant l'effet de traitement, il est constaté que les comparaisons multiples sont non-significatives alors que l'ANOVA à deux facteurs était significative. Cela se produit généralement lorsque les échantillons sont de petite taille (la puissance statistique du test de comparaison multiple n'étant alors pas assez élevée pour détecter des différences significatives), le nombre de modalités est élevé (impliquant plus de p-values calculées et par conséquent une amplification de la pénalisation de ces p-values), ou encore l'effet global est faible (p-values proches du niveau de significativité) (Addinsoft, 2022). Il n'est donc pas possible de mettre en avant un effet de traitement concernant le test d'humectation rapide.

### 5.6.3 Agitation après pré-humidification

Les hypothèses pour l'application du test ANOVA sont validées (*annexe 12*). Tout comme pour les deux tests précédents, le passage en logarithme du diamètre moyen pondéral pour l'analyse statistique est effectué, ce changement ne menant à aucune différence entre les résultats des analyses avec ou sans transformation.

Le test ANOVA fournit les résultats présentés dans le *tableau 15* et permet alors de mettre en évidence que les facteurs « Campagne de mesure » et « Traitement » sont hautement significatifs mais également qu'il y a une interaction significative entre traitement et campagne. Cela signifie que l'effet de traitement n'est donc pas le même d'une campagne à l'autre ou bien que l'effet de campagne diffère d'un traitement à l'autre.

Tableau 15 : Analyse de la variance sur les mesures de diamètre moyen pondéral à la suite du test d'agitation après pré-humidification

| Facteur             | F value | Pr > F       |
|---------------------|---------|--------------|
| Traitement          | 9,14    | $4.10^{-5}$  |
| Campagne de mesure  | 64,17   | $3.10^{-11}$ |
| Traitement*Campagne | 3,22    | 0,0284       |

Le test Tukey permettant de comparer groupe par groupe les résultats obtenus est ensuite utilisé afin de savoir lesquels des groupes se distinguent. Le graphe présenté en *figure 37* est alors obtenu. Le tableau reprenant les comparaisons est présenté en *annexe 13*.

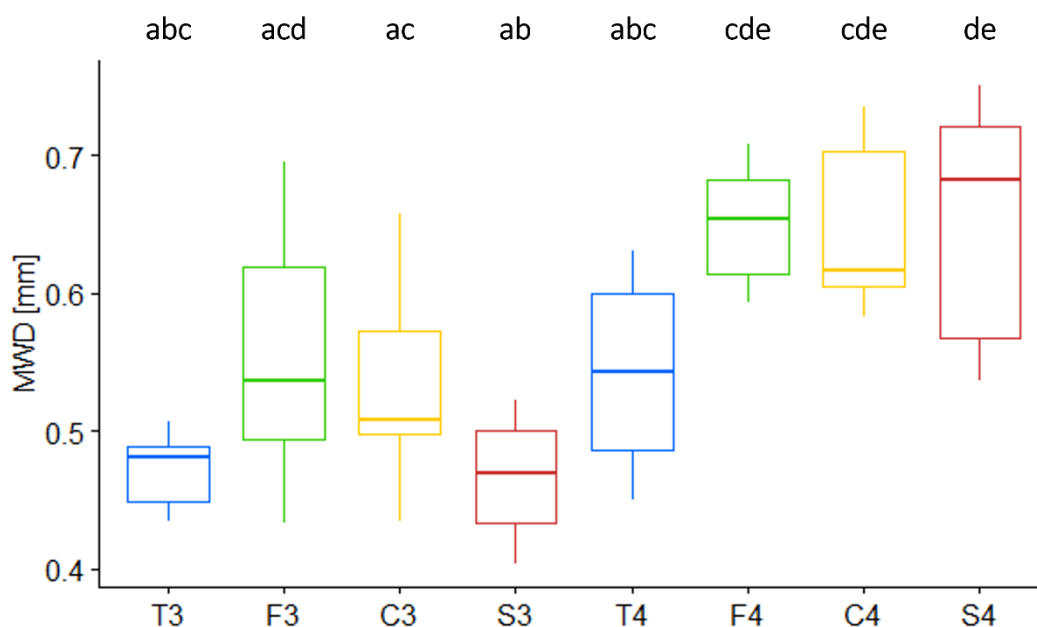


Figure 37 : Diamètre moyen pondéral obtenu pour le test d'agitation après pré-humidification (les groupes avec une même lettre ont des valeurs moyennes qui ne sont pas significativement différentes)

Les valeurs de diamètre moyen pondéral obtenus sont comprises entre 0,4 et 0,8 mm, indiquant donc un sol instable et menant à la formation d'une croûte fréquente. Les ordres de grandeur pour ce test se rapprochent donc plus de ceux obtenus pour le test d'humectation lente que de

ceux obtenus pour le test d'humectation rapide. De nouveau, même si des différences significatives sont observées entre les groupes, cela n'induit pas de changement au niveau des classes établies par Le Bissonnais (2016) (*tableau 3*).

Pour ce qui est de la première campagne de mesure, ce sont, comme pour le test d'humectation lente, les traitements de sous-semis de fétuque et de strip-till qui se différencient, les sous-parcelles de fétuque ayant une stabilité plus élevée. Cependant, toujours comme dans le cas du test d'humectation lente, aucune différence au témoin n'est relevée. Pour ce qui est de la seconde campagne de mesure, c'est le traitement témoin qui se différencie, avec un diamètre moyen pondéral inférieur aux trois autres traitements et similaire à ce qui était observé en début de période d'interculture.

Concernant l'évolution temporelle, celle-ci est différente de ce qui est observé pour les deux autres tests de stabilité structurale. En effet, pour les traitements témoin et sous-semis de fétuque, aucune différence significative n'est constatée entre le début et la fin de la période d'interculture ; tandis que pour les sous-semis de trèfle et le strip-till, c'est une augmentation du diamètre moyen pondéral qui est constatée.

#### 5.6.4 Discussion des résultats des 3 tests de stabilité structurale

Les valeurs des diamètres moyens pondéraux allant de 0,15 à 1,2 *mm* selon le test de stabilité considéré, les sols étudiés sont donc dans tous les cas sensibles au développement d'une croute de battance.

Le test le plus agressif est celui d'humectation rapide menant au phénomène d'éclatement des agrégats dû à la compression de l'air durant l'humidification. Les deux autres tests présentent eux des diamètres moyens pondéraux assez similaires et plus élevés, démontrant leur caractère moins agressif. Il y aurait donc un effet plus important du phénomène d'éclatement des agrégats dû à l'humectation que dû à la désagrégation mécanique.

Une évolution temporelle du diamètre moyen pondéral est également observable sur base des graphes. En effet, une évolution similaire pour les tests d'humectation rapide et lente est observée, à savoir une diminution du diamètre moyen pondéral entre le début de l'interculture en octobre et la fin de l'interculture en avril ; tandis que pour le test d'agitation une augmentation de l'indice est observée pour deux des traitements et aucune évolution pour les deux autres. Cette différence d'évolution des résultats concernant les trois tests de stabilité structurale pourrait s'expliquer notamment par le lien entre la stabilité structurale et le contenu en matière organique du sol, les effets sur le paramètre et dans le temps dépendant néanmoins des produits organiques considérés (Abiven et al., 2009). Le mémoire de Mirgain (2003), traitant de la variation saisonnière de la stabilité structurale en région limoneuse, met en effet en avant que l'augmentation de la teneur en matière organique améliore le diamètre moyen pondéral pour les tests d'humectation rapide et d'humectation lente. Effectivement, la présence des racines permettrait une meilleure cohésion de ceux-ci face au phénomène d'éclatement par enrobage des agrégats par celles-ci (Berendes, 2011). Pour ce qui est du test d'agitation, ce lien entre teneur en matière organique et stabilité structurale n'est cependant pas identifié par

Mirgain (2003). Cela pourrait donc en partie expliquer l'évolution similaire observée pour deux des tests d'humectation et pas pour le test d'agitation. Cette hypothèse nécessite néanmoins d'expliquer la diminution de matière organique qui est dès lors attendue (de par la baisse du diamètre moyen pondéral pour les deux tests d'humectation). Ceci sera discuté dans la discussion générale.

Il est également à noter que la teneur en eau lors de l'échantillonnage a un impact sur les résultats obtenus pour les tests de stabilité structurale. En effet, une teneur en eau élevée est défavorable à la stabilité structurale, avec dès lors une diminution de la stabilité des agrégats quand la teneur en eau augmente (Algayer, 2012 ; Mirgain, 2003). Dans le cadre de cet essai, les échantillonnages en champ ont eu lieu les 10/11/2021 et 25/02/2022. Un retour à la *figure 13* (présentant les précipitations journalières durant la période d'interculture) permet de constater les différences d'apport en eau des jours ayant précédé les jours de prélèvement, avec pour la première campagne de mesure des conditions assez sèches comparativement à celles observées pour la seconde (2,8 mm de précipitations cumulées dans les 5 jours précédant le premier échantillonnage et 22,7 mm pour le second). Cette différence au niveau des conditions de prélèvements pourrait donc expliquer les différences en termes de stabilité des agrégats entre les campagnes pour les tests d'humectation lente et rapide (Chenu et al., 2011). Cela n'explique cependant pas le comportement inverse obtenu dans le cas du test d'agitation après pré-humidification.

Enfin, pour conclure le volet concernant l'évolution temporelle, il est important de rappeler le fait que, même si une différence temporelle est observée entre le début et la fin de l'interculture, celle-ci reste faible et ne conduit pas à un changement de classes de stabilité telles que définies par Le Bissonnais (2016).

Concernant l'impact des traitements, celui-ci est identique selon la campagne pour deux tests sur trois (humectation lente et rapide), avec des valeurs similaires pour les trois traitements testés en comparaison aux valeurs obtenues pour le traitement témoin. Pour ce qui est du test d'agitation après pré-humidification, la première campagne de mesure réalisée juste après la récolte du maïs témoigne de résultats similaires aux deux autres tests. Pour ce qui est de la fin de l'interculture, ce sont les traitements de sous-semis et de strip-till qui présentent des résultats similaires tandis que le diamètre moyen pondéral pour le traitement témoin est inférieur. Aucun des traitements mis en place ne semble donc avoir un impact sur une amélioration ou une dégradation de la stabilité structurale plus qu'un autre traitement de manière globale, c'est-à-dire sur les trois tests simultanément.

Concernant l'exception des sous-parcelles témoin en fin d'interculture, une des hypothèses qui pourrait expliquer ce diamètre moyen pondéral inférieur est la non-présence de racines contrairement aux autres traitements. En effet, un couvert est théoriquement présent pour les trois autres traitements. Il pourrait donc y avoir un effet direct d'augmentation de la cohésion dû aux racines, mais également des effets indirects avec une possible stimulation des populations microbiennes (Chenu et al., 2020).

## 5.7 Pourcentage de couverture végétale

Le suivi de cette mesure a été réalisé durant toute la saison de culture et également durant l'interculture. Pour rappel, les semis et sous-semis ont eu lieu le 28/04/2021, la récolte du maïs a eu lieu le 19/10/2021 et la destruction du couvert le 28/03/2022. Les résultats de ce suivi sont présentés en *figure 38*.

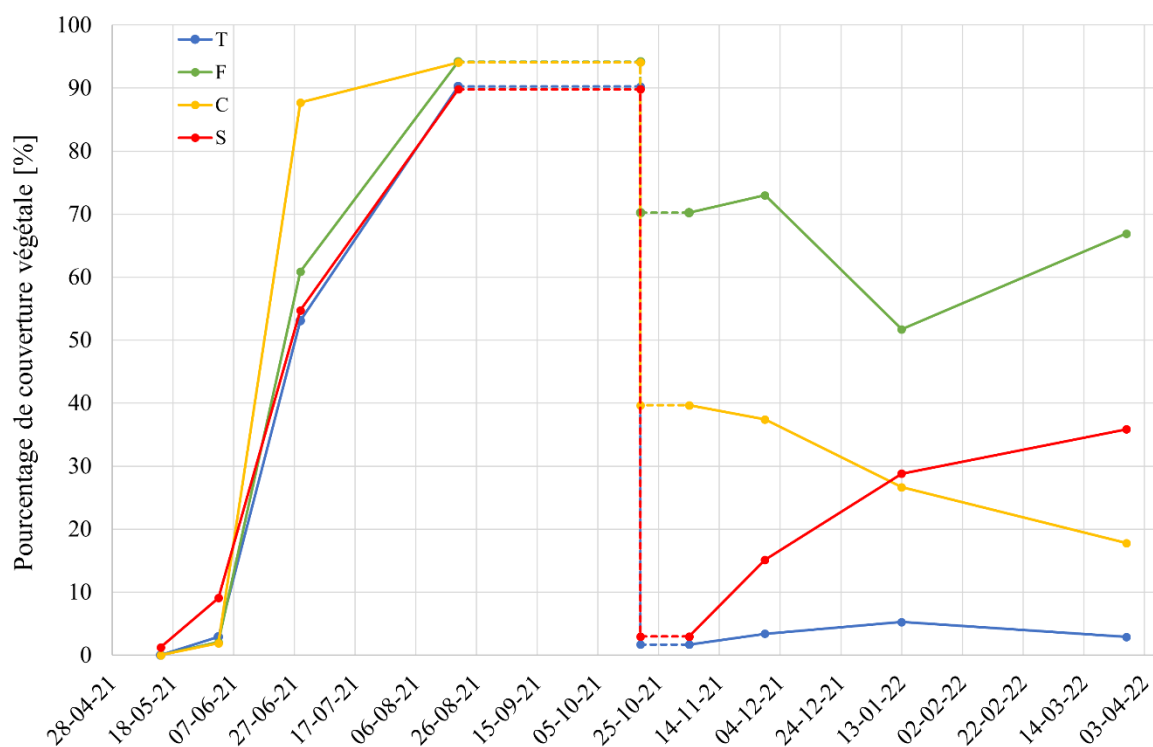


Figure 38 : Evolution du pourcentage de couverture végétale à travers la saison de culture du maïs et la période d'interculture

Pour ce qui est de la saison de culture, l'évolution des sous-parcelles de témoin et de fétuque est très similaire et est probablement due au développement du maïs en lui-même plutôt qu'aux sous-semis de fétuque directement. Pour ce qui est des sous-parcelles de strip-till, une augmentation de la couverture est observée plus rapidement au tout début de la saison et cela est attribuable au fait que les adventices se sont développées plus facilement durant le mois de mai, le sol n'ayant pas été travaillé au niveau des inter-rangs (contrairement aux trois autres traitements). Ce développement plus rapide est cependant très limité et varie fortement en fonction de la sous-parcelle considérée. Par la suite, une évolution du strip-till similaire aux sous-parcelles de témoin est observée (dû certainement de nouveau au développement du maïs plus qu'au traitement apporté). Concernant les sous-parcelles de trèfle, le développement de la couverture végétale est plus rapide et un pourcentage de couverture du sol plus important est donc atteint plus rapidement. En fin de saison de culture, des couvertures végétales équivalentes sont observées pour les quatre traitements. Cependant, les photos étant prises à 3 mètres de hauteur au-dessus de la canopée, cette couverture similaire peut être attribuée à un développement similaire du maïs pour tous les traitements plutôt qu'à des différences au niveau de la couverture de l'inter-rang.

Pour ce qui est de la période d'interculture, un comportement très différent est observé pour les sous-semis. Les sous-parcelles de fétuque conservent une couverture végétale importante après la récolte, ce qui témoigne donc bien du développement de la fétuque sous le couvert de maïs durant la saison de culture. Malgré une faible baisse, le pourcentage de couverture reste au-dessus de 50% durant toute la durée de l'interculture. Les sous-parcelles de trèfle débutent la saison d'interculture avec une couverture végétale déjà inférieure aux sous-parcelles de fétuque. De plus, elles subissent une diminution continue jusqu'à leurs destructions en mars. Les raisons de cette diminution ne sont pas déterminées avec certitude, les conditions de températures ayant peut-être joué un rôle durant l'hiver. Par ailleurs, les oies (Bernache) se nourrissant des trèfles peuvent également avoir joué un rôle dans ce déclin. Pour ce qui est des sous-parcelles de témoin et de strip-till, celles-ci ont subi un travail du sol après la récolte qui explique le pourcentage de couverture très faible observé en début d'interculture. Sur les sous-parcelles de strip-till, une culture de couverture est semée et son développement est bien marqué tout au long de la saison. Sur les sous-parcelles de témoin, aucune mesure de protection du sol n'est menée et le sol reste donc quasiment nu durant toute la saison d'interculture.

## 5.8 Biomasse

Les mesures de biomasse ont été réalisées le 28/03/2022 juste avant la destruction du couvert au glyphosate et avant implantation de la nouvelle culture en avril 2022. Pour les sous-semis, le couvert final est très hétérogène, que ce soit pour la fétuque ou pour le trèfle, les prélèvements sont dès lors réalisés sur les inter-rangs couverts. Pour l'extrapolation à la sous-parcelle entière, il a été considéré qu'environ une moitié des inter-rangs était couverte et l'autre moitié nue. Pour ce qui est des parcelles de strip-till, le couvert est homogène sur toute la surface. Les résultats de ces mesures sont présentés dans le *tableau 16* pour la sous-parcelle considérée dans son entièreté.

*Tableau 16 : Biomasse sèche moyenne et pourcentage de matière sèche en fin de cycle pour les traitements présentant un couvert durant la période d'interculture*

| Traitement | Biomasse sèche moyenne par traitement [t/ha] | Pourcentage de matière sèche [%] |
|------------|----------------------------------------------|----------------------------------|
| Fétuque    | 0,50 ± 0,48                                  | 42,92 ± 0,65                     |
| Trèfle     | 0,14 ± 0,13                                  | 29,81 ± 2,39                     |
| Strip-till | 0,49 ± 0,09                                  | 29,83 ± 3,53                     |

Dans l'absolu, ces valeurs restent faibles pour les trois traitements considérés. Pour le trèfle blanc en interculture, une biomasse sèche de 1,2 t/ha a notamment été obtenue par (Gebhard et al., 2013) soit environ 10 fois supérieure aux résultats de cet essai. Pour un couvert hivernal en général, des valeurs d'environ 2 t/ha peuvent être avancées, voire jusqu'environ 5 t/ha dépendant des espèces implantées (Protect'Eau, 2020). Les résultats obtenus dans cet essai sont donc assez faibles dans l'ensemble. L'impact des opérations culturales sur l'ensemble des mesures de biomasses réalisées dans le cadre de cet essai semble donc avéré. Dans le cas du strip-till, le semis tardif (fin octobre) peut également être mis en avant, les couverts étant

généralement semés avant le 15 septembre, ce qui n'est pas possible dans le cas de la culture de maïs.

Ces résultats démontrent une certaine similarité entre les traitements de fétuque et de strip-till. Néanmoins, il est nécessaire de rappeler que sur les sous-parcelles de fétuque la distribution est très hétérogène. En effet, lors de l'extrapolation à la parcelle entière, les valeurs obtenues pour le sous-semis de fétuque ont en réalité été divisés par deux (de par le ratio  $\frac{1}{2}$  de surface couverte et  $\frac{1}{2}$  de surface nue). Pour certains inter-rangs, la biomasse sèche présentée ici est donc en fait double, tandis que d'autres inter-rangs sont nus. Les raisons de cette hétérogénéité sont à attribuer aux diverses opérations de travail en champ. En effet, dans le cas des sous-parcelles de strip-till, une distribution homogène de la végétation est observée en fin d'interculture ; or, ce couvert n'a pas été impacté par des opérations en champ durant tout son développement (saison de culture du maïs comprise). Pour les parcelles de sous-semis, il a par contre été constaté que là où les roues des véhicules étaient passées, en particulier lors de la récolte réalisée en conditions humides, aucune reprise de la végétation n'avait été observée (*figure 39*).



*Figure 39 : Impact des opérations de travail en champ sur la couverture végétale pour les parcelles de sous-semis – source : T. Clément (UCLouvain)*

Pour ce qui est des sous-parcelles de sous-semis de trèfle, la biomasse observée est nettement inférieure, démontrant une fois de plus la résistance moins importante du trèfle à son environnement dans le cadre de cet essai.

## 5.9 Discussion générale

Tout d'abord, un élément pouvant être apporté en supplément aux mesures de terrain étudiées dans le cadre de ce mémoire sont les résultats obtenus en termes de rendement en maïs qui sont évalués dans le cadre du projet Intell'eau (*figure 40*). L'analyse statistique réalisée sur les données obtenues sur le terrain indique qu'aucune différence significative ne peut être mise en avant entre les différents traitements ( $p = 0,294 > 0,05$ ).

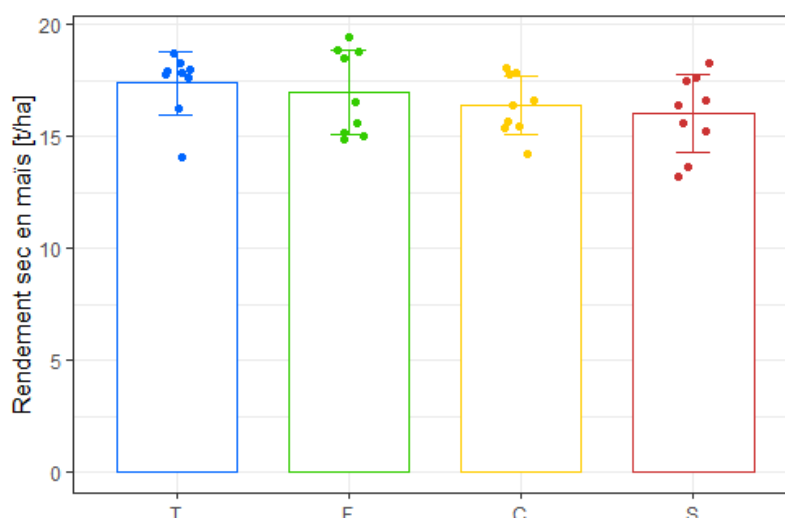


Figure 40 : Rendement sec en maïs selon les différents traitements pour la saison de culture du maïs 2021

Le but de la suite de cette section est de revenir sur les observations réalisées dans les discussions menées pour les différentes mesures afin de voir si certains résultats ne peuvent pas être liés. Il s'agira également dans un second temps de comparer les résultats attendus et obtenus concernant les impacts sur le ruissellement et l'érosion, et enfin de proposer des pistes d'amélioration concernant le mode opératoire suivi dans le cadre de cet essai.

#### 5.9.1 Mise en commun des observations pour les différentes mesures

Pour rappel, durant la saison de culture, un ruissellement similaire pour les traitements de sous-semis et de témoin était observé mis à part pour les événements de forte intensité où la couverture des inter-rangs par les sous-semis pourrait jouer. Cependant, cette dernière supposition est basée uniquement sur l'évènement du 15/07/2021 (qui ne possède de plus qu'une seule répétition par traitement), ce qui demande donc de considérer cette observation avec beaucoup de prudence. Le traitement de strip-till présentait quant à lui un ruissellement similaire au témoin en début et en fin de saison de culture, tandis que durant le mois de juillet, moment où la majorité des pluies d'intensité maximale sur une heure était observée, le ruissellement était supérieur aux parcelles de témoins. Concernant l'érosion, un comportement semblable était observé pour les quatre traitements sauf pour les événements de juillet pour lesquels le strip-till se différenciait.

Pour ce qui est des sous-semis, il n'y a pas de différence observée par rapport au témoin concernant les propriétés physiques du sol étudiées au cours de cette première année d'essai. Les effets observés sur le ruissellement et l'érosion pour les événements de plus forte intensité sont donc à attribuer à un effet mécanique de la présence de végétations au niveau des inter-rangs plutôt qu'à une modification des propriétés du sol (interception des gouttes par le couvert permettant une part d'évaporation et le freinage des eaux de ruissellement). En effet, les mesures d'infiltration ne montrent pas d'amélioration réellement significative permettant de justifier cette différence. Il faut néanmoins rester conscient que les mesures d'infiltration sont très variables, démontrant d'une grande hétérogénéité. De plus, elles ne concernent que de

petites surfaces, contrairement au ruissellement qui est une mesure intégratrice de l'infiltration sur l'ensemble de la parcelle, et donc plus représentative.

Concernant le traitement strip-till, les mesures d'infiltration obtenues lors de la deuxième campagne de mesure démontrent d'une capacité d'infiltration moins importante que les autres traitements. Cette infiltration moins importante pourrait donc en partie expliquer le ruissellement plus important observé en milieu de saison de culture. En effet, aucune mesure d'infiltration n'a été réalisée durant le mois de juillet, néanmoins il n'est pas déraisonnable de supposer que de mai à septembre, la tendance concernant la capacité d'infiltration du sol était à la baisse dans le strip-till. Cette baisse de la perméabilité aurait donc induit le ruissellement plus important observé. La raison de cette infiltration moins importante au niveau des inter-rangs de strip-till étant que les sous-parcelles des trois autres traitements ont subi un travail du sol en début de saison de culture ayant permis une destruction mécanique de la croûte de battance héritée de la saison antécédente. Pour le strip-till, ce n'est pas le cas. La formation de la croûte de battance dans le cadre des quatre traitements n'a donc pas commencé au même stade, et les sous-parcelles de strip-till ont donc développé une croûte plus importante plus rapidement au niveau de l'inter-rang. La présence de cette croûte de battance en début de saison n'est néanmoins pas visible sur les mesures d'infiltration (ni de ruissellement) dû potentiellement aux conditions de faibles précipitations observées les semaines ayant précédé la campagne de mesure d'infiltration.

Toujours durant la saison de culture, il avait été constaté que seuls deux évènements (03/06/2021 et 08/06/2021) avaient mené à un transport de sédiments significatif. Ces évènements, dont l'intensité maximale en *mm/h* était certes parmi les plus importantes observées sur l'année, ne représentaient cependant pas les évènements les plus extrêmes recensés. Néanmoins, les évènements plus extrêmes dont il est question (mois de juillet notamment) ont eu lieu plus tard dans la saison de culture. En comparant alors ces observations au pourcentage de couverture végétale, il apparaît que les évènements des 03/06/2021 et 08/06/2021 se sont déroulés alors que les sols ne présentaient qu'une couverture du sol de moins de 15%, alors que pour des évènements d'intensité maximale équivalente ayant eu lieu plus tard (par exemple les 01/07/2021 et 12/07/2021), le sol était alors couvert à plus de 50%, limitant ainsi fortement l'énergie apportée par l'impact des gouttes sur le sol mais aussi la vitesse de circulation des eaux de ruissellement au niveau des inter-rangs. En effet, avec une couverture du sol de 30%, une réduction de l'érosion de 20 à 50% peut être espérée en comparaison à un sol nu sans couvert (Morgan, 2005).

Pour la période d'interculture, bien que des différences au niveau des variables de physique du sol entre traitements aient été observées, cela n'a pas été perçu au niveau des mesures de ruissellement et d'érosion. En effet, l'infiltration moins importante des parcelles de sous-semis ne semble pas avoir induit de grandes différences concernant le ruissellement et l'érosion. Néanmoins, les caractéristiques des précipitations durant cette période, avec des intensités maximales observées sur une heure largement inférieures à la saison de culture, peuvent aussi en partie expliquer cela. Effectivement, déjà durant la saison de culture, aucune différence

significative n'était observée pour les événements d'intensité similaire à ce qui est recensé en période d'interculture (.

En ce qui concerne les mesures d'infiltration, il a été relevé une amélioration de la capacité d'infiltration en la présence du sous-semis de trèfle qui n'était pas observée pour les sous-semis de fétuque sur l'intégralité de l'année. Une hypothèse pour expliquer cela se trouve dans les résultats d'évolution de la couverture végétale. En effet, un développement du sous-semis de trèfle plus rapide a été observé par rapport au sous-semis de fétuque, ce qui a donc potentiellement pu limiter plus rapidement l'impact des gouttes de pluie et donc la formation d'une croûte de battance au niveau des sous-parcelles couvertes par du trèfle. Cela pourrait ainsi expliquer la différence au niveau de l'amélioration de la capacité d'infiltration observée. Cependant, comme déjà indiqué auparavant, aucune différence majeure quant à une réduction du ruissellement et de l'érosion n'est observée même avec cette capacité d'infiltration améliorée pour le sous-semis de trèfle. Il faut donc rester prudent sur les conclusions tirées, la mesure de ruissellement étant à priori plus représentative que la mesure d'infiltration.

Un troisième point à aborder est celui des mesures de stabilité structurale des agrégats (uniquement pour la saison d'interculture). Pour rappel, deux observations majeures et à expliquer étaient présentées : l'évolution temporelle du diamètre moyen pondéral qui pourrait être liée à la matière organique et à la teneur en eau, et le comportement similaire de tous les traitements sauf pour le témoin en fin d'interculture pour le test d'agitation, avec un diamètre moyen pondéral inférieur aux trois autres traitements.

Concernant l'évolution temporelle qui pourrait être liée à la présence de matières organiques moins importante pour la deuxième campagne de mesure, une comparaison aux mesures d'évolution de la couverture végétale est effectuée. Dans le cas des sous-semis de trèfle, une dégradation de la couverture est observée mais pas dans le cas du sous-semis de fétuque où celle-ci reste relativement constante aux moments des campagnes de mesure de stabilité structurale. Dans le cas du traitement strip-till, un développement important du couvert est observé durant la période d'interculture. Ce qui est observé au niveau des trois traitements est donc d'ores et déjà fort différent et l'évolution similaire de la stabilité structurale pour ces trois traitements ne semble donc pas pouvoir être totalement liée à cela. Néanmoins, la couverture végétale ne témoigne pas réellement de la matière organique présente dans le sol. Certes, avec la dégradation du couvert en surface, il peut être attendu un apport de matière organique au sol mais cela n'a pas été étudié dans le cadre de cet essai. De plus, cette dernière ne subit pas grandes variations au cours d'une année. Par contre, les formes de liants organiques ont, elles, des temps de vie beaucoup plus variables. Tisdall & Oades (1982) identifient 3 formes de liants organiques : les liants transitoires, principalement les polysaccharides, ayant une durée de vie courte (quelques semaines) et qui contribuent très efficacement à la stabilisation des agrégats ; les liants temporaires, tels que les radicelles et les hyphes, qui sont plus difficilement biodégradés (persistent donc plus longtemps) et contribuent efficacement à la stabilisation des agrégats par enrobage direct de ceux-ci ; et les liants persistants, principalement la matière organique humifiée dont le temps de vie est long, mais qui sont nettement moins efficaces en termes de stabilisation des agrégats. Ces différences de durée de vie dans le sol pourraient donc

plus probablement expliquer une variation de stabilité structurale sur la période d'interculture que le contenu même en matière organique au sens large. Si les mesures de stabilité se poursuivent dans la suite de l'essai, il serait donc intéressant de veiller à réaliser les échantillonnages dans des conditions similaires de teneur en eau du sol afin de pouvoir noter de l'impact ou non des formes de liants organiques sur la période d'interculture. En effet, il est plus probable que l'évolution temporelle observée soit au moins partiellement due à des teneurs en eau différentes lors des échantillonnages et que seul le comportement différent des tests d'humectation et d'agitation soit expliqué par le lien à la matière organique. Les raisons restent cependant floues.

Pour ce qui est du traitement de témoin qui présente un diamètre moyen pondéral inférieur aux trois autres traitements en fin de période d'interculture pour le test d'agitation, il avait été évoqué le potentiel rôle du réseau racinaire. En effet, la présence d'un réseau racinaire permet d'enrober les agrégats et ainsi de les rendre plus résistants (Berendes, 2011). En fin de période d'interculture, seules les sous-parcelles de témoin sont à nu, comme le démontre l'évolution de la couverture végétale, et présentent donc un réseau racinaire très faible voire inexistant tandis que pour les trois autres traitements, le couvert en place en surface implique un réseau racinaire plus ou moins important capable d'apporter une certaine résistance au sein des agrégats.

Enfin, concernant, les propriétés physiques du sol dans l'ensemble, il a été démontré dans cet essai que les traitements évalués n'avaient que très peu, voire pas d'effets significatifs, sur les mesures d'infiltration et de stabilité structurale. Néanmoins, comme notamment indiqué par Fernández et al. (2015) et Ren et al. (2019), les effets sur ces paramètres peuvent parfois mettre plusieurs années avant d'être réellement observables sur le terrain. Il n'est donc pas vraiment étonnant qu'au terme de cette première année d'essai, aucune conclusion ne puisse être tirée à propos d'une variation de la capacité d'infiltration et de la stabilité des agrégats. Seule une répétition des traitements sur plusieurs cycles de culture d'affilée permettra de se faire une idée de l'influence des techniques de conservation étudiées sur les deux paramètres considérés dans ce mémoire.

L'apport de biomasse plus important pour la saison de culture suivante observé pour les traitements de sous-semis de fétuque et de strip-till en comparaison aux deux autres traitements pourra aussi théoriquement avoir des impacts positifs sur le sol qui pourront être évalués lors de la poursuite de l'essai dans les années à venir.

En comparant uniquement les deux traitements de sous-semis sur l'intégralité de l'année, le trèfle semble le plus avantageux en saison de culture de par son développement plus rapide qui permet une protection du sol plus tôt dans la saison. Cependant, le fait que le trèfle croisse plus vite pendant la saison de culture du maïs ne semble pas avoir été un réel avantage en 2021 au vu des taux de ruissellement et d'érosion similaires entre sous-semis de trèfle et de fétuque. Durant l'interculture, le sous-semis de trèfle résiste moins bien aux conditions environnementales qui l'entourent et la fétuque semblerait donc plus avantageuse (de nouveau sans que cela ait un impact sur le ruissellement et l'érosion). Ces observations - développement du trèfle blanc plus rapide en début de saison et couverture significativement plus importante

de la fétuque en fin de saison de culture - avaient déjà été réalisées par Le Bussy (2018) et sont donc confirmées dans le cadre de cet essai. Néanmoins, la reprise du sous-semis de trèfle durant l'interculture avait également été constatée par Le Bussy (2018), ce qui n'est pas le cas ici, probablement en raison de la consommation du trèfle par les oies Bernache.

Il est également intéressant de noter que malgré un réseau racinaire explorant théoriquement le sol à des profondeurs moyennes très différentes - 10 à 25 cm pour le trèfle blanc (Interprofession des semences et plants, 2021) et 50 cm et plus pour la fétuque rouge (Silbernagel, 1914) - des effets similaires des deux sous-semis sont observés pour les diverses mesures.

### 5.9.2 Comparaison des résultats attendus et observés

Les études du CIPF (2014) sur le strip-till ainsi que les essais du CIPF & Protect'Eau (2018) et Wall et al. (1991) sur les sous-semis avaient mis en évidence que les deux techniques testées ici pouvaient réduire le ruissellement d'au moins 50% par rapport à un travail conventionnel. Dans ce travail, aucun effet n'a pu être mis en évidence à l'échelle de la saison pour les sous-semis. Une hypothèse quant à une possible limitation du ruissellement pour des événements de forte intensité ayant lieu lorsque le sous-semis est déjà bien développé a été évoquée mais sans que cela ne puisse être vérifié par manque de répétitions. Pour le traitement de strip-till, aucune diminution n'a pu être mise en évidence sur l'intégralité de la saison. Concernant les événements considérés individuellement, une conclusion inverse a même pu être tirée pour les événements du mois de juillet, avec un ruissellement supérieur à celui observé pour le traitement témoin.

Concernant le processus d'érosion, les études de Jaskulska et al. (2020) et du CIPF (2014) ont rapporté une réduction de plus de 90% pour la technique du strip-till. Cela n'a de nouveau pas été vérifié dans le cadre de cet essai. Pour les sous-semis, aucune réduction n'a été observée. La question est donc de comprendre d'où proviennent les différences si importantes entre ce qui était attendu comme résultats et ce qui a été réellement observé pour cet essai.

Pour ce qui est du traitement strip-till, il est nécessaire de rappeler qu'il ne s'agissait pas d'un « véritable » strip-till. En effet, aucune couverture ou résidus de d'interculture n'étaient présents sur le champ lors de la mise en place du traitement, ce qui a pu limiter les effets attendus (surtout les effets mécaniques) et pourrait donc expliquer en partie la grande différence qui existe entre les résultats obtenus pour ce travail et ceux de différentes études.

Concernant les traitements de sous-semis, il a déjà été montré par Blanco-Canqui & Ruis (2020) que, durant l'interculture, l'amplitude des améliorations observées varie d'un site d'étude à l'autre. De manière générale, la pente, le type de sol ou encore les conditions climatiques rencontrées durant le cycle sont tous des éléments qui pourraient jouer un rôle dans les différences de résultats obtenus par rapport à ceux attendus à la suite des études antérieures, sans pour autant que puisse être identifié une cause spécifique.

### 5.9.3 Pistes d'amélioration

Tout d'abord, pour ce qui est de la technique du strip-till, il serait intéressant qu'un couvert préalable à la saison de culture soit en place sur le champ. En effet, dans le cadre de cet essai, le sol était déjà nu lors de la mise en place de la culture, ne permettant donc pas la mise en place d'un « véritable » strip-till. Les avantages de protection du sol par les résidus mais également de ralentissement des eaux de ruissellement ne pouvaient donc pas être observés.

Ensuite, concernant les mesures de physique du sol, et plus précisément de stabilité structurale, il a été mentionné que la teneur en eau au moment de l'échantillonnage pouvait avoir un impact important. Cependant, l'essai mené par Mirgain (2003) a montré qu'il était possible de limiter les impacts de ce facteur en choisissant les moments d'échantillonnage judicieusement afin que la teneur en eau reste assez similaire entre les campagnes. Dans la suite de l'essai, il pourrait donc être utile de prendre en compte cela lors de la réalisation des mesures de stabilité structurale.

Pour ce qui est des mesures de pourcentage de couverture du sol durant la saison de culture, il avait été avancé qu'à partir d'un certain moment les résultats obtenus tenaient en réalité plus compte du maïs que de ce qui était réellement en place au niveau des inter-rangs. L'évolution au niveau du couvert de ces inter-rangs n'est donc pas vraiment connue pour la deuxième moitié de la saison de culture du maïs. Il a en effet été noté par exemple que la densité de trèfle en début d'interculture était moins importante que pour la fétuque, mais il n'est pas possible de déterminer sur base des mesures de pourcentage de couverture végétale depuis quand et à quoi cette différence entre sous-semis est due. Cela pourrait aussi bien être attribué au fait que le trèfle survit moins bien que la fétuque en condition d'ombrage (car sous le couvert de maïs), qu'au fait que les opérations de récolte aient plus impacté les sous-semis de trèfle. Il serait donc intéressant de réaliser également un suivi de la végétation uniquement au niveau des inter-rangs durant la saison de culture.

Enfin, la répétition des essais dans le temps serait nécessaire afin de renforcer ou non les résultats déjà obtenus, et surtout de permettre aux variations des paramètres qui s'effectuent sur une période de temps plus longue (capacité d'infiltration et stabilité structurale des agrégats) de se mettre en place.

## 6. Conclusion

Pour rappel, les objectifs fixés dans ce mémoire étaient d'évaluer les effets de deux techniques de conservation, le strip-till et les sous-semis de fétuque rouge (*Festuca rubra*) et de trèfle blanc (*Trifolium repens*), sur la limitation du ruissellement, de l'érosion, du transfert de pesticides vers les masses d'eau de surface en aval, ainsi que les impacts sur les propriétés physiques du sol.

Tout d'abord, sur base des résultats de l'essai agronomique étudié, rien n'indique qu'un des traitements testés n'ait permis de réduire le ruissellement total annuel. En considérant les événements de précipitation individuellement, il pourrait être possible qu'une limitation soit observée pour les événements de forte intensité pour les traitements de sous-semis si ceux-ci se déroulent une fois le couvert en place. Aucune vérification de cette hypothèse n'a cependant pu être réalisée par manque de répétitions. Pour ce qui est du traitement strip-till, une dynamique temporelle du ruissellement au cours de la saison de culture du maïs différente du témoin a été observée, avec un ruissellement similaire au témoin sur une large partie de l'essai et un ruissellement supérieur au témoin pour les événements plus intenses de juillet. Au final, des quantités similaires d'eau ruisselée sur la saison sont observées comparativement au témoin.

Ensuite, pour ce qui est de l'érosion et du transfert de pesticides, il a été mis en évidence une différence significative des sous-parcelles de strip-till pour le mois de juillet concernant les mesures d'érosion, tout comme cela a été observé pour les mesures de ruissellement. Cette différence est néanmoins attribuable aux quantités d'eau ruisselée plutôt qu'à la concentration en sédiments de ces eaux. Les événements moins intenses ainsi que l'érosion cumulée sur l'intégralité de l'année ne présentent eux aucune différence significative entre les traitements, que cela soit en saison de culture ou en interculture. Concernant le transfert de sulcotrione, ce dernier ne prend place que durant quelques semaines après l'épandage des composés actifs et ne représente que 0,1 % de la dose appliquée au champ. Aucun des traitements n'a cependant permis de réduire ce transfert par rapport aux autres ou de modifier sa dynamique.

Enfin, concernant les propriétés physiques du sol, les traitements de sous-semis ont permis d'améliorer sensiblement la conductivité hydraulique à saturation durant la saison de culture mais sans qu'il y ait de différence significative avec le traitement témoin. Il n'a cependant pas été vérifié au cours de cet essai que cette amélioration persistait dans le temps après la destruction des sous-semis. Aucun impact dans le temps n'a été relevé pour le traitement de strip-till. Pour ce qui est des mesures de stabilité structurale, aucun des traitements n'a permis d'amélioration significative. Un suivi sur plusieurs années est dès lors nécessaire pour espérer observer des effets significatifs.

Néanmoins malgré le peu de résultats probant obtenu au terme de cette première année d'essai en termes de limitation du ruissellement et de l'érosion, aucun impact négatif significatif sur le rendement en maïs n'a été constaté.

## Bibliographie

- Abdollahi, L. & Munkholm, L. (2014). Tillage System and Cover Crop Effects on Soil Quality : I. Chemical, Mechanical, and Biological Properties. *Soil Science Society of America Journal* 78, 262-270. DOI:10.2136/sssaj2013.07.0301
- Abiven, S., Menasseri, S. & Chenu, C. (2009). The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 1-12. DOI:10.1016/j.soilbio.2008.09.015
- Addinsoft (2022). *Comment interpréter des résultats contradictoires entre une ANOVA et des tests de comparaisons multiples*. Retrieved from <https://help.xlstat.com/fr/6741-comment-interpreter-des-resultats-contradictaires>
- Agridea (2013). *Maïs \_Culture*. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjf87LosOT3AhXM1qQKHYSmA6QQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bioactualites.ch%2Ffileadmin%2Fdocuments%2Fbafr%2Fproduction-vegetale%2Fgrandes-cultures%2FMais-FT-Agridea-2013.pdf&usg=AOvVaw01Y99T2Is11JeII8ACNe1j>
- Algayer, B. (2012). *Variabilité à court terme de la stabilité structurale des sols et processus physico-chimiques associés* (Thesis, Université d'Orléans). <https://hal.inrae.fr/tel-02811504>
- Aquaportail (2009). *Capacité d'infiltration : définition, explications*. Retrieved from <https://www.aquaportail.com/definition-5237-capacite-d-infiltration.html>
- Arvalis-Institut du végétal (2019). *Opter pour la technique de destruction des couverts la plus appropriée*. Retrieved from <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturelle/strategie-technique-culturelle/article/opter-pour-la-technique-de-destruction-des-couverts-la-plus-appropriee-217-163873.html>
- Berlaimont, F. & Remi, D. (2014). Devoir d'enquête - Ras le bol de la boue. *RTBF*
- Belis, J. (2018). *Etude du combiné de semis ERuiStop dans la lutte contre l'érosion en culture de maïs* (Master's thesis, Université catholique de Louvain).
- Berendes, M. (2011). *Les sous-semis dans le maïs : Des coûts faibles – un grand effet*. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjUiZqX5eP3AhWSiqQKHYSAAAdsQFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Fagriculture-de-conservation.com%2Fsites%2Fagriculture-de-conservation.com%2FIMG%2Fpdf%2Fsous-semis-mais-dsv.pdf&usg=AOvVaw11bk3U1ztkGYNaslqKOzm4>

- Bertuzzi, P., Justes, E., Le Bas, C., Mary, B., Souchère, V. (2012). *Effets des cultures intermédiaires sur l'érosion, les propriétés physiques du sol et le bilan carbone*. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiU3u-0uYf4AhXHO-wKHZXnAGAQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.inrae.fr%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpdf%2Fbe92dde25cf1612503576ba678f5edc3.pdf&usg=AOvVaw1DBP0gD5ztwKtD9HfcStRC>
- Biielders, C. (2016). Mesure de l'infiltration au moyen d'un infiltromètre à charge constante. *PROSENSOLS : Protégeons nos sols*.
- Biielders, C. (2021). *LBRES2105 – Soil erosion and conservation* (Université catholique de Louvain). Retrieved from <https://moodle.uclouvain.be>
- Blanco-Canqui, H. & Ruis, S.J. (2020). Cover crop impact on soil physical properties : A review. *Soil Science Society of America Journal* 84, 1527-1576. DOI:10.1002/saj2.20129
- Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Zábranský, P., Halk, J., Holec, J., ..., & Procházka, L. (2017). Splash Erosion in Maize Crops under Conservation Management in Combination with Shallow Strip-tillage before Sowing. *Soil & Water Res.* 12, 106-116. DOI: 10.17221/147/2015-SWR
- Camus, G. (2014). *L'eutrophisation*. Retrieved from <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/gestion-de-l-environnement-pollution/l-eutrophisation>
- Carlier, B. (2018). Les agriculteurs souvent pointés du doigt après les coulées de boue. *RTBF*. Retrieved from <https://www.rtb.be/article/les-agriculteurs-souvent-pointes-du-doigt-apres-les-coulees-de-boue-9929773>
- Centre provincial de l'agriculture et de la ruralité (2006). L'analyse des forme de fourrages de ferme. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewi8s\\_OjpYn4AhWt57sIHVEmDlkQFnoECCAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.brabantwallon.be%2Fbw%2Ffiles%2Ffiles%2Fpublic%2Fagriculture%2F2015%2Fpale-laboratoire-d-analyse%2Fanalyses-de-fourrages%2FBrochurefourrages-1-.pdf&usg=AOvVaw2KKwmins8KHzQniuYaQeVz](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewi8s_OjpYn4AhWt57sIHVEmDlkQFnoECCAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.brabantwallon.be%2Fbw%2Ffiles%2Ffiles%2Fpublic%2Fagriculture%2F2015%2Fpale-laboratoire-d-analyse%2Fanalyses-de-fourrages%2FBrochurefourrages-1-.pdf&usg=AOvVaw2KKwmins8KHzQniuYaQeVz)
- ChemIDplus (2021). Substance Name : Sulcotrione [ISO]. *National Library of Medicine*. Retrieved from <https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/sid/0099105778>
- Chen, G. & Weil, R.R. (2011). Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil & Tillage Research* 117, 17-27. DOI:10.1016/j.still.2011.08.001

- Chenu, C., Abiven, S., Annabi, M., Barray, S., Bertrand, M., Bureau, F., ..., & Verbèke, B. (2011). Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols. *Etude et Gestion des Sols, Association Française pour l'Etude des Sols* 18(3), 161-174.  
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01019373>
- CIPF (2014). *Evaluation de l'efficacité de techniques innovantes de préparation du sol dans la lutte contre le ruissellement et l'érosion en culture de maïs sur les terres en pente (ERUISTOP)*.
- CIPF (2016). *Evaluation de l'efficacité de techniques innovantes de préparation du sol dans la lutte contre le ruissellement et l'érosion en culture de maïs sur terres en pente*.
- CIPF (2019). 3. *Etude de la pratique de Strip-till en culture de maïs (approche pratique avec un équipement spécifique)*. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjKmf6973AhUmwAIHHU36B2YQFnoECAMQAQ&url=http%3A%2F%2Fcipf.be%2Fresources%2Fshared%2Ffiles%2Ffr%2Fprastripvieuxart.pdf&usg=AOvVaw0JUB9iZEFoaqvX8chlNOp->
- CIPF (2019). 4. *Etude de la pratique de Strip-till en culture de maïs (approche pratique avec un équipement spécifique)*. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi2uOCP6973AhWKN-wKHav-CZEQFnoECAMQAQ&url=http%3A%2F%2Fcipf.be%2Fresources%2Fshared%2Ffiles%2Ffr%2Fprastripbuzet.pdf&usg=AOvVaw31dUfvLRkmMsMJJ5ZaVw5f>
- CIPF (2019). *Le strip-till : approche de la technique en culture de maïs* [PowerPoint presentation]. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjznbbp6d73AhUqIcUKHbnhCmQQFnoECAYQAQ&url=http%3A%2F%2Fcipf.be%2Fresources%2Fshared%2Ffiles%2Ffr%2Fstriptillpresentation.pdf&usg=AOvVaw2Q5MLg4uyqmx0cXSvnKLiT>
- CIPF (2020). *Strip-till*. Retrieved from <https://cipf.be/fr/maïs/travail-protection-sol/strip-till>
- CIPF (2021). *Le maïs en Wallonie*. Retrieved from <https://cipf.be/fr/maïs/maïs-en-wallonie>
- CIPF & Protect'Eau (2018). *Rapport du projet MaïSolVert : Semis simultané de maïs et d'un sous-semis pour une production agricole rentable alliée à une protection efficace des sols et de l'eau*.

- CIPF & Protect'Eau (2019). *Le sous-semis en culture de maïs* [PowerPoint presentation]. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEWjPuaDDxeP3AhVDKuWKhBdoAmAQFnoECA8QAQ&url=http%3A%2F%2Fci pf.be%2Fresources%2Fshared%2Ffiles%2Ffr%2Fsous\\_semis.pdf&usg=AOvVaw0oc SCo8LwX6kdc4FY94tTg](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEWjPuaDDxeP3AhVDKuWKhBdoAmAQFnoECA8QAQ&url=http%3A%2F%2Fci pf.be%2Fresources%2Fshared%2Ffiles%2Ffr%2Fsous_semis.pdf&usg=AOvVaw0oc SCo8LwX6kdc4FY94tTg)
- Climate-data.org (2019). *Climat de Louvain-la-Neuve (Belgique)*. Retrieved from <https://fr.climate-data.org/europe/belgique/wallonie/louvain-la-neuve-12832/>
- CRA-W (2013). *Le Strip-Till, à mi-chemin entre labour et semis direct*. Retrieved from <https://www.cra.wallonie.be/fr/le-strip-till-a-mi-chemin-entre-labour-et-semis-direct>
- Crucil, G. & Van Oost, K. (2021). Towards Mapping of Soil Crust Using Multispectral Imaging. *Sensors* 21 (1850). <https://doi.org/10.3390/s21051850>
- Datanovia (2018). *Comparaison de plusieurs moyennes dans R*. Retrieved from <https://www.datanovia.com/en/fr/lessons/anova-dans-r/>
- Dautrebande, S., Cordonnier, H., Thirion, M. & Biielders, C. (2006). Lutter contre l'érosion des terres. *Les livrets de l'agriculture* 12. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEWjR7ti47Ob3AhU9\\_rsIHxN3BRIQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.giser.be%2Fwp-content%2Fuploads%2F2011%2F10%2FLivretAgriculture\\_n12.pdf&usg=AOvVaw3rUZm528w60FbGBPjQkPa2](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEWjR7ti47Ob3AhU9_rsIHxN3BRIQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.giser.be%2Fwp-content%2Fuploads%2F2011%2F10%2FLivretAgriculture_n12.pdf&usg=AOvVaw3rUZm528w60FbGBPjQkPa2)
- DEMNA & SPW ARNE (2021). *L'environnement wallon en 10 infographies*. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwigz\\_rkeT3AhVFuqQKHbwYDTIQFnoECBEQAQ&url=http%3A%2F%2Fetat.environnement.wallonie.be%2Ffiles%2FInfographie\\_2021%2FL%2527environnement%2520wallon%2520en%252010%2520infographies-2021.pdf&usg=AOvVaw3qgUEqf-EcIR4HIt5QSft9](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwigz_rkeT3AhVFuqQKHbwYDTIQFnoECBEQAQ&url=http%3A%2F%2Fetat.environnement.wallonie.be%2Ffiles%2FInfographie_2021%2FL%2527environnement%2520wallon%2520en%252010%2520infographies-2021.pdf&usg=AOvVaw3qgUEqf-EcIR4HIt5QSft9)
- Dessart, F. (2017). *L'agriculture de conservation en maïs : expérimentation de la technique d'association avec des légumineuses* (TFE). Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiklajUxOP3AhWG5KQKHbLXByEQFnoECBEQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.greenotec.be%2Fmedias%2Ffiles%2Ftfe-mais-leg-2017-francois-dessart.pdf&usg=AOvVaw2dh3p-JUrZJY\\_bQ2jw6aS2](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiklajUxOP3AhWG5KQKHbLXByEQFnoECBEQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.greenotec.be%2Fmedias%2Ffiles%2Ftfe-mais-leg-2017-francois-dessart.pdf&usg=AOvVaw2dh3p-JUrZJY_bQ2jw6aS2)
- Elrick, D.E. & Reynolds, W.D. (1992). Infiltration from Constant-Head Well Permeameters and Infiltrimeters. *Soil Science Society of America \_ Advances in Measurment of Soil Physical Properties : Bringing Theory into Practice* 30.

- Elrick, D.E., Reynolds, W.D. & Tan, K.A. (1989). Hydraulic Conductivity Measurements in the Unsaturated Zone Using Improved Well Analyses. *Ground Water Monitoring and Remediation*. DOI: [10.1111/j.1745-6592.1989.tb01162.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-6592.1989.tb01162.x)
- European Commision Health and Consumers Directorate-General (2014). *Final Review report for the active substance sulcotrione finalized in the Standing Committee on the Food Chain and Animal Health at its meeting on 28 October 2008 in view of the inclusion of sulcotrione in Annex I of Directive 91/414/EEC*. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiI7\\_zbtuT3AhUqiv0HHQEXATYQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Ffood%2Fsystem%2Ffiles%2F2016-10%2Fpesticides\\_ppp\\_app-proc\\_cfs\\_report-201307.pdf&usg=AOvVaw03FIT9U10X2YqPLy5iBBAJ](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiI7_zbtuT3AhUqiv0HHQEXATYQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Ffood%2Fsystem%2Ffiles%2F2016-10%2Fpesticides_ppp_app-proc_cfs_report-201307.pdf&usg=AOvVaw03FIT9U10X2YqPLy5iBBAJ)
- Fabre (2019). Dégradation et érosion des sols : cinq chiffres chocs sur un danger mondial. *Novethic*. Retrieved from <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/biodiversite/isr-rse/degradation-et-erosion-des-sols-cinq-chiffres-chocs-sur-un-danger-mondial-147976.html>
- Fernández, F., Sorensen, B. & Villamil, M. (2015). A Comparison of Soil Properties after Five Years of No-Till and Strip-Till. *Agronomy Journal* 107 (4), 1339-1346. DOI: [10.2134/agronj14.0549](https://doi.org/10.2134/agronj14.0549)
- Gebhard, C.A., Büchi, L., Liebisch, F., Sinaj, S., Ramseier, H. & Charles, R. (2013). Screening de légumineuses pour couverts végétaux : azote et adventices. *Recherche Agronomique Suisse* 4, 384-393
- Gillijns, K., Govers, G., Poesen, J., Mathijs, E. & Biolders, C. (2005). Erosion des sols en Belgique \_ Etat de la question. *KINT IRGT*. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEWjJsZOa7Ob3AhUni\\_0HHQdHBIwQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.giser.be%2Fwp-content%2Fuploads%2F2011%2F11%2Ferosion-des-sols-en-Belgique-2005.pdf&usg=AOvVaw064RYsQOrAhUr7uK4YzSso](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEWjJsZOa7Ob3AhUni_0HHQdHBIwQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.giser.be%2Fwp-content%2Fuploads%2F2011%2F11%2Ferosion-des-sols-en-Belgique-2005.pdf&usg=AOvVaw064RYsQOrAhUr7uK4YzSso)
- Goujon, E. (2015). *Etude de la toxicité de la sulcotrione et de ses produits de photodégradation* (Master's thesis, Université Blaise Pascal).
- Henneon, A. & Van Leeuw, F.X. (2018). Coulées de boue à Dour : des photos montrent l'étendue du désastre devant certaines maisons. *RTL INFO*. Retrieved from <https://www.rtl.be/info/regions/hainaut/coulees-de-boue-a-dour-des-photos-montrent-l-etendue-du-desastre-dans-certaines-maisons-1024670.aspx>
- Hick, C., De Toffoli, M. & Merchier, M. (2016). *Penser à la destruction des couverts dès leur semis*. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiY06\\_3qOT3AhVOqaQKHT6oCEoQFnoECB8QAQ&url=https%3A%2F%2Fprotecteau.be%2Fresources%2Fshared%2Fpublications%2Farticles%2F160606\\_Destruction-CIPAN.pdf&usg=AOvVaw1CS-odRWpkopmpnEEvdvTu](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiY06_3qOT3AhVOqaQKHT6oCEoQFnoECB8QAQ&url=https%3A%2F%2Fprotecteau.be%2Fresources%2Fshared%2Fpublications%2Farticles%2F160606_Destruction-CIPAN.pdf&usg=AOvVaw1CS-odRWpkopmpnEEvdvTu)

- Holland, J.M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe : reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103, 1-25. DOI:10.1016/j.agee.2003.12.018
- Interprofession des semences et des plants (2021). *Le trèfle blanc*. Retrieved from <http://www.plantesfourrageres.org/pages/trefblanc.htm>
- Jaskulska, I., Romaneckas, K., Jaskulski, D., Gałęzewski, L., Breza-Boruta, B., Dębska, B. & Lemanowicz, J. (2020). Soil Properties after Eight Years of the Use of Strip-Till One-Pass Technology. *Agronomy* 10 (1596). DOI:10.3390/agronomy10101596
- Jaskulska, I., Romaneckas, K., Jaskulski, D. & Wojewódzki, P. (2020). A Strip-Till One-Pass System as a Component of Conservation Agriculture. *Agronomy* 10. DOI:10.3390/agronomy10122015
- Labreuche, J. & Brun, D. (2010). Cultures intermédiaires \_ Optimiser leur destruction. *Perspectives agricoles* 372.
- Laloy, E., Biolders, C. (2010). Effect of Intercropping Period Management on Runoff and Erosion in a Maize Cropping System. *Journal of Environmental Quality* 39, 1001-1008. DOI:10.2134/jeq2009.0239
- Le Bissonnais, Y. (2016). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 67, 1-21.
- Le Bissonnais, Y., Cerdan, O., Lecomte, V., Benkhadra, H., Souchère, V. & Martin, P. (2005). Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena* 62, 111-124. DOI:10.1016/j.catena.2005.05.001
- Le Bussy, T. (2018). *Association culturale maïs-trèfle* (Master's thesis, Université catholique de Louvain).
- Légère, R. (2017). Une cohabitation délicate avec les couverts. *Perspectives agricoles* 443, 48-51. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiTz7ejl-n3AhXZiv0HHTQDCiIQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.perspectives-agricoles.com%2Ffile%2Fgalleryelement%2Fpj%2F6c%2F05%2F32%2F94%2F4438607649414264836473.pdf&usg=AOvVaw37TGT-i0BsXXTNk8rwE6i0>
- Manssens, G., Renard, F. & Foucart, G. (2018). *Le sous semis en culture de maïs : des effets bénéfiques pré et post-récolte, sans influence sur les rendements*. Retrieved from <https://www.sillonbelge.be/2027/article/2018-02-08/le-sous-semis-en-culture-de-mais-des-effets-benefiques-pre-et-post-recolte-sans>
- Menšík, L., Kincl, D., Nerušil, P., Srbek, J., Hlisnikovský, L. & Smutný, V. (2020). Water Erosion Reduction Using Different Soil Tillage Approaches for Maize (*Zea mays* L.) in the Czech Republic. *Land* 9 (358). DOI:10.3390/land9100358

- Mirgain, T. (2003). *Variation saisonnière de la stabilité structurale en région limoneuse : influence d'une rotation froment-betterave et d'une culture de couverture de seigle* (Master's thesis, Université catholique de Louvain).
- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil Erosion & Conservation Third Edition. Blackwell Science Ltd.*
- Organisation des Nations Unies [ONU] (2022). *Questions thématiques \_ Population*. Retrieved from <https://www.un.org/fr/global-issues/population>
- Patin, J. (2011). *Approches de modélisation pour la partition ruissellement-infiltration à différentes échelles spatiales et temporelles* (Thesis, Institut National Polytechnique de Lorraine). <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01751073>
- Pennock, D. (2019). *Soil Erosion the greatest challenge for sustainable soil management. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi73JrUppj4AhXRh\\_0HHaZaD8YQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fca4395en%2Fca4395en.pdf&usg=AOvVaw39hXVmCKGAyRToxvun\\_3M6](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi73JrUppj4AhXRh_0HHaZaD8YQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fca4395en%2Fca4395en.pdf&usg=AOvVaw39hXVmCKGAyRToxvun_3M6)
- Potratz, D.J., Mourtzinis, S., Gaska, J., Lauer, J., Arriaga, F.J. & Conley, S.P. (2020). Strip-till, other management strategies, and their interactive effects on corn grain and soybean seed yield. *Agronomy Journal* 112, 72-80. <https://doi.org/10.1002/agj2.20067>
- Prasuhn, V. (2012). On farm effects of tillage and crops on erosion measured over 10 years in Switzerland. *Soil & Tillage Research* 120, 137-146. DOI:10.1016/j.still.2012.01.002
- Protect'Eau (2020). Dossier CIPAN. *Le Mag* 7. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiun7mmg4z4AhX4h\\_0HHXPUBXgQFnoECBkQAQ&url=https%3A%2F%2Fprotecteau.be%2Fresources%2Fshared%2Fpublications%2FLe%2520Mag%2FPE\\_Mag\\_07\\_V5\\_BD.pdf&usg=AOvVaw19IzF\\_TSEQCtPUgFBBwGcm](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiun7mmg4z4AhX4h_0HHXPUBXgQFnoECBkQAQ&url=https%3A%2F%2Fprotecteau.be%2Fresources%2Fshared%2Fpublications%2FLe%2520Mag%2FPE_Mag_07_V5_BD.pdf&usg=AOvVaw19IzF_TSEQCtPUgFBBwGcm)
- Ren, L., Vanden Nest, T., Ruyschaert, G., D'hose, T. & Cornelis, W.M. (2019). Short-term effects of cover crops and tillage methods on soil physical properties and maize growth in a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research* 192, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.026>
- Ryken, N., Vanden Nest, T., Al-Barri, B., Blake, W., Taylor, A., Bodé, S., Ruyschaert, G., Boeckx, P. & Verdoodt, A. (2018). Soil erosion rates under different tillage practices in central Belgium : New perspectives from a combined approach of rainfall simulations and <sup>7</sup>Be measurements. *Soil & Tillage Research* 179, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.010>

- Sánchez de Cima, D., Luik, A. & Reintam, E. (2015). Organic farming and cover crops as an alternative to mineral fertilizers to improve soil physical properties. *International Agrophysics* 29, 405-412. DOI:10.1515/intag-2015-0056
- Société Japonaise des Ressources Vertes [JGRC] (2001). *Guide technique de la conservation des terres agricoles \_ Redonner au sol sa productivité dans une perspective durable*. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj6h8HUn4AhVKyKQKHfUCBVAQFnoECCgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.pseau.org%2Foutils%2Fouvrages%2Fjgrc\\_guide\\_technique\\_de\\_la\\_conservation\\_des\\_terres\\_agricoles\\_2001.pdf&usg=AOvVaw1adGslFO3WRlzVmaijRoLO](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj6h8HUn4AhVKyKQKHfUCBVAQFnoECCgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.pseau.org%2Foutils%2Fouvrages%2Fjgrc_guide_technique_de_la_conservation_des_terres_agricoles_2001.pdf&usg=AOvVaw1adGslFO3WRlzVmaijRoLO)
- Silbernagel, A. (1914). *Le Génie Rural \_ La mécanique Agricole – La chimie Agricole. Technique Agricole Moderne*. Retrieved from [https://books.google.be/books?id=LONMAAAAYAAJ&pg=RA22-PA6&lpq=RA22-PA6&dq=festuca+rubra+profondeur+racine&source=bl&ots=x7B3djZYie&sig=ACfU3U3pLpIZYcBA\\_yiAxSoKjjoS1hHhGA&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwixz\\_6Cn4f4AhViVeUKHSHJDFYQ6AF6BAGbEAM#v=onepage&q=festuca%20rubra%20profondeur%20racine&f=false](https://books.google.be/books?id=LONMAAAAYAAJ&pg=RA22-PA6&lpq=RA22-PA6&dq=festuca+rubra+profondeur+racine&source=bl&ots=x7B3djZYie&sig=ACfU3U3pLpIZYcBA_yiAxSoKjjoS1hHhGA&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwixz_6Cn4f4AhViVeUKHSHJDFYQ6AF6BAGbEAM#v=onepage&q=festuca%20rubra%20profondeur%20racine&f=false)
- SPF Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement (2021). *6<sup>e</sup> rapport du GIEC : face à des risques sans précédent, la communauté scientifique lance un nouveau signal d'alarme*. Retrieved from <https://climat.be/actualites/2021/6e-rapport-du-giec-face-a-des-risques-sans-precedent-la-communaute-scientifique-lance-un-nouveau-signal-d-alarme>
- SPW (2014). *L'érosion \_ Des sols qui se font la malle....* Retrieved from [https://sol.environnement.wallonie.be/files/Document/Fiches/fr/Fiche1\\_Erosion.pdf](https://sol.environnement.wallonie.be/files/Document/Fiches/fr/Fiche1_Erosion.pdf)
- SPW (2014). *Ruissellement, érosion et coulées de boue \_ Un impact financier – Une menace pour la fertilité – Un enjeu pour l'environnement*. Retrieved from <https://inondations.wallonie.be/home/ruissellement/ruissellement-naturel-et-en-zone-rurale/ruissellement-erosion-et-coulee-de-boue.html>
- SPW (2017). *Rapport sur l'état de l'environnement wallon 2017*. Retrieved from <http://etat.environnement.wallonie.be/files/Publications/REEW2016/DGRNE-16-16716-REEW%202016-sl-051217-prod2%20-%20basse%20r%c3%a9solution.pdf>
- StatBel (2020). *Chiffres clés de l'agriculture \_ L'agriculture belge en chiffres* [PowerPoint presentation]. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiavOunluT3AhWfuKQKHRC5Ab0QFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fstatbel.fgov.be%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Ffiles%2Fdocuments%2Flandbouw%2FR\\_kerncijfers\\_landbouw\\_2020\\_v19\\_avec\\_couverture\\_pour\\_web.pdf&usg=AOvVaw1Lx5jZPJE0hbGXh1OVaLge](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiavOunluT3AhWfuKQKHRC5Ab0QFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fstatbel.fgov.be%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Ffiles%2Fdocuments%2Flandbouw%2FR_kerncijfers_landbouw_2020_v19_avec_couverture_pour_web.pdf&usg=AOvVaw1Lx5jZPJE0hbGXh1OVaLge)
- Storr, T., Simmons, R. & Hannam, J. (2018). A UK survey of the use and management of cover crops. *Annals of Applied Biology* 174, 179-189. <https://doi.org/10.1111/aab.12488>

- Swanton, C.J., Chandler, K. & Janovicek, K.J (1995). Integration of cover crops into no-till and ridge-till wheat (*Triticum aestivum* L.) – corn (*Zea mays* L.) cropping sequence. *Canadian Journal of Plant Science*, 85-91.  
<https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjps96-013>
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33, 141-163. DOI:10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x
- Thomas, F. (2022). *Qu'est-ce que le strip-till ?*. Retrieved from <https://agriculture-de-conservation.com/QU-EST-CE-QUE-LE-STRIP-TILL.html>
- Trevini, M., Benincasa, P. & Guiducci, M. (2013). Strip tillage effect on seedbed tilth and maize production in Northern Italy as case-study for the Southern Europe environment. *European Journal of Agronomy* 48, 50-56.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.02.007>
- Wall, G.J., Pringle, E.A. & Sheard, R.W. (1991). Intercropping red clover with silage corn for soil erosion control. *Canadian Journal of Soil Science* 71, 137-145. Retrieved from <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/cjss91-013>
- Weykmans, S. (2010). *Le strip-till comme aboutissement du non-labour en maïs ensilage*. Retrieved from <https://www.greenotec.be/pages/temoignages/le-strip-till-comme-aboutissement-du-non-labour-en-mais-ensilage.html>

## Annexes

- Annexe 1 : Planning détaillé des prises de mesures de ruissellement, d'érosion, de transfert de pesticides, de couverture végétale et de stabilité structurale (c-à-d les mesures prises en une journée pour l'ensemble des 12 sous parcelles)

| Date       | Mesure              |
|------------|---------------------|
| 14/05/2021 | Couverture végétale |
| 20/05/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
|            | Pesticides          |
| 26/05/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
| 02/06/2021 | Couverture végétale |
| 03/06/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
| 08/06/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
| 21/06/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
|            | Pesticides          |
| 29/06/2021 | Couverture végétale |
| 01/07/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
|            | Pesticides          |
| 06/07/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
|            | Pesticides          |
| 12/07/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
|            | Pesticides          |
| 15/07/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
|            | Pesticides          |
| 27/07/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
| 02/08/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |
| 04/08/2021 | Ruissellement       |
|            | Erosion             |

|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| 17/08/2021  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 20/08/2021  | Couverture végétale                |
| 24/08/2021  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 14/09/2021  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 10/11/2021  | Stabilité structurale <sup>6</sup> |
| 25/11/2021  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 02/12 /2021 | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 15/12/2021  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 03/01/2022  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 13/01/2022  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 07/02/2022  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 23/02/2022  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |
| 25/02/2022  | Stabilité structurale <sup>7</sup> |
| 08/04/2022  | Ruissellement                      |
|             | Erosion                            |

- Annexe 2 : Planning détaillé des prises de mesures d'infiltration

| Moment de la saison                  | Dates                    | Mesure       |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Début de saison                      | 14/05/2021 au 01/06/2021 | Infiltration |
| Fin de saison                        | 28/09/2021 au 14/10/2021 | Infiltration |
| Après récolte (témoin et strip-till) | 04/11/2021 au 06/11/2021 | Infiltration |
| Avant destruction du couvert         | 22/02/2022 au 25/02/2022 | Infiltration |

<sup>6</sup> Récolte des échantillons puis séchage du 10/11/2021 au 15/11/2021 et tamisage le 15/11/2021

<sup>7</sup> Récolte des échantillons puis séchage du 25/02/2022 au 01/03/2022 et tamisage le 01/03/2022

- Annexe 3 : Code Rstudio pour la vérification des hypothèses pour la réalisation de l'ANOVA et pour l'ANOVA en elle-même (les annotations en gras majuscule sont les parties à modifier selon les données traitées)

```
#Importer les packages
library(tidyverse)
library(ggpubr)
library(rstatix)
library(dplyr)

#Importer le fichier .csv contenant les données8
library(readr)
DATA <- read_delim("CHEMIN D'ACCES/DATA.csv",
  delim = ";", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)
View(DATA)

#Verification des hypothèses
#Valeur aberrantes
DATA %>%
  group_by(GROUPE) %>%
  identify_outliers(PARAMETRE ETUDIE)

#Normalité
# Construire le modèle linéaire
model <- lm(PARAMETRE ETUDIE ~ GROUPE, data = DATA)
# Créer un QQ plot des résidus
ggqqplot(residuals(model))
ggqqplot(DATA, "PARAMETRE ETUDIE", facet.by = "GROUPE")
# Test de normalité de Shapiro-Wilk
shapiro_test(residuals(model))

#Homogeneiter des variances
plot(model, 1)
#Test de LEVENE
DATA %>% levene_test(PARAMETRE ETUDIE ~ GROUPE)

#ANOVA
res.aov <- DATA %>% anova_test(PARAMETRE ETUDIE ~ GROUPE)
res.aov

#Test post-hoc (Tukey)
pwc <- DATA %>% tukey_hsd(PARAMETRE ETUDIE ~ GROUPE)
pwc

#ANOVA à 2 facteurs
# Importer le fichier .csv contenant les données9
library(readr)
DATA <- read_delim("CHEMIN D'ACCES/DATA.csv",
  delim = ";", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)
```

<sup>8</sup> Avec comme organisation une colonne reprenant le **PARAMETRE ETUDIE** et une colonne reprenant le **GROUPE** (notation qui reprend à la fois le traitement et la campagne de mesure)

<sup>9</sup> Avec comme organisation une colonne reprenant le **PARAMETRE ETUDIE**, une colonne reprenant le **GROUPE1** (notation qui reprend le traitement) et une colonne reprenant le **GROUPE2** (notation qui reprend la campagne de mesure)

```
View(DATA)
```

```
#ANOVA à 2 facteurs
aov2f <- aov(PARAMETRE ETUDIE ~ GROUPE1 + GROUPE2 + GROUPE1*GROUPE2,
data=DATA)
print(summary(aov2f))
```

- Annexe 4 : Code Rstudio pour la réalisation du test statistique de Kruskal-Wallis

```
# Importer le fichier .csv contenant les données10
library(readr)
DATA <- read_delim("CHEMIN D'ACCES/DATA.csv",
delim = ";", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)
View(DATA)

#Kruskal-Wallis
kruskal.test(PARAMETRE ETUDIE ~ GROUPE, data = DATA)

#Comparaison par paire (Kruskal-Wallis)
pairwise.wilcox.test(DATA$PARAMETRE ETUDIE, DATA$GROUPE,
p.adjust.method = "BH")
```

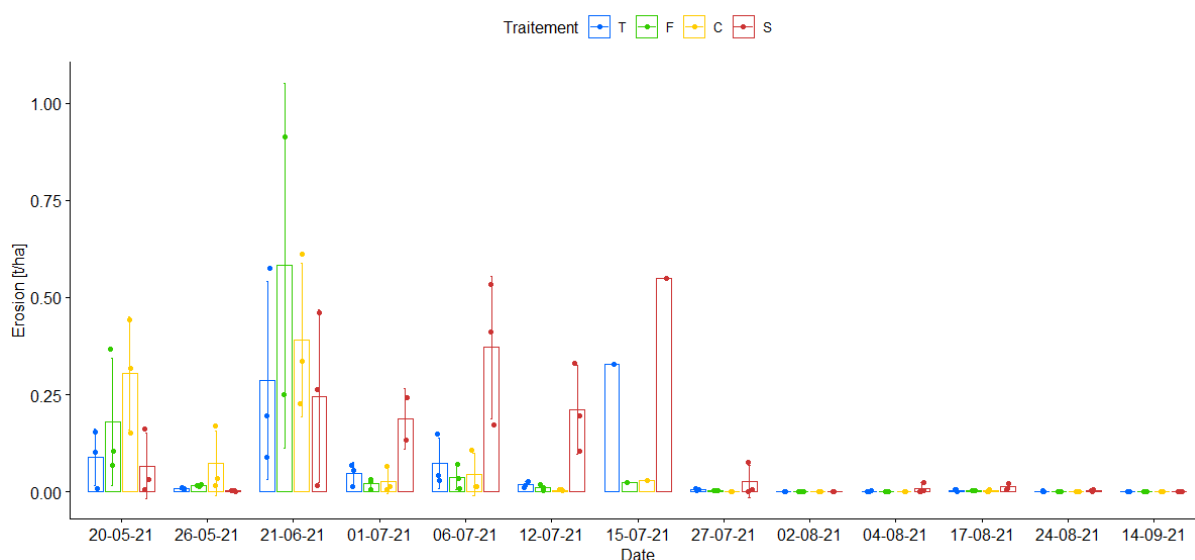
- Annexe 5 : Caractéristiques des précipitations ayant mené à des prises de mesure sur le terrain (la double ligne délimite les événements ayant eu lieu durant la saison de culture et durant l'interculture)

| Date de la mesure de terrain | Quantité totale d'eau précipitée entre la date mesure et celle qui l'a précédée [mm] | Quantité d'eau précipitée pour le jour l'évènement majeur [mm] | Intensité maximale observée [mm/h] |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 20/05/2021                   | 52,6                                                                                 | 16,2                                                           | 9,6                                |
| 26/05/2021                   | 27,2                                                                                 | 11                                                             | 3,2                                |
| 03/06/2021                   | 25                                                                                   | 22,6                                                           | 15                                 |
| 08/06/2021                   | 15,1                                                                                 | 15,1                                                           | 9,1                                |
| 21/06/2021                   | 46,4                                                                                 | 33,1                                                           | 6,9                                |
| 01/07/2021                   | 63,7                                                                                 | 26,9                                                           | 11,2                               |
| 06/07/2021                   | 29                                                                                   | 20,1                                                           | 17,3                               |
| 12/07/2021                   | 17,8                                                                                 | 17,5                                                           | 14,2                               |
| 15/07/2021                   | 119,2                                                                                | 73,9                                                           | 19,6                               |
| 27/07/2021                   | 15,6                                                                                 | 8,7                                                            | 8,4                                |
| 02/08/2021                   | 16,7                                                                                 | 8,1                                                            | 2,5                                |
| 04/08/2021                   | 14,6                                                                                 | 14                                                             | 6,4                                |
| 17/08/2021                   | 50,8                                                                                 | 10,9                                                           | 5,3                                |
| 24/08/2021                   | 24,8                                                                                 | 12,8                                                           | 6,1                                |
| 14/09/2021                   | 21,8                                                                                 | 15,2                                                           | 10,7                               |

<sup>10</sup> Avec comme organisation une colonne reprenant le PARAMETRE ETUDIE et une colonne reprenant le GROUPE (notation qui reprend à la fois le traitement et la campagne de mesure)

|            |      |      |     |
|------------|------|------|-----|
| 25/11/2021 | 19,6 | 6,1  | 1,5 |
| 02/12/2021 | 33,8 | 11,7 | 2,3 |
| 15/12/2021 | 42,3 | 11,4 | 2,5 |
| 03/01/2022 | 48,7 | 14,7 | 5,1 |
| 13/01/2022 | 28,5 | 10,4 | 3   |
| 07/02/2022 | 43,7 | 22,6 | 3,8 |
| 23/02/2022 | 66,9 | 11,7 | 5,3 |
| 08/04/2022 | 22,8 | 4,3  | 2,5 |

- Annexe 6 : Erosion observée pour les évènements ayant mené à des quantités de sédiments transportés inférieures à 1 t/ha durant la saison de culture du maïs



- Annexe 7 : Vérification des hypothèses avant la réalisation du test statistique ANOVA pour les mesures d'infiltration

- Absence de valeurs aberrantes significatives (extrêmes)

|                         |    |
|-------------------------|----|
| <b>Outliers</b>         | 16 |
| <b>Extreme outliers</b> | 7  |

→ Hypothèse non validée

- Normalité

| Test         | Statistic | p Value  |
|--------------|-----------|----------|
| Shapiro-Wilk | 0,92      | < 0,0001 |

→ p Value < 0,05 : hypothèse non validée

- Homogénéité des variances

| Test   | Statistic | p Value  |
|--------|-----------|----------|
| Levene | 2,98      | 0,000643 |

→ p Value < 0,05 : hypothèse non validée

- Annexe 8 : Vérification des hypothèses avant la réalisation du test statistique ANOVA pour les mesures d'humectation lente

- Absence de valeurs aberrantes significatives (extrêmes)

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Outliers</b>         | 0 |
| <b>Extreme outliers</b> | 0 |

→ Hypothèse validée

- Normalité

| <b>Test</b>  | <b>Statistic</b> | <b>p Value</b> |
|--------------|------------------|----------------|
| Shapiro-Wilk | 0,98             | 0,315          |

→ p Value > 0,05 : hypothèse validée

- Homogénéité des variances

| <b>Test</b> | <b>Statistic</b> | <b>p Value</b> |
|-------------|------------------|----------------|
| Levene      | 2,95             | 0,00955        |

→ p Value < 0,05 : hypothèse non validée

- Annexe 9 : Différence observée entre les différents traitements pour les mesures d'humectation lente selon le test de Tukey (ns : p-valeur > 0,05 / \* : 0,05 > p-valeur > 0,01 / \*\* : 0,01 > p-valeur > 0,001 / \*\*\* : 0,001 > p-valeur > 0,0001 / \*\*\*\* : 0,0001 > p-valeur)

|          | <b>T</b> | <b>F</b> | <b>C</b> | <b>S</b> |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>T</b> |          |          |          |          |
| <b>F</b> | ns       |          |          |          |
| <b>C</b> | ns       | ns       |          |          |
| <b>S</b> | ns       | *        | ns       |          |

- Annexe 10 : Vérification des hypothèses avant la réalisation du test statistique ANOVA pour les mesures d'humectation rapide

- Absence de valeurs aberrantes significatives (extrêmes)

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Outliers</b>         | 0 |
| <b>Extreme outliers</b> | 0 |

→ Hypothèse validée

- Normalité

| <b>Test</b>  | <b>Statistic</b> | <b>p Value</b> |
|--------------|------------------|----------------|
| Shapiro-Wilk | 0,97             | 0,0561         |

→ p Value > 0,05 : hypothèse validée

- Homogénéité des variances

| <b>Test</b> | <b>Statistic</b> | <b>p Value</b> |
|-------------|------------------|----------------|
| Levene      | 1,15             | 0,342          |

→ p Value > 0,05 : hypothèse validée

- Annexe 11 : Différence observée entre les différents traitements pour les mesures d'humectation rapide selon le test de Tukey (ns : p-valeur > 0,05 / \* : 0,05 > p-valeur > 0,01 / \*\* : 0,01 > p-valeur > 0,001 / \*\*\* : 0,001 > p-valeur > 0,0001 / \*\*\*\* : 0,0001 > p-valeur)

|   | T  | F  | C  | S |
|---|----|----|----|---|
| T |    |    |    |   |
| F | ns |    |    |   |
| C | ns | ns |    |   |
| S | ns | ns | ns |   |

- Annexe 12 : Vérification des hypothèses avant la réalisation du test statistique ANOVA pour les mesures d'agitation après pré-humidification

- Absence de valeurs aberrantes significatives (extrêmes)

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Outliers</b>         | 0 |
| <b>Extreme outliers</b> | 0 |

→ Hypothèse validé

- Normalité

| Test         | Statistic | p Value |
|--------------|-----------|---------|
| Shapiro-Wilk | 0,988     | 0,701   |

→ p Value > 0,05 : hypothèse validé

- Homogénéité des variances

| Test   | Statistic | p Value |
|--------|-----------|---------|
| Levene | 1,744     | 0,115   |

→ p Value > 0,05 : hypothèse validé

- Annexe 13 : Différence observée entre les différents traitements et campagnes de mesure pour les mesures d'agitation après pré-humidification selon le test de Tukey (ns : p-valeur > 0,05 / \* : 0,05 > p-valeur > 0,01 / \*\* : 0,01 > p-valeur > 0,001 / \*\*\* : 0,001 > p-valeur > 0,0001 / \*\*\*\* : 0,0001 > p-valeur)

|    | T3   | F3 | C3 | S3   | T4 | F4 | C4 | S4 |
|----|------|----|----|------|----|----|----|----|
| T3 |      |    |    |      |    |    |    |    |
| F3 | ns   |    |    |      |    |    |    |    |
| C3 | ns   | ns |    |      |    |    |    |    |
| S3 | ns   | *  | ns |      |    |    |    |    |
| T4 | ns   | ns | ns | ns   |    |    |    |    |
| F4 | **** | ns | ** | **** | ** |    |    |    |
| C4 | **** | ns | ** | **** | *  | ns |    |    |
| S4 | **** | *  | ** | **** | ** | ns | ns |    |



# **Impact du strip-till et des sous-semis de trèfle blanc et de fétuque rouge en culture de maïs sur le ruissellement, l'érosion, le transfert de pesticides et les propriétés physiques du sol**

**Présenté par Orane Boswell**

L'érosion hydrique est un processus bien connu compte tenu des conséquences diverses qui en découlent au niveau des parcelles agricoles mais aussi en aval. La culture du maïs, avec son large espacement entre les rangs et son semis tardif dans l'année, y fait d'autant plus face. Elle représente également une des cultures les plus présentes en Wallonie. Dans ce contexte de lutte contre l'érosion hydrique, le CIPF étudie l'impact des techniques de conservation du strip-till et des sous-semis implantés simultanément au maïs.

Ce mémoire évaluera les effets de ces deux techniques de conservation, sur la limitation du ruissellement, de l'érosion, du transfert de pesticides vers les masses d'eau de surface en aval, ainsi que les impacts sur les propriétés physiques du sol.

Dans cet essai, l'efficacité de ces techniques est évaluée grâce à un dispositif en champ permettant de récolter les eaux de ruissellement afin de déterminer les volumes, les concentrations en sédiments et les concentrations en pesticides (sulcotrione). Des mesures d'infiltration, de stabilité structurale et de suivi de la végétation sont également réalisées.

L'analyse des données de terrain a montré que concernant le ruissellement, les sous-semis de trèfle et de fétuque n'avaient pas permis de diminution significative au cours de cette première année d'essai aussi bien sur l'intégralité de l'année (saison de culture et période d'interculture) que pour les événements de précipitation considérés individuellement. Pour ce qui est du strip-till, aucun impact sur l'intégralité de l'année n'a pu être relevé. Néanmoins, en considérant les événements de précipitation individuellement, une dynamique spécifique de distribution du ruissellement au cours de la saison de culture du maïs a pu être observée avec un ruissellement similaire au témoin sur une large partie de l'essai et un ruissellement supérieur pour les événements de précipitation plus intense ayant eu lieu en milieu de saison.

Les données d'érosion ont permis de mettre en évidence des observations similaires à celles réalisées pour le ruissellement (pas d'impact significatif des sous-semis et dynamique spécifique pour le strip-till). Cependant, les analyses ont pu montrer que les traitements n'avaient pas d'impact sur les concentrations en sédiments transportés et que les différences observées étaient attribuables aux volumes d'eau impliqués. Concernant le transfert de pesticides aucune différence entre traitements n'a été relevée.

Aucun impact significatif sur les propriétés physiques du sol n'a été observé au cours de cet essai. Un suivi sur plusieurs années est dès lors nécessaire pour espérer observer des effets significatifs.