

**ESSAI DE CULTURES DE COUVERTURE TARDIVES EN PRODUCTION  
MARAICHÈRE EN SOLS ORGANIQUES**

**PROJET 20-003-3.1-S-PHYD**

DURÉE DU PROJET : SEPTEMBRE 2020 / DÉCEMBRE 2023

**RAPPORT FINAL**

Réalisé par :  
Carl Dion Laplante, Phytodata  
Jessica Girona, Phytodata  
Anne-Marie Fortier, Phytodata

1<sup>er</sup> décembre 2023

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

# ESSAI DE CULTURES DE COUVERTURE TARDIVES EN PRODUCTION MARAÎCHÈRE EN SOLS ORGANIQUES

## NUMÉRO DU PROJET : 20-003-3.1-S-PHYD

### RÉSUMÉ DU PROJET

La pérennité des sols organiques québécois est menacée par l'érosion hydrique et éolienne des sols, notamment lorsque ceux-ci sont laissés à nu après les récoltes d'automne et lors des dégels du printemps. En sols organiques, les récoltes de plusieurs cultures maraîchères peuvent s'étaler jusqu'aux premiers gels, et les semis sont effectués très tôt au printemps la saison suivante, limitant la fenêtre d'opportunité et donc les options de cultures de couverture (CC) permettant de protéger le sol en hiver. Ce projet visait à identifier les périodes optimales d'implantation et les meilleures espèces de cultures de couverture pour un semis en fin de saison (septembre-octobre) en sols organiques. Six sites ont été implantés de 2020 à 2022 afin de comparer neuf espèces et mélanges de cultures de couverture semés à six dates différentes entre le 10 septembre et le 21 octobre. La liste des espèces et des taux de semis testés a été établie en collaboration avec des experts en 2020, puis révisée à l'hiver 2021 par un comité de producteurs et d'experts. Le pourcentage de couverture du sol et la biomasse des CC ont été évaluées au début novembre de chaque année, et le pourcentage de couverture de sol, la survie à l'hiver et l'effet sur la compaction du sol ont été mesurés à la mi-avril le printemps suivant. Lorsque les cultures de couverture étaient suivies d'une culture semée, l'impact des résidus sur la levée de la culture principale a été évaluée en début d'été. Le projet a permis d'identifier les dates de semis les plus tardives permettant d'obtenir une couverture du sol d'au moins 50% et entre 30 et 50% pour les espèces à l'essai. La survie à l'hiver et la couverture de sol au printemps ont aussi été déterminées. Les résidus de CC n'ont pas eu d'impact sur la levée d'une culture maraîchère semée suivant la destruction des CC, et les CC n'ont pas eu d'effet sur la compaction du sol. Avec ces nouvelles connaissances, les producteurs maraîchers en sols organiques seront mieux en mesure de planifier les semis de CC en fin de saison en choisissant les espèces et les dates de semis appropriées, ce qui permettra d'augmenter les superficies protégées durant l'hiver et le printemps. De futurs travaux devraient se pencher sur un seuil de protection du sol facilement mesurable sur le terrain, par exemple à partir du pourcentage de couverture du sol ou de la biomasse des cultures de couverture, et sur d'autres espèces de CC et d'autres stratégies d'implantation des CC pour les cultures récoltées après le 7 octobre.

### OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

#### Objectifs

L'objectif principal de ce projet était d'identifier des espèces de CC pour une implantation en fin de saison (septembre et octobre) en terre noire et de déterminer les périodes d'implantation permettant d'obtenir un couvert végétal suffisant avant l'hiver. Les objectifs secondaires étaient de déterminer le potentiel de survie à l'hiver des espèces testées, ainsi que la quantité de résidus au sol au printemps et leur impact sur les travaux culturaux.

### Sites expérimentaux

À cette fin, deux sites par an ont été implantés en sols organiques pendant 3 ans, pour un total de six sites. Les sites suivaient un dispositif en tiroirs composé de six parcelles principales (dates de semis) mesurant 4m de large par 5m de long et contenant chacune 10 sous-parcelles (espèces de CC) de 1m par 2m (2 m<sup>2</sup>). Le dispositif comprenait 3 répétitions, pour un total de 18 parcelles principales et 180 sous-parcelles (360 m<sup>2</sup>) par site (annexe 1). La préparation du sol avant l'installation du site à l'automne était réalisée par le producteur, tandis que le désherbage manuel et un travail supplémentaire du sol étaient réalisés lorsque nécessaire par l'équipe de Phytodata avant le semis des CC. Aucun fertilisant ou produit phytosanitaire n'a été appliqué avant ou sur les CC, outre un herbicide au printemps avant la destruction des CC, au besoin.

### Comité de suivi

Un comité de producteurs maraichers en terre noire et d'experts en cultures de couverture a été formé et devait se rencontrer au printemps 2020 afin de déterminer la liste des espèces testées, ce qui n'a pas été possible à cause de la pandémie de COVID-19. Des experts en cultures de couverture ont été contactés afin d'établir la liste des espèces pour la première année du projet. Le comité s'est rencontré au printemps 2021 et, après avoir constaté les résultats de la première année du projet, a recommandé des modifications à la liste des espèces testées et des taux de semis utilisés pour la suite du projet. Notamment, le raygrass et le tillage radish ont été remplacés par l'orge d'hiver et le kale fourrager, respectivement, et des taux de semis progressifs ont été introduits, c'est-à-dire que le taux de semis de départ, au 10 septembre, a été révisé à la baisse, et les taux de semis ont été progressivement augmentés pour les dates de semis subséquentes. À l'automne 2022, nous avons aussi augmenté le taux de semis du kale fourrager et du semis du 7 octobre. Les listes des traitements pour chaque année du projet sont présentées à l'annexe 2.

Le comité avait aussi demandé à changer la méthode de semis afin d'améliorer l'uniformité de la distribution des semences dans les parcelles ainsi que l'uniformité en profondeur. Le semis à la volée avec passage de râteau utilisé dans les sites 1 et 2 en 2020 a été remplacé par des râteaux spécialisés permettant le semis en sillons rapprochés (espacement de 3,5 cm) pour les sites 3 à 6 en 2021 et 2022. Puisque les CC testées et la méthode de semis ont grandement changé après l'année 1 du projet (2020), seules les données des sites 3 à 6 seront utilisées afin d'établir les conclusions du projet.

### Prise de données

À chaque automne, au début du mois de novembre, la couverture du sol et la biomasse aérienne étaient évaluées dans chaque sous-parcelle. Le pourcentage de couverture du sol était mesuré par photographie dans un quadrat de 75 x 75 cm à l'aide de l'application web *Canopeo* de l'Université de l'État d'Oklahoma OSU ([canopeoapp.com](http://canopeoapp.com)). La biomasse aérienne était prélevée dans deux quadrats de 25 x 25 cm par sous-parcelle en coupant les plants au ras du sol, et la biomasse fraîche était pesée le jour même. Puis, les échantillons étaient mis à sécher dans des sacs perforés à l'intérieur d'une étuve ventilée, à 65°C pendant 4 à 12 heures, après quoi la biomasse sèche était mesurée.

Chaque printemps, en avril, la couverture du sol, la survie des CC et la compaction du sol étaient mesurées dans chaque sous-parcelle. La compaction du sol était mesurée une fois dans chaque sous-parcelle avec un pénétromètre SC-900 (FieldScout) jusqu'à une profondeur de 45 cm. Le pourcentage de couverture du sol était mesuré par photographie dans un quadrat de 75 x 75 cm à l'aide de l'application web *Soil Residue Calculator* du MAARO ([https://aszczeci.github.io/crop\\_residue/](https://aszczeci.github.io/crop_residue/)) pour les résidus morts et l'application web *Canopeo* de l'Université de l'État d'Oklahoma OSU ([canopeoapp.com](http://canopeoapp.com)) pour les repousses. En mai, afin d'évaluer l'impact des résidus de CC sur la culture principale, la densité de la culture principale était mesurée après la levée, sur deux échantillons de 1 mètre de rang par sous-parcelle. Des cultures plantées ont été cultivées dans les sites 5 et 6 au printemps 2023; les densités n'ont donc pas été évaluées. Le calendrier des opérations est présenté à l'annexe 3.

### Analyses statistiques

Les données de biomasse sèche, de couverture du sol à l'automne et au printemps et de levée de la culture principale ont été comparées avec le test de comparaisons multiples LSD de Fisher lorsque l'ANOVA montrait des différences significatives entre les traitements. Les différentes dates de semis ont été comparées dans chacun des sites pour chacune des cultures de couverture pour la biomasse et la couverture du sol. En ce qui concerne la densité de la culture principale, l'effet des différentes cultures de couverture a été comparé pour chaque date de semis. La normalité des résidus a été vérifiée par un test de Shapiro, et l'homogénéité des variances avec un test de Bartlett, et une transformation  $\text{Log}_{10}(x + \text{constant})$  ou  $\text{sqrt}(x + \text{constante})$  a été utilisée lorsque nécessaire. Lorsque la transformation ne permettait pas le respect des postulats de l'analyse de variance, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été fait pour valider les résultats obtenus avec l'ANOVA et les données ont été comparées avec le test de comparaisons multiples Dunn Test.

## **RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS**

### Couverture du sol à l'automne

Les données de pourcentage de couverture du sol à l'automne sont présentées à l'annexe 4. Pour les sites 3 et 4, il n'y a pas de résultats pour le trèfle (C3) semé les 13 et 20 septembre 2021 parce que du tillage radish a été semé par erreur. Des différences peuvent être observées entre les sites et les années en fonction des conditions de sol et des conditions météo suivant le semis, mais les mêmes tendances générales ont été observées sur tous les sites.

Dans l'ensemble, tous les traitements ont donné une couverture de sol bonne ou correcte jusqu'au 27 septembre (D3), tandis que la croissance dans les semis des 14 et 21 octobre (D5 et D6) était faible pour toutes les CC. La croissance du blé d'hiver (C4), de l'orge d'hiver (C9) et du kale fourrager (C10) s'est démarquée pour la date de semis du 7 octobre (D4), l'orge d'hiver offrant la meilleure protection du sol. À partir du 27 septembre (D3), l'avoine seul (C8) offrait systématiquement une meilleure couverture du sol que les mélanges d'avoine-pois d'hiver (C6) et d'avoine-pois fourrager (C7), indiquant que l'ajout de ces

légumineuses n'est plus avantageux à partir de cette date. Cette observation concorde avec les pratiques des producteurs, qui favorisent depuis 2022 l'avoine seule plutôt que l'avoine-pois à partir de la mi-septembre. L'utilisation de la vesce velue avec le seigle (C5) offrait généralement un couvert similaire au seigle seul (C2) même si le taux de semis du seigle était plus bas dans le mélange avec la vesce. La croissance de la vesce était cependant négligeable à partir du 27 septembre. La croissance du trèfle incarnat (C3) déclinait rapidement à partir du 20 septembre (D2), sans grande surprise car cette légumineuse est normalement semée au mois d'août afin d'assurer un bon couvert pour l'hiver. Le blé d'hiver (C4) et l'orge d'hiver (C9) pourraient être semés plus tardivement que le seigle d'automne (C2), probablement parce que ces espèces ont une croissance plus rapide à l'automne que le seigle.

Afin d'établir des recommandations pour les dates de semis, des seuils arbitraires de 30% et de 50% de couverture du sol peuvent être utilisés afin de départager les couverts insuffisants (< 30%), passables (30 à 50%) et bons (> 50%) (annexe 5). Bien qu'il n'existe aucune étude ayant établi une couverture de sol minimale permettant d'éviter l'érosion éolienne et hydrique en sols organiques, des travaux en sols minéraux indiquent qu'un couvert de 50% pourrait réduire les pertes de sol de 65% à 95% par érosion hydrique (Shooner, 2023).

Suivant ces seuils, on peut établir le tableau de recommandations suivant :

Tableau 1. Dates de semis recommandées par culture de couverture en fonction de la couverture de sol moyenne obtenue à l'automne.

| Culture de couverture      | Date de semis |         |         |        |        |        |
|----------------------------|---------------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                            | 10-sept       | 20-sept | 27-sept | 07-oct | 14-oct | 21-oct |
| <b>Seigle d'automne</b>    | 79 ± 4        | 65 ± 4  | 48 ± 3  | 18 ± 2 | 8 ± 1  | 3 ± 1  |
| <b>Trèfle incarnat</b>     | 52 ± 3        | 36 ± 5  | 19 ± 2  | 9 ± 1  | 4 ± 1  | 1 ± 0  |
| <b>Blé d'hiver</b>         | 75 ± 4        | 69 ± 4  | 54 ± 4  | 34 ± 2 | 12 ± 2 | 4 ± 1  |
| <b>Seigle-vesce velue</b>  | 82 ± 3        | 63 ± 4  | 45 ± 3  | 20 ± 1 | 8 ± 1  | 3 ± 1  |
| <b>Avoine-pois d'hiver</b> | 75 ± 3        | 60 ± 4  | 38 ± 2  | 17 ± 1 | 6 ± 1  | 3 ± 1  |
| <b>Avoine-pois 4010</b>    | 76 ± 2        | 56 ± 4  | 36 ± 2  | 17 ± 1 | 6 ± 1  | 2 ± 1  |
| <b>Avoine</b>              | 71 ± 5        | 62 ± 4  | 50 ± 3  | 21 ± 1 | 7 ± 1  | 3 ± 1  |
| <b>Orge d'hiver</b>        | 79 ± 4        | 79 ± 3  | 69 ± 4  | 42 ± 2 | 19 ± 3 | 10 ± 3 |
| <b>Kale fourrager</b>      | 74 ± 6        | 62 ± 5  | 57 ± 5  | 32 ± 3 | 11 ± 2 | 5 ± 1  |

Cases vert foncé : dates recommandées, bonne couverture de sol à l'automne (plus de 50%)

Cases vert pâle : dates peu recommandables, couverture de sol passable (30 à 50%)

Cases blanches : dates à éviter, couverture de sol insuffisante (moins de 30%)

Ce tableau pourra être utilisé par les producteurs maraichers en terre noire afin de choisir l'espèce à privilégier en fonction de la date de semis et de la couverture du sol visées. Les taux de semis et/ou la date de semis devront cependant être ajustés selon l'expérience du producteur, puisqu'une variation de plusieurs points de pourcentage a pu être observée entre les sites et les années. D'ailleurs, il est de plus en plus fréquent d'observer des conditions propices à la croissance des CC après le 10 novembre, date à laquelle les évaluations de couverture du sol ont été effectuées dans ce projet. De plus, puisque les CC

ont été semées manuellement dans ce projet, il est possible que de meilleurs résultats puissent être obtenus par les producteurs avec leur méthode de semis, notamment au niveau de l'uniformité des semis. Finalement, il faudra aussi garder en tête que ces résultats ont été classés selon des seuils arbitraires dont l'efficacité contre l'érosion n'a pas été démontrée. Une meilleure compréhension du couvert végétal nécessaire pour contrer la perte de sol organique serait nécessaire afin d'élaborer des recommandations fiables.

#### Biomasse sèche à l'automne

Les données de biomasse sèche sont présentées à l'annexe 6. Les différences entre les sites et les années suivent les mêmes tendances que pour la couverture du sol.

La biomasse diminuait pour les dates de semis plus tardives, avec une baisse marquée après la dernière date de semis permettant d'obtenir un bon couvert de sol, telle qu'identifiée dans le tableau 1. En calquant les dates de semis recommandées au tableau 1 sur les moyennes de biomasse sèche du tableau 2, le seuil de 50% de couverture du sol correspondrait à une biomasse sèche d'environ 0,55 t.m./ha, et le seuil de 30% à une biomasse sèche d'environ 0,25 t.m./ha. Ces seuils devront cependant être validés puisqu'une variation importante a été observée entre les sites. D'ailleurs, la relation entre la couverture du sol et la biomasse était plus variable pour les pourcentages de couverture plus élevés, particulièrement pour le kale fourrager (C10) qui obtenait de fortes biomasses pour une couverture similaire aux graminées.

Tableau 2. Biomasse aérienne sèche moyenne (en tonnes métriques par hectare) obtenue avant l'hiver en fonction de la date de semis

| Culture de couverture      | Date de semis |             |             |             |             |             |
|----------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            | 10-sept       | 20-sept     | 27-sept     | 07-oct      | 14-oct      | 21-oct      |
| <b>Seigle d'automne</b>    | 1,42 ± 0,16   | 0,85 ± 0,07 | 0,56 ± 0,04 | 0,22 ± 0,03 | 0,07 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 |
| <b>Trèfle incarnat</b>     | 0,56 ± 0,10   | 0,29 ± 0,03 | 0,22 ± 0,05 | 0,09 ± 0,02 | 0,03 ± 0,01 | 0,01 ± 0,00 |
| <b>Blé d'hiver</b>         | 1,39 ± 0,16   | 1,00 ± 0,09 | 0,62 ± 0,06 | 0,38 ± 0,03 | 0,07 ± 0,01 | 0,06 ± 0,02 |
| <b>Seigle-vesce velue</b>  | 1,47 ± 0,10   | 0,94 ± 0,07 | 0,51 ± 0,06 | 0,25 ± 0,04 | 0,06 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 |
| <b>Avoine-pois d'hiver</b> | 1,60 ± 0,22   | 0,97 ± 0,10 | 0,49 ± 0,05 | 0,18 ± 0,02 | 0,06 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 |
| <b>Avoine-pois 4010</b>    | 1,74 ± 0,21   | 0,85 ± 0,10 | 0,45 ± 0,04 | 0,20 ± 0,02 | 0,06 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 |
| <b>Avoine</b>              | 1,63 ± 0,22   | 0,95 ± 0,09 | 0,55 ± 0,07 | 0,20 ± 0,03 | 0,06 ± 0,01 | 0,05 ± 0,02 |
| <b>Orge d'hiver</b>        | 1,75 ± 0,16   | 1,22 ± 0,10 | 0,72 ± 0,06 | 0,36 ± 0,03 | 0,13 ± 0,02 | 0,08 ± 0,02 |
| <b>Kale fourrager</b>      | 2,55 ± 0,40   | 1,11 ± 0,20 | 0,78 ± 0,13 | 0,31 ± 0,03 | 0,05 ± 0,01 | 0,04 ± 0,02 |

Il n'existe pas de seuil de biomasse humide ou sèche permettant de contrer l'érosion en sols organiques, mais les données amassées pourront être utilisées afin d'élaborer des recommandations si un tel seuil venait à être déterminé. Les biomasses mériteraient d'être confirmées en parcelles à plus grande échelle pour les mêmes raisons que pour la couverture du sol; en effet, il était difficile d'obtenir un échantillon de biomasse représentatif lorsque le semis n'était pas uniforme dans la sous-parcelle.

### Survie à l'hiver

Aux printemps 2022 et 2023, les céréales d'automne (seigle d'automne, blé d'hiver, seigle-vesce velue et orge d'hiver) avaient survécu à l'hiver dans la plupart des parcelles pour toutes les dates de semis testées, et ce peu importe le pourcentage de couverture du sol à l'automne. Le taux de survie était moins bon pour le semis du 21 octobre (D6) pour toutes les céréales d'automne et à partir du 7 octobre (D4) pour l'orge d'hiver. Le pois d'hiver (C6) a repoussé dans une seule parcelle au printemps 2022. Dans le mélange seigle-vesce velue (C5), la vesce a survécu à l'hiver pour les semis allant jusqu'au 7 octobre (D4) mais pas pour les dates de semis suivantes.

Tableau 3. Pourcentage des parcelles où la culture de couverture a survécu à l'hiver

| Culture de couverture      | Date de semis |         |         |        |        |        |
|----------------------------|---------------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                            | 10-sept       | 20-sept | 27-sept | 07-oct | 14-oct | 21-oct |
| <b>Seigle d'automne</b>    | 100%          | 100%    | 100%    | 100%   | 100%   | 67%    |
| <b>Trèfle incarnat</b>     | 0%            | 0%      | 0%      | 0%     | 0%     | 0%     |
| <b>Blé d'hiver</b>         | 100%          | 100%    | 100%    | 100%   | 100%   | 75%    |
| <b>Seigle-vesce velue</b>  | 100%          | 100%    | 100%    | 100%   | 100%   | 67%    |
| <b>Avoine-pois d'hiver</b> | 8%            | 0%      | 0%      | 0%     | 0%     | 0%     |
| <b>Avoine-pois 4010</b>    | 0%            | 0%      | 0%      | 0%     | 0%     | 0%     |
| <b>Avoine</b>              | 0%            | 0%      | 0%      | 0%     | 0%     | 0%     |
| <b>Orge d'hiver</b>        | 92%           | 100%    | 100%    | 83%    | 75%    | 58%    |
| <b>Kale fourrager</b>      | 0%            | 0%      | 0%      | 0%     | 0%     | 0%     |

La survie à l'hiver des cultures de couverture est un paramètre important pour les producteurs maraichers, puisqu'elle détermine la quantité de résidus au printemps, la méthode de destruction à utiliser, et la possibilité d'utiliser la culture comme engrais vert de printemps avant un semis de légume tardif. Selon les résultats obtenus, les céréales d'automne, et particulièrement le seigle d'automne (C2 et C5) et le blé d'hiver (C4), sont à éviter si la repousse au printemps n'est pas désirée. À l'opposé, pour les producteurs désirant que la CC survive à l'hiver, l'orge d'hiver ne devrait pas être semée plus tard qu'à la fin septembre afin d'obtenir un résultat constant.

Durant les hivers 2021-2022 et 2022-2023, le temps a été passablement doux, avec peu de froids extrêmes prolongés, et un couvert neigeux a recouvert les champs de façon presque continue jusqu'à la fonte des neiges. Il est donc plus que probable que le taux de survie observé dans ce projet soit supérieur à ce qui devrait être attendu après un hiver se situant dans les normales. Ainsi, les taux de survie pourraient être inférieurs à ceux présentés au tableau 3, notamment pour les dates de semis plus tardives.

### Couverture du sol au printemps

Les données de pourcentage de couverture du sol au printemps sont présentées à l'annexe 7. Des différences existent entre les sites et les années, mais ne reflètent pas nécessairement les différences observées à l'automne. En effet, bien que le printemps 2023 ait été plus chaud que le printemps 2022, la couverture du sol est généralement plus élevée dans les sites 3 et 4 que dans les sites 5 et 6. Cette différence s'expliquerait par la meilleure

croissance des CC à l'automne 2021 qu'à l'automne 2022. Cependant, pour le seigle d'automne, le blé d'hiver et le mélange seigle-vesce velue, la couverture du sol est meilleure au printemps dans le site 3 que le site 4, alors que l'inverse avait été observé pour ces traitements à l'automne (meilleure couverture dans le site 4 à l'automne). Le site 3 se trouvant dans un sol plus jeune et mieux drainé que le site 4, il est possible que la croissance ait été meilleure au printemps dans le site 3.

Dans tous les sites, on remarque une importante diminution de la couverture du sol par rapport à l'automne, la moyenne maximale atteinte étant de 68% de couverture au printemps (site 3, D1, C5) contre 94% à l'automne (Annexe 4, site 4, D1, C2 et C9). Les espèces à feuilles larges, comme le trèfle incarnat (C3), le kale fourrager (C10) et le pois dans les mélanges C6 et C7, laissent très peu de résidus au printemps et offrent donc une moins bonne protection du sol en attendant la plantation de la culture principale. Cette caractéristique peut être avantageuse pour les cultures maraichères implantées hâtivement, à partir de la mi-avril : l'absence de résidus permet une préparation du sol plus facile et réduit les problèmes liés à l'excès de résidus ou au travail excessif du sol. Le seigle d'automne seul ou en mélange (C2 et C5), le blé d'hiver (C4) et l'orge d'hiver (C9) offraient la meilleure protection du sol au printemps, parfois meilleure qu'à l'automne pour les semis réalisés en octobre. Puisque ces espèces ont survécu à l'hiver, une bonne partie de la protection provenait des nouvelles pousses plutôt que des résidus.

Ainsi, si la protection du sol au printemps est importante pour le producteur, seules les céréales d'automne survivant à l'hiver (C2, C4, C5 et C9) semblent appropriées, et le semis ne pourra dépasser le 27 septembre pour une protection du sol en avril. D'un autre côté, si une bonne protection du sol n'est pas nécessaire avant le mois de mai, durant la période habituelle de grands vents dans la région, un semis allant jusqu'au 7 octobre pourrait être acceptable pour ces espèces si les conditions de croissance sont bonnes au printemps.

#### Effet des résidus de CC sur la culture maraichère suivante

Au printemps 2022, de l'échalote française et de l'oignon sec ont été semés dans les sites 3 et 4, respectivement. Au printemps 2023, les sites 5 et 6 ont été plantés en laitue et les évaluations de densités n'ont pas été faites. Les données de densité de la culture principale pour les sites 3 et 4 sont présentées à l'annexe 8.

Dans l'ensemble, il y a eu peu d'effet des résidus de CC sur la levée de la culture principale, ce qui était attendu puisque les producteurs maraichers adaptent l'intensité du travail de sol à la quantité de résidus afin d'obtenir un lit de semis uniforme. Des différences ont été observées pour l'avoine-pois fourrager dans le site 3 et pour l'avoine-pois d'hiver et l'orge d'hiver dans le site 4. Pour ces traitements, la densité de la culture principale était généralement plus faible aux dates de semis plus hâtives, qui étaient associées à une plus grande quantité de résidus au printemps (Tableau 4). Au final, les CC évaluées ne risquent pas de causer de problème important pour le semis de la culture suivante si la méthode de destruction appropriée est utilisée.

### Effet sur la compaction du sol

Les données de profondeur de la couche compacte sont présentées à l'annexe 9. La couche compacte est le résultat de processus naturels dans les sols organiques cultivés. Elle est formée par l'accumulation de particules fines dans un horizon moins dégradé se situant sous l'horizon cultivé, et nuit à la pénétration racinaire et à l'infiltration de l'eau. On la trouve généralement à une profondeur de 30 à 40 cm (Dessureault-Rompré *et al.*, 2018). Il n'existe pas de valeur de résistance du sol à la pénétration (RSP) permettant de détecter la couche compacte; elle est généralement définie par une augmentation subite de la RSP dans le profil du sol, suivie la plupart du temps par une diminution également soudaine de la RSP (Figure 1).

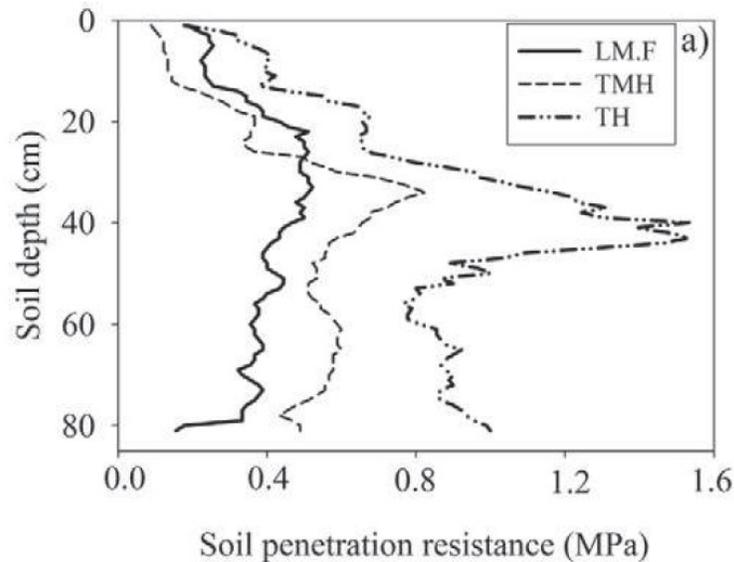


Figure 1. Courbe typique de résistance du sol à la pénétration (RSP) indiquant la présence d'une couche compacte. Dans le graphique, des couches compactes de RSP différentes sont observées dans les sols de type TH et TMH. Tiré de Dessureault-Rompré *et al.* (2018).

Aucune tendance générale ne s'est démarquée et aucune différence significative n'a été observée entre les dates de semis et les cultures de couverture. La couche compacte débutait en moyenne entre 15 cm et 40 cm de profondeur, ce qui correspond aux données disponibles dans la littérature scientifique pour la région. Les différences entre les sites peuvent s'expliquer par le niveau de dégradation du sol (le site 4 étant en sol plus décomposé), les pratiques culturales des producteurs, et le contenu en eau du sol au moment de l'évaluation. Dans une étude évaluant l'effet de cultures à enracinement profond sur la couche compacte en sols organiques, Thériault *et al.* (2019) avaient observé peu d'effet sur la compaction du sol après deux ans de cultures de couverture de pleine saison. Les auteurs expliquaient ces résultats par la possibilité que les racines des CC n'avaient pas pu se développer en profondeur dans le profil de sol à cause d'une nappe perchée causée par la couche compacte, créant des conditions anoxiques peu favorables à la croissance des racines. Un phénomène similaire pourrait s'être produit dans notre projet, mais il est

probable que, pour plusieurs traitements, les racines n'aient simplement pas pu se développer assez pour atteindre et croître à travers la couche compacte.

Il est possible que les CC aient eu un impact positif sur la compaction dans l'horizon cultivé du sol, mais Thériault *et al.* (2019) rapportaient que cet effet était effacé dès le travail du sol servant à préparer le terrain pour une culture de laitue. Il en va de même pour les effets sur le drainage profond du sol au printemps, bien que les CC ayant survécu à l'hiver puissent avoir eu un impact positif sur l'assèchement du sol au printemps. Cet aspect mériterait d'être étudié plus en profondeur puisqu'un assèchement du sol plus hâtif au printemps permet aux producteurs maraichers de détruire la CC et de préparer le sol plus tôt, réduisant l'impact négatif de la présence de résidus abondants.

### **DIFFUSION DES RÉSULTATS**

Afin d'encourager l'utilisation des cultures de couverture et d'atteindre le plus grand nombre de producteurs et de conseillers possible, les dates de semis recommandées, la fiche-synthèse et le rapport technique produits seront distribués via les sites web de PRISME et d'Agri-Réseau. Il est aussi prévu que les résultats du projet soient présentés dans le cadre des journées d'information annuelles de PRISME à l'hiver 2024 et lors des Journées horticoles de St-Rémi 2024. L'outil de décision en ligne pour cultures de couverture (Innovations in Cover Crops) d'Agriculture Canada ne pourra pas être bonifié avec les résultats du projet puisque l'outil n'est opérationnel en ligne.

|  |   |
|--|---|
| Estimer le nombre d'entreprises touchées par les résultats du projet | Tous les producteurs maraichers en terre noire en Montérégie (environ 50) |
|--|---|

### **APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE**

Plus de 1800 ha de sols organiques sont cultivés dans la MRC des Jardins-de-Napierville, principalement en production maraichère (Hallema *et al.*, 2015). Leur conservation est un enjeu prioritaire pour les producteurs maraichers de la région. À cette fin, une stratégie à plusieurs volets doit être envisagée, comprenant l'utilisation de cultures de couverture, l'apport d'amendements riches en carbone, la plantation de haies de saules, l'utilisation stratégique de l'irrigation, et la restauration des sols minces (Caron, 2022). En production maraichère, le calendrier de production intensif limite cependant les options de cultures de couverture après les récoltes plus tardives de septembre et octobre.

Ce projet a permis d'identifier 8 espèces et mélanges de CC pouvant être semés jusqu'au 7 octobre afin d'obtenir une protection du sol passable à bonne. Le potentiel de survie à l'hiver et la quantité de résidus au sol au printemps ont aussi été déterminés pour ces cultures de couverture en fonction de la date de semis, puisque la repousse des cultures et l'excès de résidus au printemps sont des facteurs limitant l'adoption des CC chez les producteurs maraichers, particulièrement pour les champs qui seront semés hâtivement au printemps suivant. Avec ces nouvelles connaissances, les producteurs maraichers en sols organiques seront mieux en mesure de planifier les semis de CC en fin de saison en choisissant les espèces et les dates de semis appropriées, ce qui permettra d'augmenter les superficies protégées durant l'hiver et le printemps.

Les résultats obtenus devront être validés à grande échelle par les producteurs agricoles en sols organiques afin d'ajuster les dates et taux de semis à leurs sols et leur méthode de semis. De plus, afin de permettre une meilleure utilisation des cultures de couverture contre l'érosion en terres noires, il serait intéressant d'établir un seuil de protection du sol facilement mesurable sur le terrain, par exemple à partir du pourcentage de couverture du sol ou de la biomasse des cultures de couverture. D'autres espèces de CC et d'autres stratégies d'implantation des CC mériteraient aussi d'être explorées afin d'offrir des solutions de protection du sol au-delà du 7 octobre, pour les cultures récoltées après cette date.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Caron, J. (2022) Conservation des sols organiques : importance, mécanismes et méthodes de lutte. Une synthèse de 14 ans de travaux. Présentée aux Journées horticoles et grandes cultures de St-Rémi, 6 décembre 2022.

Dessureault-Rompré, J., L. Thériault, C.V. Guedessou, J. Caron. (2018) Strength and Permeability of Cultivated Histosols Characterized by Differing Degrees of Decomposition. DOI : 10.2136/vzj2017.08.0156

Hallema D.W., J.A. Lafond, Y. Périard, S.J. Gumiere, J. Caron. (2015) Long-Term Effects of Peatland Cultivation on Soil Physical and Hydraulic Properties: Case Study in Canada. DOI : 10.2136/vzj2014.10.0147.

Shooner, N. (2023) Quantification de la perte de sol et de nutriments par érosion hydrique en sol organique et identification des voies empruntées lors des événements d'érosion. Thèse de Maîtrise, Université Laval, Québec, Canada.

Thériault, L., J. Dessureault-Rompré, J. Caron. (2019) Short-Term Improvement in Soil Physical Properties of Cultivated Histosols through Deep-Rooted Crop Rotation and Subsoiling. DOI : 10.2134/agronj2018.04.0281

## **PERSONNE-RESSOURCE POUR INFORMATION**

Carl Dion Laplante, agr.  
Compagnie de recherche Phytodata Inc.  
291 de la Coopérative  
Sherrington J0L 2N0  
450-454-3992 poste 28  
[cdion@prisme.ca](mailto:cdion@prisme.ca)

## **REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS**

Ce projet a été réalisé dans le cadre du sous-volet 3.1 du programme Prime-Vert – Appui au développement expérimental, à l'adaptation technologique et au transfert technologique des connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Nous remercions également les fermes Delfland inc. et Production horticole Van Winden pour leur participation.

# ANNEXE 1 : Dispositif expérimental

|        |        | Bloc 1 |        | Bloc 2 |        | Bloc 3 |     |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
|        |        | 2m     |        |        |        |        |     |
| 1m     | 165    | 160    | 265    | 260    | 365    | 360    | 30m |
|        | D1.C9  | D1.C8  | D2.C4  | D2.C9  | D4.C9  | D4.C6  |     |
|        | 164    | 169    | 264    | 269    | 364    | 369    |     |
|        | D1.C2  | D1.C10 | D2.C6  | D2.C1  | D4.C8  | D4.C1  |     |
|        | 163    | 168    | 263    | 268    | 363    | 368    |     |
|        | D1.C3  | D1.C6  | D2.C7  | D2.C2  | D4.C7  | D4.C5  |     |
|        | 162    | 167    | 262    | 267    | 362    | 367    |     |
|        | D1.C1  | D1.C4  | D2.C5  | D2.C3  | D4.C4  | D4.C10 |     |
|        | 161    | 166    | 261    | 266    | 361    | 366    |     |
|        | D1.C7  | D1.C5  | D2.C8  | D2.C10 | D4.C2  | D4.C3  |     |
|        | 155    | 150    | 255    | 250    | 355    | 350    |     |
|        | D3.C7  | D3.C9  | D4.C2  | D4.C9  | D1.C1  | D1.C9  |     |
|        | 154    | 159    | 254    | 259    | 354    | 359    |     |
|        | D3.C3  | D3.C5  | D4.C5  | D4.C4  | D1.C4  | D1.C3  |     |
|        | 153    | 158    | 253    | 258    | 353    | 358    |     |
|        | D3.C10 | D3.C4  | D4.C7  | D4.C6  | D1.C8  | D1.C6  |     |
|        | 152    | 157    | 252    | 257    | 352    | 357    |     |
|        | D3.C6  | D3.C2  | D4.C3  | D4.C10 | D1.C5  | D1.C10 |     |
|        | 151    | 156    | 251    | 256    | 351    | 356    |     |
|        | D3.C8  | D3.C1  | D4.C8  | D4.C1  | D1.C7  | D1.C2  |     |
|        | 145    | 140    | 245    | 240    | 345    | 340    |     |
|        | D5.C6  | D5.C2  | D6.C9  | D6.C3  | D2.C5  | D2.C7  |     |
|        | 144    | 149    | 244    | 249    | 344    | 349    |     |
|        | D5.C8  | D5.C3  | D6.C6  | D6.C10 | D2.C2  | D2.C1  |     |
|        | 143    | 148    | 243    | 248    | 343    | 348    |     |
|        | D5.C4  | D5.C5  | D6.C8  | D6.C2  | D2.C6  | D2.C9  |     |
|        | 142    | 147    | 242    | 247    | 342    | 347    |     |
|        | D5.C9  | D5.C10 | D6.C4  | D6.C7  | D2.C10 | D2.C4  |     |
|        | 141    | 146    | 241    | 246    | 341    | 346    |     |
|        | D5.C7  | D5.C1  | D6.C5  | D6.C1  | D2.C8  | D2.C3  |     |
| 135    | 130    | 235    | 230    | 335    | 330    |        |     |
| D4.C6  | D4.C1  | D3.C1  | D3.C10 | D6.C8  | D6.C1  |        |     |
| 134    | 139    | 234    | 239    | 334    | 339    |        |     |
| D4.C9  | D4.C3  | D3.C5  | D3.C2  | D6.C5  | D6.C10 |        |     |
| 133    | 138    | 233    | 238    | 333    | 338    |        |     |
| D4.C5  | D4.C10 | D3.C6  | D3.C3  | D6.C9  | D6.C6  |        |     |
| 132    | 137    | 232    | 237    | 332    | 337    |        |     |
| D4.C4  | D4.C8  | D3.C4  | D3.C8  | D6.C3  | D6.C2  |        |     |
| 131    | 136    | 231    | 236    | 331    | 336    |        |     |
| D4.C7  | D4.C2  | D3.C9  | D3.C7  | D6.C4  | D6.C7  |        |     |
| 125    | 120    | 225    | 220    | 325    | 320    |        |     |
| D2.C8  | D2.C5  | D5.C9  | D5.C8  | D3.C2  | D3.C8  |        |     |
| 124    | 129    | 224    | 229    | 324    | 329    |        |     |
| D2.C3  | D2.C9  | D5.C1  | D5.C6  | D3.C4  | D3.C1  |        |     |
| 123    | 128    | 223    | 228    | 323    | 328    |        |     |
| D2.C6  | D2.C2  | D5.C3  | D5.C2  | D3.C5  | D3.C10 |        |     |
| 122    | 127    | 222    | 227    | 322    | 327    |        |     |
| D2.C4  | D2.C1  | D5.C7  | D5.C4  | D3.C9  | D3.C7  |        |     |
| 121    | 126    | 221    | 226    | 321    | 326    |        |     |
| D2.C10 | D2.C7  | D5.C10 | D5.C5  | D3.C3  | D3.C6  |        |     |
| 115    | 110    | 215    | 210    | 315    | 310    |        |     |
| D6.C5  | D6.C1  | D1.C3  | D1.C4  | D5.C4  | D5.C3  |        |     |
| 114    | 119    | 214    | 219    | 314    | 319    |        |     |
| D6.C10 | D6.C7  | D1.C10 | D1.C2  | D5.C10 | D5.C7  |        |     |
| 113    | 118    | 213    | 218    | 313    | 318    |        |     |
| D6.C2  | D6.C4  | D1.C9  | D1.C1  | D5.C5  | D5.C1  |        |     |
| 112    | 117    | 212    | 217    | 312    | 317    |        |     |
| D6.C6  | D6.C8  | D1.C7  | D1.C5  | D5.C9  | D5.C2  |        |     |
| 111    | 116    | 211    | 216    | 311    | 316    |        |     |
| D6.C9  | D6.C3  | D1.C6  | D1.C8  | D5.C6  | D5.C8  |        |     |

12m

## ANNEXE 2 : Dates de semis et espèces testées

Tableau A1. Dates de semis et ajustement du taux de semis de départ selon l'année du projet

| <b>Traitements principaux</b> |                              |             |             |
|-------------------------------|------------------------------|-------------|-------------|
| <b>Dates de semis</b>         | <b>Taux de semis relatif</b> |             |             |
|                               | <b>2020</b>                  | <b>2021</b> | <b>2022</b> |
| D1- 10 septembre              | 100%                         | 100%        | 100%        |
| D2- 20 septembre              | 100%                         | 115%        | 115%        |
| D3- 27 septembre              | 100%                         | 125%        | 125%        |
| D4- 7 octobre                 | 100%                         | 125%        | 150%        |
| D5- 14 octobre                | 100%                         | 150%        | 150%        |
| D6- 21 octobre                | 100%                         | 150%        | 150%        |

Tableau A2. Espèces et mélanges de cultures de couverture et taux de semis de départ selon l'année du projet. Une case grise indique que l'espèce n'a pas été utilisée cette année-là.

| <b>Traitements secondaires</b> |  |             |             |
|--------------------------------|--|-------------|-------------|
| <b>Espèces</b>                 | <b>Taux de semis de départ (kg/ha)</b> |             |             |
|                                | <b>2020</b>                            | <b>2021</b> | <b>2022</b> |
| C1- Témoin sol nu              | N/A                                    | N/A         | N/A         |
| C2- Seigle                     | 150                                    | 65          | 65          |
| C3- Trèfle incarnat            | 25                                     | 15          | 15          |
| C4- Blé d'hiver                | 150                                    | 110         | 110         |
| C5- Seigle/vesce velue         | 75/30                                  | 50/20       | 50/20       |
| C6- Avoine/pois d'hiver        | 60/40                                  | 60/40       | 60/40       |
| C7- Avoine/pois fourrager      | 60/60                                  | 60/60       | 60/60       |
| C8- Avoine                     | 150                                    | 110         | 110         |
| C9- Raygrass                   | 20                                     |             |             |
| C10- Tillage radish            | 15                                     |             |             |
| C9- Orge d'hiver               |  | 110         | 110         |
| C10- Kale fourrager            |  | 15          | 20          |

### ANNEXE 3 : Calendrier des opérations

| Opérations                                       | Site 1     | Site 2     | Site 3     | Site 4     | Site 5     | Site 6     |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Installation, désherbage et semis D1.C1 à D1.C10 | 2020-09-09 | 2020-09-10 | 2021-09-13 | 2021-09-14 | 2022-09-12 | 2022-09-13 |
| Désherbage et semis D2.C1 à D2.C10               | 2020-09-21 | 2020-09-21 | 2021-09-20 | 2021-09-20 | 2022-09-20 | 2022-09-20 |
| Désherbage et semis D3.1 à D3.C10                | 2020-09-28 | 2020-09-28 | 2021-09-27 | 2021-09-27 | 2022-09-27 | 2022-09-27 |
| Désherbage et semis D4.C1 à D4.C10               | 2020-10-05 | 2020-10-05 | 2021-10-06 | 2021-10-06 | 2022-10-07 | 2022-10-07 |
| Désherbage et semis D5.C1 à D5.C10               | 2020-10-14 | 2020-10-14 | 2021-10-15 | 2021-10-15 | 2022-10-14 | 2022-10-14 |
| Désherbage et semis D6.C1 à D6.C10               | 2020-10-23 | 2020-10-23 | 2021-10-20 | 2021-10-20 | 2022-10-20 | 2022-10-20 |
| Évaluation couverture et biomasse                | 2020-11-09 | 2020-11-10 | 2021-11-08 | 2021-11-09 | 2022-11-10 | 2022-11-11 |
| Évaluation survie, couverture et compaction      | 2021-04-13 | 2021-04-14 | 2022-04-12 | 2022-04-13 | 2023-04-19 | 2023-04-18 |
| Semis de la culture principale                   | 2021-05-10 | 2021-04-28 | 2022-05-09 | 2022-05-06 | N/A        | N/A        |
| Densité à la levée de la culture principale      | 2021-05-26 | 2021-05-20 | 2022-06-14 | 2022-06-07 | N/A        | N/A        |

## ANNEXE 4 : Pourcentage de couverture du sol lors de l'évaluation d'automne

**Tableau A3.** Pourcentage moyen de couverture du sol ( $\pm$  erreur-type) à l'automne 2021, site 3.

| Traitement               | Date de semis     |                   |                   |                  |                  |                 | P            |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|--------------|
|                          | 13-sept           | 20-sept           | 27-sept           | 06-oct           | 15-oct           | 20-oct          |              |
| 2- Seigle d'automne      | 76,5 $\pm$ 12,0 a | 73,3 $\pm$ 1,9 a  | 38,2 $\pm$ 6,5 a  | 11,1 $\pm$ 0,9 b | 4,3 $\pm$ 0,8 c  | 0,8 $\pm$ 0,2 d | $P < 0,0001$ |
| 3- Trèfle incarnat       | NA                | NA                | 26,5 $\pm$ 7,9 a  | 7,5 $\pm$ 2,3 a  | 1,3 $\pm$ 0,3 b  | 1,0 $\pm$ 0,3 b | $P < 0,0001$ |
| 4- Blé d'hiver           | 69,2 $\pm$ 9,8 a  | 58,0 $\pm$ 9,8 ab | 42,2 $\pm$ 7,5 bc | 27,3 $\pm$ 3,7 c | 7,5 $\pm$ 1,0 d  | 0,6 $\pm$ 0,3 e | $P < 0,0001$ |
| 5- Seigle/vesce velue    | 83,8 $\pm$ 7,4 a  | 57,0 $\pm$ 14,2 b | 40,5 $\pm$ 2,5 b  | 15,7 $\pm$ 2,2 c | 2,9 $\pm$ 0,5 d  | 0,4 $\pm$ 0,2 d | $P < 0,0001$ |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 71,5 $\pm$ 8,5 a  | 51,6 $\pm$ 5,6 b  | 35,4 $\pm$ 5,1 c  | 12,7 $\pm$ 0,3 d | 2,1 $\pm$ 0,8 e  | 0,2 $\pm$ 0,1 e | $P < 0,0001$ |
| 7- Avoine/pois fourrager | 79,6 $\pm$ 6,0 a  | 48,7 $\pm$ 8,7 b  | 35,3 $\pm$ 4,5 b  | 16,5 $\pm$ 2,8 c | 2,3 $\pm$ 0,9 d  | 0,4 $\pm$ 0,1 d | $P < 0,0001$ |
| 8- Avoine                | 70,7 $\pm$ 13,4 a | 50,1 $\pm$ 8,5 ab | 45,3 $\pm$ 3,9 b  | 18,6 $\pm$ 1,9 c | 2,9 $\pm$ 1,0 d  | 0,2 $\pm$ 0,1 d | $P < 0,0001$ |
| 9- Orge d'hiver          | 72,0 $\pm$ 7,4 a  | 77,7 $\pm$ 1,7 a  | 66,0 $\pm$ 6,8 a  | 41,6 $\pm$ 4,0 b | 11,8 $\pm$ 1,7 c | 1,0 $\pm$ 0,1 d | $P < 0,0001$ |
| 10- Kale fourrager       | 57,7 $\pm$ 14,4 a | 51,4 $\pm$ 8,1 ab | 35,9 $\pm$ 2,1 b  | 21,0 $\pm$ 3,5 c | 2,1 $\pm$ 0,4 d  | 1,7 $\pm$ 0,5 d | $P < 0,0001$ |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher).

**Tableau A4.** Pourcentage moyen de couverture du sol ( $\pm$  erreur-type) à l'automne 2021, site 4.

| Traitement               | Date de semis    |                    |                    |                    |                  |                 | P             |
|--------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|-----------------|---------------|
|                          | 14-sept          | 20-sept            | 27-sept            | 06-oct             | 15-oct           | 20-oct          |               |
| 2- Seigle d'automne      | 93,9 $\pm$ 3,5 a | 69,2 $\pm$ 13,6 ab | 57,6 $\pm$ 8,9 b   | 19,8 $\pm$ 5,2 c   | 4,0 $\pm$ 0,4 d  | 0,4 $\pm$ 0,4 d | $P < 0,0001$  |
| 3- Trèfle incarnat       | NA               | NA                 | 14,5 $\pm$ 2,1 c   | 9,2 $\pm$ 1,7 c    | 1,5 $\pm$ 0,2 d  | 0,2 $\pm$ 0,1 e | $P < 0,0001$  |
| 4- Blé d'hiver           | 88,3 $\pm$ 4,1 a | 75,8 $\pm$ 8,7 ab  | 67,8 $\pm$ 4,3 b   | 34,6 $\pm$ 5,8 c   | 6,9 $\pm$ 1,7 d  | 0,1 $\pm$ 0,1 e | $P < 0,0001$  |
| 5- Seigle/vesce velue    | 90,3 $\pm$ 3,9 a | 62,2 $\pm$ 13,4 b  | 54,7 $\pm$ 7,1 b   | 17,9 $\pm$ 2,4 c   | 7,4 $\pm$ 4,0 c  | 0,4 $\pm$ 0,2 d | $P < 0,0001$  |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 83,1 $\pm$ 5,7 a | 68,1 $\pm$ 10,4 ab | 41,2 $\pm$ 1,4 abc | 17,1 $\pm$ 1,8 abc | 1,8 $\pm$ 0,8 bc | 0,0 $\pm$ 0,0 c | $P = 0,006^1$ |
| 7- Avoine/pois fourrager | NA               | 57,8 $\pm$ 13,7 a  | 39,0 $\pm$ 3,2 a   | 13,6 $\pm$ 1,7 ab  | 2,8 $\pm$ 0,2 ab | 0,0 $\pm$ 0,0 c | $P = 0,01^1$  |
| 8- Avoine                | 83,8 $\pm$ 2,8 a | 70,0 $\pm$ 12,9 a  | 61,4 $\pm$ 5,4 a   | 20,5 $\pm$ 2,6 b   | 3,5 $\pm$ 1,1 c  | 0,0 $\pm$ 0,0 d | $P < 0,0001$  |
| 9- Orge d'hiver          | 93,6 $\pm$ 2,1 a | 91,5 $\pm$ 1,9 a   | 89,8 $\pm$ 2,0 a   | 42,4 $\pm$ 4,2 b   | 9,5 $\pm$ 2,8 c  | 1,1 $\pm$ 0,6 d | $P < 0,0001$  |
| 10- Kale fourrager       | 89,8 $\pm$ 3,3 a | 61,3 $\pm$ 13,9 ab | 70,7 $\pm$ 10,2 b  | 26,4 $\pm$ 4,3 c   | 4,5 $\pm$ 0,4 d  | 0,6 $\pm$ 0,4 d | $P < 0,0001$  |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher)

<sup>1</sup>Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

**Tableau A5.** Pourcentage moyen de couverture du sol ( $\pm$  erreur-type) à l'automne 2022, site 5.

| Traitement                      | Date de semis     |                   |                   |                  |                  |                  | P            |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
|                                 | 14-sept           | 20-sept           | 27-sept           | 06-oct           | 15-oct           | 20-oct           |              |
| 2- Seigle d'automne             | 78,2 $\pm$ 3,6 a  | 61,4 $\pm$ 3,8 b  | 45,7 $\pm$ 3,3 c  | 24,3 $\pm$ 3,4 d | 11,3 $\pm$ 2,0 e | 5,4 $\pm$ 1,9 e  | $P < 0,0001$ |
| 3- Trèfle incarnat              | 48,3 $\pm$ 4,2 a  | 45,0 $\pm$ 5,2 a  | 18,1 $\pm$ 1,1 b  | 9,3 $\pm$ 1,2 c  | 5,0 $\pm$ 0,3 d  | 1,1 $\pm$ 0,2 e  | $P < 0,0001$ |
| 4- Blé d'hiver                  | 78,5 $\pm$ 0,6 a  | 70,9 $\pm$ 3,3 b  | 54,7 $\pm$ 1,8 c  | 37,0 $\pm$ 2,8 d | 16,6 $\pm$ 0,6 e | 10,3 $\pm$ 1,5 e | $P < 0,0001$ |
| 5- Seigle/vesce velue           | 78,9 $\pm$ 5,6 a  | 67,3 $\pm$ 1,9 a  | 44,5 $\pm$ 5,7 b  | 25,6 $\pm$ 1,7 c | 11,2 $\pm$ 0,5 d | 7,1 $\pm$ 0,6 d  | $P < 0,0001$ |
| 6- Avoine/pois d'hiver          | 80,1 $\pm$ 4,4 a  | 59,7 $\pm$ 3,0 b  | 39,9 $\pm$ 3,2 c  | 23,4 $\pm$ 1,3 d | 8,8 $\pm$ 0,5 e  | 4,5 $\pm$ 0,5 e  | $P < 0,0001$ |
| 7- Avoine/pois fourrager        | 77,5 $\pm$ 2,4 a  | 63,7 $\pm$ 2,8 b  | 37,8 $\pm$ 2,8 c  | 19,1 $\pm$ 3,0 d | 11,2 $\pm$ 2,1 e | 4,6 $\pm$ 0,7 e  | $P < 0,0001$ |
| 8- Avoine                       | 76,3 $\pm$ 4,8 a  | 68,0 $\pm$ 2,4 a  | 47,9 $\pm$ 3,0 b  | 24,2 $\pm$ 1,7 c | 11,4 $\pm$ 0,4 d | 6,6 $\pm$ 1,5 d  | $P < 0,0001$ |
| 9- Orge d'hiver                 | 82,2 $\pm$ 5,5 a  | 77,1 $\pm$ 5,5 a  | 62,2 $\pm$ 1,9 b  | 47,6 $\pm$ 1,8 c | 27,7 $\pm$ 3,9 d | 19,0 $\pm$ 3,9 d | $P < 0,0001$ |
| 10- Kale fourrager <sup>1</sup> | 71,9 $\pm$ 12,6 a | 65,6 $\pm$ 6,9 ab | 49,4 $\pm$ 3,8 bc | 38,4 $\pm$ 5,8 c | 16,8 $\pm$ 0,7 d | 6,6 $\pm$ 0,2 e  | $P < 0,0001$ |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher).

**Tableau A6.** Pourcentage moyen de couverture du sol ( $\pm$  erreur-type) à l'automne 2022, site 6.

| Traitement                      | Date de semis     |                   |                  |                  |                   |                  | P            |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------|
|                                 | 14-sept           | 20-sept           | 27-sept          | 06-oct           | 15-oct            | 20-oct           |              |
| 2- Seigle d'automne             | 67,8 $\pm$ 5,1 a  | 56,1 $\pm$ 9,1 ab | 48,6 $\pm$ 4,0 b | 18,5 $\pm$ 3,4 c | 11,2 $\pm$ 0,9 d  | 5,9 $\pm$ 0,3 e  | $P < 0,0001$ |
| 3- Trèfle incarnat              | 55,2 $\pm$ 2,7 a  | 27,1 $\pm$ 2,8 b  | 20,4 $\pm$ 2,2 c | 9,1 $\pm$ 1,3 d  | 6,9 $\pm$ 1,1 de  | 2,9 $\pm$ 0,2 e  | $P < 0,0001$ |
| 4- Blé d'hiver                  | 64,2 $\pm$ 1,9 a  | 72,0 $\pm$ 5,5 a  | 51,9 $\pm$ 6,9 b | 37,2 $\pm$ 3,1 c | 17,5 $\pm$ 2,4 d  | 8,6 $\pm$ 0,7 d  | $P = 0,01^1$ |
| 5- Seigle/vesce velue           | 73,8 $\pm$ 2,0 a  | 66,4 $\pm$ 3,0 b  | 38,8 $\pm$ 4,4 c | 21,2 $\pm$ 1,7 d | 10,7 $\pm$ 1,5 e  | 4,7 $\pm$ 1,2 e  | $P < 0,0001$ |
| 6- Avoine/pois d'hiver          | 64,6 $\pm$ 4,2 a  | 60,6 $\pm$ 8,3 a  | 35,7 $\pm$ 1,6 b | 14,5 $\pm$ 3,2 c | 9,8 $\pm$ 1,3 cd  | 5,6 $\pm$ 0,6 d  | $P < 0,0001$ |
| 7- Avoine/pois fourrager        | 68,5 $\pm$ 1,2 a  | 53,2 $\pm$ 2,4 b  | 33,1 $\pm$ 1,8 c | 17,7 $\pm$ 2,1 d | 9,7 $\pm$ 1,1 e   | 4,9 $\pm$ 0,6 f  | $P < 0,0001$ |
| 8- Avoine                       | 54,1 $\pm$ 4,4 a  | 58,0 $\pm$ 8,0 a  | 43,9 $\pm$ 1,8 b | 20,6 $\pm$ 3,7 c | 10,8 $\pm$ 1,2 cd | 6,0 $\pm$ 1,1 d  | $P < 0,0001$ |
| 9- Orge d'hiver                 | 69,1 $\pm$ 9,0 ab | 71,2 $\pm$ 4,4 a  | 56,4 $\pm$ 7,7 b | 35,6 $\pm$ 5,0 c | 27,7 $\pm$ 3,0 cd | 17,3 $\pm$ 2,4 d | $P < 0,0001$ |
| 10- Kale fourrager <sup>1</sup> | 76,5 $\pm$ 6,4 a  | 68 $\pm$ 12,4 a   | 72,1 $\pm$ 5,9 a | 44,1 $\pm$ 4,8 b | 21,6 $\pm$ 1,6 c  | 10,1 $\pm$ 2,1 c | $P < 0,0001$ |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher).

<sup>1</sup>Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

**ANNEXE 5 : Seuils de pourcentage de couverture du sol à l'automne**

| <b>Seuil de couverture de sol</b> | <b>30%</b>  | <b>50%</b>   |
|-----------------------------------|---|--|
| <b>Vue du dessus</b>              |   |   |
| <b>Vue panoramique</b>            |  |  |

## ANNEXE 6 : Biomasse sèche à l'automne

**Tableau A7.** Biomasse sèche moyenne ( $\pm$  erreur-type) en tonnes métriques par hectare des cultures de couverture à l'automne 2021, site 3.

| Traitement               | Date de semis   |                  |                   |                   |                  |                 | P                       |
|--------------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
|                          | 13-sept         | 20-sept          | 27-sept           | 06-oct            | 15-oct           | 20-oct          |                         |
| 2- Seigle d'automne      | 1,3 $\pm$ 0,2 a | 0,9 $\pm$ 0,0 ab | 0,5 $\pm$ 0,0 abc | 0,2 $\pm$ 0,0 abc | 0,1 $\pm$ 0,0 bc | 0,0 $\pm$ 0,0 c | P = 0,005               |
| 3- Trèfle incarnat       | NA              | NA               | 0,2 $\pm$ 0,1 b   | 0,1 $\pm$ 0,0 bc  | 0,0 $\pm$ 0,0 cd | 0,0 $\pm$ 0,0 d | P = 0,001 <sup>1</sup>  |
| 4- Blé d'hiver           | 1,7 $\pm$ 0,4 a | 1,0 $\pm$ 0,1 ab | 0,6 $\pm$ 0,1 abc | 0,3 $\pm$ 0,0 abc | 0,1 $\pm$ 0,0 bc | 0,0 $\pm$ 0,0 c | P = 0,005               |
| 5- Seigle/vesce velue    | 1,6 $\pm$ 0,1 a | 1,0 $\pm$ 0,2 ab | 0,5 $\pm$ 0 abc   | 0,3 $\pm$ 0,0 abc | 0,1 $\pm$ 0,0 bc | 0,0 $\pm$ 0,0 c | P = 0,006               |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 1,9 $\pm$ 0,4 a | 0,9 $\pm$ 0,2 ab | 0,5 $\pm$ 0,1 abc | 0,2 $\pm$ 0,0 abc | 0,0 $\pm$ 0,0 bc | 0,0 $\pm$ 0,0 c | P = 0,006               |
| 7- Avoine/pois fourrager | 2,3 $\pm$ 0,5 a | 1,0 $\pm$ 0,2 b  | 0,4 $\pm$ 0,1 c   | 0,2 $\pm$ 0,0 c   | 0,0 $\pm$ 0,0 d  | 0,0 $\pm$ 0,0 d | P < 0,0001 <sup>1</sup> |
| 8- Avoine                | 2,3 $\pm$ 0,5 a | 0,8 $\pm$ 0,2 ab | 0,6 $\pm$ 0,1 ab  | 0,2 $\pm$ 0,0 ab  | 0,1 $\pm$ 0,0 b  | 0,0 $\pm$ 0,0 b | P = 0,006               |
| 9- Orge d'hiver          | 1,7 $\pm$ 0,2 a | 1,1 $\pm$ 0,2 b  | 0,7 $\pm$ 0,1 b   | 0,4 $\pm$ 0,0 c   | 0,1 $\pm$ 0,0 d  | 0,0 $\pm$ 0,0 d | P < 0,0001 <sup>1</sup> |
| 10- Kale fourrager       | 1,8 $\pm$ 0,0 a | 0,6 $\pm$ 0,1 ab | 0,5 $\pm$ 0,1 abc | 0,3 $\pm$ 0,0 abc | 0,0 $\pm$ 0,0 bc | 0,0 $\pm$ 0,0 c | P = 0,005               |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , Dunn Test).

<sup>1</sup> Test de comparaisons multiples LSD de Fisher ( $\alpha=0,05$ ).

**Tableau A8.** Biomasse sèche moyenne ( $\pm$  erreur-type) en tonnes métriques par hectare des cultures de couverture à l'automne 2021, site 4.

| Traitement               | Date de semis   |                  |                   |                   |                  |                 | P                       |
|--------------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
|                          | 14-sept         | 20-sept          | 27-sept           | 06-oct            | 15-oct           | 20-oct          |                         |
| 2- Seigle d'automne      | 2,2 $\pm$ 0,1 a | 0,9 $\pm$ 0,3 ab | 0,6 $\pm$ 0,1 ab  | 0,3 $\pm$ 0,0 ab  | 0,1 $\pm$ 0,0 b  | 0,0 $\pm$ 0,0 b | P = 0,008               |
| 3- Trèfle incarnat       | NA              | NA               | 0,3 $\pm$ 0,1 a   | 0,1 $\pm$ 0,0 ab  | 0,0 $\pm$ 0,0 ab | 0,0 $\pm$ 0,0 b | P = 0,02                |
| 4- Blé d'hiver           | 1,5 $\pm$ 0,5 a | 1,3 $\pm$ 0,3 a  | 0,8 $\pm$ 0,2 ab  | 0,5 $\pm$ 0,0 ab  | 0,1 $\pm$ 0,0 ab | 0,0 $\pm$ 0,0 b | P = 0,009               |
| 5- Seigle/vesce velue    | 1,7 $\pm$ 0,1 a | 1,2 $\pm$ 0,1 b  | 0,7 $\pm$ 0,1 c   | 0,3 $\pm$ 0,1 d   | 0,0 $\pm$ 0,0 e  | 0,0 $\pm$ 0,0 e | P < 0,0001 <sup>1</sup> |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 2,1 $\pm$ 0,5 a | 1,2 $\pm$ 0,2 b  | 0,7 $\pm$ 0,1 c   | 0,2 $\pm$ 0,0 d   | 0,0 $\pm$ 0,0 e  | 0,0 $\pm$ 0,0 e | P < 0,0001 <sup>1</sup> |
| 7- Avoine/pois fourrager | 1,8 $\pm$ 0,6 a | 0,9 $\pm$ 0,2 ab | 0,6 $\pm$ 0,1 ab  | 0,3 $\pm$ 0,1 ab  | 0,1 $\pm$ 0,0 b  | 0,0 $\pm$ 0,0 b | P = 0,01                |
| 8- Avoine                | 2,0 $\pm$ 0,4 a | 1,2 $\pm$ 0,1 ab | 0,8 $\pm$ 0,2 abc | 0,3 $\pm$ 0,0 abc | 0,1 $\pm$ 0,0 bc | 0,0 $\pm$ 0,0 c | P = 0,006               |
| 9- Orge d'hiver          | 2,5 $\pm$ 0,1 a | 1,4 $\pm$ 0,2 b  | 0,9 $\pm$ 0,2 c   | 0,5 $\pm$ 0,0 d   | 0,1 $\pm$ 0,0 e  | 0,0 $\pm$ 0,0 e | P < 0,0001 <sup>1</sup> |
| 10- Kale fourrager       | 4,6 $\pm$ 0,5 a | 2,0 $\pm$ 0,4 b  | 1,5 $\pm$ 0,1 b   | 0,4 $\pm$ 0,0 c   | 0,1 $\pm$ 0,0 d  | 0,0 $\pm$ 0,0 d | P < 0,0001 <sup>1</sup> |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , Dunn Test).

<sup>1</sup> Test de comparaisons multiples LSD de Fisher ( $\alpha=0,05$ ).

**Tableau A9.** Biomasse sèche moyenne ( $\pm$  erreur-type) en tonnes métriques par hectare des cultures de couverture à l'automne 2022, site 5.

| Traitement               | Date de semis   |                 |                 |                  |                  |                 | P            |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|--------------|
|                          | 14-sept         | 20-sept         | 27-sept         | 06-oct           | 15-oct           | 20-oct          |              |
| 2- Seigle d'automne      | 1,3 $\pm$ 0,1 a | 0,9 $\pm$ 0,0 b | 0,5 $\pm$ 0,1 c | 0,1 $\pm$ 0,1 d  | 0,1 $\pm$ 0,0 d  | 0,1 $\pm$ 0,0 d | $P < 0,0001$ |
| 3- Trèfle incarnat       | 0,6 $\pm$ 0,2 a | 0,3 $\pm$ 0,0 a | 0,1 $\pm$ 0,0 a | 0,0 $\pm$ 0,0 a  | 0,0 $\pm$ 0,0 a  | 0,0 $\pm$ 0,0 a | $P = 0,03^1$ |
| 4- Blé d'hiver           | 1,3 $\pm$ 0,1 a | 0,9 $\pm$ 0,1 b | 0,5 $\pm$ 0,1 c | 0,3 $\pm$ 0,1 cd | 0,0 $\pm$ 0,0 de | 0,1 $\pm$ 0,0 e | $P < 0,0001$ |
| 5- Seigle/vesce velue    | 1,3 $\pm$ 0,1 a | 0,8 $\pm$ 0,1 b | 0,3 $\pm$ 0,1 c | 0,1 $\pm$ 0,1 c  | 0,0 $\pm$ 0,0 c  | 0,1 $\pm$ 0,0 c | $P < 0,0001$ |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 1,5 $\pm$ 0,3 a | 0,9 $\pm$ 0,2 b | 0,3 $\pm$ 0,1 c | 0,1 $\pm$ 0,0 d  | 0,0 $\pm$ 0,0 d  | 0,1 $\pm$ 0,0 d | $P < 0,0001$ |
| 7- Avoine/pois fourrager | 1,4 $\pm$ 0,2 a | 0,9 $\pm$ 0,1 b | 0,4 $\pm$ 0,1 c | 0,1 $\pm$ 0,0 d  | 0,0 $\pm$ 0,0 d  | 0,1 $\pm$ 0,0 d | $P < 0,0001$ |
| 8- Avoine                | 1,3 $\pm$ 0,1 a | 0,9 $\pm$ 0,0 b | 0,4 $\pm$ 0,1 c | 0,1 $\pm$ 0,0 d  | 0,0 $\pm$ 0,0 d  | 0,1 $\pm$ 0,0 d | $P < 0,0001$ |
| 9- Orge d'hiver          | 1,6 $\pm$ 0,1 a | 1,4 $\pm$ 0,2 a | 0,6 $\pm$ 0,1 b | 0,3 $\pm$ 0,1 bc | 0,1 $\pm$ 0,0 c  | 0,2 $\pm$ 0,0 c | $P < 0,0001$ |
| 10- Kale fourrager       | 1,6 $\pm$ 0,2 a | 0,8 $\pm$ 0,1 b | 0,5 $\pm$ 0,1 c | 0,2 $\pm$ 0,1 cd | 0,0 $\pm$ 0,0 d  | 0,0 $\pm$ 0,0 d | $P < 0,0001$ |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher).

<sup>1</sup>Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

**Tableau A10.** Biomasse sèche moyenne ( $\pm$  erreur-type) en tonnes métriques par hectare des cultures de couverture à l'automne 2022, site 6.

| Traitement               | Date de semis   |                  |                  |                  |                  |                 | P             |
|--------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|
|                          | 14-sept         | 20-sept          | 27-sept          | 06-oct           | 15-oct           | 20-oct          |               |
| 2- Seigle d'automne      | 0,9 $\pm$ 0,2 a | 0,7 $\pm$ 0,1 a  | 0,6 $\pm$ 0,1 a  | 0,2 $\pm$ 0,0 b  | 0,1 $\pm$ 0,0 b  | 0,1 $\pm$ 0,0 b | $P < 0,0001$  |
| 3- Trèfle incarnat       | 0,5 $\pm$ 0,1 a | 0,2 $\pm$ 0 ab   | 0,3 $\pm$ 0,1 ab | 0,1 $\pm$ 0,0 ab | 0,1 $\pm$ 0,1 ab | 0,0 $\pm$ 0,0 b | $P = 0,01^1$  |
| 4- Blé d'hiver           | 1,0 $\pm$ 0,1 a | 0,9 $\pm$ 0,1 a  | 0,6 $\pm$ 0,1 b  | 0,4 $\pm$ 0,1 b  | 0,1 $\pm$ 0,0 c  | 0,1 $\pm$ 0,0 c | $P < 0,0001$  |
| 5- Seigle/vesce velue    | 1,3 $\pm$ 0,3 a | 0,8 $\pm$ 0,1 b  | 0,6 $\pm$ 0,1 bc | 0,3 $\pm$ 0,1 cd | 0,1 $\pm$ 0,0 d  | 0,1 $\pm$ 0,0 d | $P < 0,0001$  |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 0,9 $\pm$ 0,2 a | 0,8 $\pm$ 0,2 a  | 0,4 $\pm$ 0,0 ab | 0,2 $\pm$ 0,0 ab | 0,1 $\pm$ 0,0 ab | 0,1 $\pm$ 0,0 b | $P = 0,006^1$ |
| 7- Avoine/pois fourrager | 1,5 $\pm$ 0,4 a | 0,5 $\pm$ 0,3 ab | 0,4 $\pm$ 0,0 ab | 0,2 $\pm$ 0,0 ab | 0,1 $\pm$ 0,0 b  | 0,1 $\pm$ 0,0 b | $P = 0,03^1$  |
| 8- Avoine                | 0,9 $\pm$ 0,2 a | 0,8 $\pm$ 0,3 a  | 0,4 $\pm$ 0,0 a  | 0,2 $\pm$ 0,0 a  | 0,1 $\pm$ 0,0 a  | 0,1 $\pm$ 0,0 a | $P = 0,01^1$  |
| 9- Orge d'hiver          | 1,2 $\pm$ 0,2 a | 1,0 $\pm$ 0,2 a  | 0,6 $\pm$ 0,1 b  | 0,3 $\pm$ 0,1 c  | 0,2 $\pm$ 0,0 c  | 0,1 $\pm$ 0,0 c | $P < 0,0001$  |
| 10- Kale fourrager       | 2,2 $\pm$ 0,6 a | 0,9 $\pm$ 0,3 b  | 0,7 $\pm$ 0,2 b  | 0,4 $\pm$ 0,1 bc | 0,1 $\pm$ 0,0 c  | 0,1 $\pm$ 0,1 c | $P < 0,0001$  |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher)

<sup>1</sup>Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

## ANNEXE 7 : Pourcentage de couverture du sol lors de l'évaluation du printemps

**Tableau A11.** Pourcentage moyen de couverture du sol ( $\pm$  erreur-type) par les résidus et la repousse des cultures de couverture au printemps 2022, site 3.

| Traitement               | Date de semis     |                   |                   |                  |                  |                  | P                      |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|
|                          | 10-sept           | 21-sept           | 28-sept           | 05-oct           | 14-oct           | 23-oct           |                        |
| 2- Seigle d'automne      | 63,8 $\pm$ 9,9 a  | 64,2 $\pm$ 3,4 a  | 46,8 $\pm$ 8,0 ab | 31,3 $\pm$ 3,8 b | 9,0 $\pm$ 1,6 c  | 5,8 $\pm$ 1,1 c  | P < 0,0001             |
| 3- Trèfle incarnat       | NA                | NA                | 3,8 $\pm$ 2,1     | 2,0 $\pm$ 0,6    | 2,0 $\pm$ 0,6    | 2,3 $\pm$ 1,2    | P = 0,83               |
| 4- Blé d'hiver           | 57,3 $\pm$ 9,9 a  | 47,6 $\pm$ 1,3 a  | 63,3 $\pm$ 6,5 a  | 47,1 $\pm$ 9,4 a | 9,8 $\pm$ 1,2 b  | 6,7 $\pm$ 1,3 b  | P < 0,0001             |
| 5- Seigle/vesce velue    | 67,8 $\pm$ 14,4 a | 61,8 $\pm$ 15,9 a | 51,1 $\pm$ 5,5 ab | 28,5 $\pm$ 2,9 b | 5,7 $\pm$ 1,1 c  | 6,9 $\pm$ 0,8 c  | P = 0,0001             |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 28,7 $\pm$ 3,7 a  | 20,7 $\pm$ 5,5 a  | 12,3 $\pm$ 2,6 b  | 2,8 $\pm$ 1,2 c  | 2,0 $\pm$ 1,0 c  | 2,4 $\pm$ 1,5 c  | P = 0,0001             |
| 7- Avoine/pois fourrager | 29,7 $\pm$ 0,4 a  | 16,8 $\pm$ 5,8 ab | 16,0 $\pm$ 0,6 ab | 5,4 $\pm$ 1,8 ab | 2,7 $\pm$ 0,3 ab | 0,7 $\pm$ 0,4 b  | P = 0,008 <sup>1</sup> |
| 8- Avoine                | 29,1 $\pm$ 3,7 a  | 23,1 $\pm$ 1,7 a  | 15,7 $\pm$ 3,4 b  | 5,0 $\pm$ 0,6 c  | 2,3 $\pm$ 0,9 c  | 2,0 $\pm$ 0,6 c  | P < 0,0001             |
| 9- Orge d'hiver          | 39,5 $\pm$ 5,5 ab | 45,4 $\pm$ 2,9 a  | 41,8 $\pm$ 2,6 ab | 32,4 $\pm$ 1,0 b | 10,0 $\pm$ 2,3 c | 10,5 $\pm$ 4,3 c | P < 0,0001             |
| 10- Kale fourrager       | 5,4 $\pm$ 1,4 a   | 4,0 $\pm$ 0,6 a   | 1,7 $\pm$ 0,7 a   | 1,0 $\pm$ 0,0 a  | 1,3 $\pm$ 0,3 a  | 0,7 $\pm$ 0,7 a  | P = 0,03 <sup>1</sup>  |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher)

<sup>1</sup> Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

**Tableau A12.** Pourcentage moyen de couverture du sol ( $\pm$  erreur-type) par les résidus et la repousse des cultures de couverture au printemps 2022, site 4.

| Traitement               | Date de semis     |                   |                   |                   |                   |                 | P                      |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------------|
|                          | 10-sept           | 21-sept           | 28-sept           | 05-oct            | 14-oct            | 23-oct          |                        |
| 2- Seigle d'automne      | 47,9 $\pm$ 3,4 a  | 36,0 $\pm$ 5,9 b  | 36,3 $\pm$ 3,2 b  | 21,9 $\pm$ 2,8 c  | 7,8 $\pm$ 1,3 d   | 1,4 $\pm$ 0,9 d | P < 0,0001             |
| 3- Trèfle incarnat       | NA                | NA                | 2,0 $\pm$ 0,0 ab  | 0,4 $\pm$ 0,3 ab  | 0,0 $\pm$ 0,0 b   | 0,0 $\pm$ 0,0 b | P = 0,008 <sup>1</sup> |
| 4- Blé d'hiver           | 39,3 $\pm$ 3,6 ab | 44,8 $\pm$ 6,4 a  | 36,6 $\pm$ 2,0 ab | 28,7 $\pm$ 4,5 bc | 17,0 $\pm$ 1,3 c  | 2,2 $\pm$ 1,1 d | P < 0,0001             |
| 5- Seigle/vesce velue    | 40,2 $\pm$ 3,9 a  | 28,4 $\pm$ 2,9 b  | 25,9 $\pm$ 1,3 b  | 22,1 $\pm$ 1,3 b  | 6,8 $\pm$ 2,2 c   | 1,1 $\pm$ 0,6 c | P < 0,0001             |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 28,4 $\pm$ 2,3 a  | 27,1 $\pm$ 4,7 a  | 16,8 $\pm$ 3,6 b  | 7,2 $\pm$ 1,6 c   | 2,4 $\pm$ 1,4 c   | 0,7 $\pm$ 0,3 c | P < 0,0001             |
| 7- Avoine/pois fourrager | 29,7 $\pm$ 1,5 a  | 22,7 $\pm$ 3,5 a  | 17,1 $\pm$ 1,2 ab | 4,1 $\pm$ 2,1 ab  | 2,7 $\pm$ 0,3 ab  | 0,0 $\pm$ 0,0 b | P = 0,007 <sup>1</sup> |
| 8- Avoine                | 34,4 $\pm$ 0,9 a  | 27,4 $\pm$ 2,1 ab | 21,4 $\pm$ 2,8 b  | 13,5 $\pm$ 3,3 c  | 4,1 $\pm$ 1,2 d   | 0,3 $\pm$ 0,3 d | P < 0,0001             |
| 9- Orge d'hiver          | 44,9 $\pm$ 1,5 a  | 39,8 $\pm$ 7,4 a  | 36,8 $\pm$ 4,3 a  | 20,3 $\pm$ 5,1 b  | 15,5 $\pm$ 1,4 bc | 4,6 $\pm$ 2,5 c | P < 0,0001             |
| 10- Kale fourrager       | 21,8 $\pm$ 0,9 a  | 12,0 $\pm$ 6,0 a  | 5,7 $\pm$ 1,4 a   | 0,3 $\pm$ 0,3 a   | 0,3 $\pm$ 0,3 a   | 0,0 $\pm$ 0,0 a | P = 0,01 <sup>1</sup>  |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher)

<sup>1</sup> Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

**Tableau A13.** Pourcentage moyen de couverture du sol ( $\pm$  erreur-type) par les résidus et la repousse des cultures de couverture au printemps 2023, site 5.

| Traitement               | Date de semis    |                   |                  |                  |                  |                  | P                     |
|--------------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------|
|                          | 10-sept          | 21-sept           | 28-sept          | 05-oct           | 14-oct           | 23-oct           |                       |
| 2- Seigle d'automne      | 20,0 $\pm$ 2,1   | 21,7 $\pm$ 5,2    | 23,3 $\pm$ 1,8   | 22,3 $\pm$ 4,6   | 12,3 $\pm$ 1,5   | 11,3 $\pm$ 2,6   | P = 0,08              |
| 3- Trèfle incarnat       | 12,7 $\pm$ 0,9 a | 12,0 $\pm$ 1,5 a  | 8,7 $\pm$ 1,2 ab | 4,7 $\pm$ 0,9 bc | 4,0 $\pm$ 2,0 c  | 3,3 $\pm$ 1,3 c  | P = 0,003             |
| 4- Blé d'hiver           | 14,3 $\pm$ 1,9   | 16,0 $\pm$ 4,0    | 17,0 $\pm$ 2,5   | 21,3 $\pm$ 3,7   | 12,3 $\pm$ 0,7   | 10,3 $\pm$ 2,3   | P = 0,06              |
| 5- Seigle/vesce velue    | 21,7 $\pm$ 1,7 a | 21,0 $\pm$ 2,0 a  | 25,0 $\pm$ 2,3 a | 22,0 $\pm$ 5,7 a | 12,7 $\pm$ 0,9 b | 11,0 $\pm$ 1,0 b | P = 0,006             |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 29,0 $\pm$ 3,0 a | 15,0 $\pm$ 0,0 ab | 9,0 $\pm$ 1,5 ab | 5,3 $\pm$ 1,5 ab | 4,3 $\pm$ 1,3 b  | 3,3 $\pm$ 0,9 b  | P = 0,01 <sup>1</sup> |
| 7- Avoine/pois fourrager | 30,0 $\pm$ 1,5 a | 15,3 $\pm$ 2,7 b  | 11,3 $\pm$ 1,5 b | 5,3 $\pm$ 0,7 c  | 3,7 $\pm$ 0,9 c  | 3,3 $\pm$ 0,9 c  | P < 0,0001            |
| 8- Avoine                | 35,7 $\pm$ 6,7 a | 22,0 $\pm$ 2,0 b  | 10,7 $\pm$ 3,0 c | 4,7 $\pm$ 1,2 c  | 3,0 $\pm$ 0,6 c  | 3,0 $\pm$ 1,0 c  | P < 0,0001            |
| 9- Orge d'hiver          | 43,7 $\pm$ 2,7 a | 37 $\pm$ 2,6 b    | 30,3 $\pm$ 1,2 c | 22,7 $\pm$ 3,8 d | 20,7 $\pm$ 1,5 d | 11,3 $\pm$ 1,8 e | P < 0,0001            |
| 10- Kale fourrager       | 9,7 $\pm$ 1,2 a  | 4,3 $\pm$ 0,7 b   | 3,3 $\pm$ 1,3 bc | 3,0 $\pm$ 1,0 bc | 0,7 $\pm$ 0,3 bc | 2,3 $\pm$ 0,3 c  | P = 0,001             |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher)

<sup>1</sup> Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

**Tableau A14.** Pourcentage moyen de couverture du sol ( $\pm$  erreur-type) par les résidus et la repousse des cultures de couverture au printemps 2023, site 6.

| Traitement               | Date de semis    |                   |                   |                   |                   |                 | P                     |
|--------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
|                          | 10-sept          | 21-sept           | 28-sept           | 05-oct            | 14-oct            | 23-oct          |                       |
| 2- Seigle d'automne      | 34,3 $\pm$ 1,5 a | 26,7 $\pm$ 1,3 a  | 33,7 $\pm$ 2,3 a  | 16 $\pm$ 4,6 b    | 9,3 $\pm$ 0,9 bc  | 4,0 $\pm$ 1,2 c | P < 0,0001            |
| 3- Trèfle incarnat       | 7,3 $\pm$ 1,8    | 6,0 $\pm$ 0,6     | 4,7 $\pm$ 1,2     | 3,0 $\pm$ 0,6     | 5,3 $\pm$ 0,7     | 3,7 $\pm$ 0,3   | P = 0,13              |
| 4- Blé d'hiver           | 30,7 $\pm$ 0,3 a | 22,7 $\pm$ 6,1 ab | 25,0 $\pm$ 2,0 ab | 20,0 $\pm$ 2,6 ab | 11,0 $\pm$ 1,2 ab | 7,0 $\pm$ 0,6 b | P = 0,01 <sup>1</sup> |
| 5- Seigle/vesce velue    | 31 $\pm$ 3,1 a   | 31,7 $\pm$ 3,4 a  | 23,7 $\pm$ 5,7 ab | 18,7 $\pm$ 2,6 bc | 9,3 $\pm$ 2,0 cd  | 4,7 $\pm$ 0,7 d | P < 0,0001            |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 22,3 $\pm$ 7,9 a | 14 $\pm$ 1,5 ab   | 5,3 $\pm$ 0,9 bc  | 3,7 $\pm$ 0,3 bc  | 4,7 $\pm$ 1,2 bc  | 7,7 $\pm$ 5,2 c | P = 0,04              |
| 7- Avoine/pois fourrager | 12,3 $\pm$ 1,5 a | 5,3 $\pm$ 1,2 b   | 5,0 $\pm$ 1,5 b   | 6,7 $\pm$ 0,9 b   | 6,0 $\pm$ 1,7 b   | 3,7 $\pm$ 0,3 b | P = 0,01              |
| 8- Avoine                | 9,0 $\pm$ 5,2    | 11,3 $\pm$ 1,7    | 8,0 $\pm$ 2,1     | 4,3 $\pm$ 0,9     | 7,0 $\pm$ 1,5     | 4,0 $\pm$ 0,0   | P = 0,21 <sup>1</sup> |
| 9- Orge d'hiver          | 35,3 $\pm$ 4,6 a | 31,7 $\pm$ 5,9 a  | 17,7 $\pm$ 2,6 b  | 4,3 $\pm$ 0,9 c   | 6,7 $\pm$ 2,3 c   | 3,7 $\pm$ 1,7 c | P < 0,0001            |
| 10- Kale fourrager       | 7,3 $\pm$ 1,2    | 5,0 $\pm$ 1,0     | 5,7 $\pm$ 1,3     | 4,7 $\pm$ 0,7     | 5,7 $\pm$ 1,8     | 3,3 $\pm$ 0,9   | P = 0,10              |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher)

<sup>1</sup> Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

## ANNEXE 8 : Densité post-levée de la culture principale au printemps

**Tableau A15.** Densité post-levée moyenne ( $\pm$  erreur-type) de l'échalote française au printemps 2022, site 3.

| Traitement               | Date de semis    |                   |                   |                   |                   |                  | P        |
|--------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------|
|                          | 10-sept          | 21-sept           | 28-sept           | 05-oct            | 14-oct            | 23-oct           |          |
| 1- Témoin sol nu         | 40,5 $\pm$ 2,5   | 46,5 $\pm$ 2,2    | 43,2 $\pm$ 4,1    | 47,3 $\pm$ 0,7    | 44,8 $\pm$ 2,8    | 45,5 $\pm$ 0,8   | P = 0,42 |
| 2- Seigle d'automne      | 45,7 $\pm$ 3,1   | 42,2 $\pm$ 4,6    | 42,5 $\pm$ 4,5    | 43,7 $\pm$ 1,5    | 43,0 $\pm$ 5,4    | 49,8 $\pm$ 2,5   | P = 0,52 |
| 3- Trèfle incarnat       | NA               | NA                | 47,2 $\pm$ 0,6    | 46,5 $\pm$ 2,8    | 44,2 $\pm$ 5,8    | 47,0 $\pm$ 3,8   | P = 0,25 |
| 4- Blé d'hiver           | 44,2 $\pm$ 1,6   | 47,2 $\pm$ 1,7    | 40,0 $\pm$ 4,3    | 47,7 $\pm$ 3,1    | 42,2 $\pm$ 3,1    | 49,2 $\pm$ 1,2   | P = 0,26 |
| 5- Seigle/vesce velue    | 36,0 $\pm$ 6,9   | 46,3 $\pm$ 0,9    | 41,8 $\pm$ 2,6    | 42,8 $\pm$ 3,2    | 41,0 $\pm$ 1,7    | 45,3 $\pm$ 1,7   | P = 0,21 |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 44,3 $\pm$ 1,5   | 45,8 $\pm$ 2,3    | 44,2 $\pm$ 1,4    | 45,5 $\pm$ 1,5    | 44,3 $\pm$ 2,2    | 47,0 $\pm$ 0,6   | P = 0,84 |
| 7- Avoine/pois fourrager | 44,5 $\pm$ 2,6 c | 44,3 $\pm$ 0,9 bc | 47,7 $\pm$ 1,4 bc | 47,8 $\pm$ 2,0 ab | 43,0 $\pm$ 2,0 ab | 50,5 $\pm$ 0,3 a | P = 0,03 |
| 8- Avoine                | 36,3 $\pm$ 8,7   | 42,0 $\pm$ 4,4    | 47,3 $\pm$ 2,7    | 48,8 $\pm$ 4,4    | 43,7 $\pm$ 2,4    | 45,3 $\pm$ 3,3   | P = 0,50 |
| 9- Orge d'hiver          | 44,7 $\pm$ 1,0   | 47,2 $\pm$ 3,7    | 45,7 $\pm$ 4,8    | 48,3 $\pm$ 2,8    | 47,5 $\pm$ 1,0    | 47,3 $\pm$ 1,7   | P = 0,92 |
| 10- Kale fourrager       | 46,8 $\pm$ 1,9   | 48,5 $\pm$ 2,0    | 46,2 $\pm$ 1,5    | 49,0 $\pm$ 3,2    | 45,5 $\pm$ 2,3    | 48,7 $\pm$ 0,2   | P = 0,67 |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher)

**Tableau A16.** Densité post-levée moyenne ( $\pm$  erreur-type) de l'oignon sec au printemps 2022, site 4.

| Traitement               | Date de semis    |                  |                   |                   |                   |                   | P                      |
|--------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
|                          | 10-sept          | 21-sept          | 28-sept           | 05-oct            | 14-oct            | 23-oct            |                        |
| 1- Témoin sol nu         | 21,7 $\pm$ 0,6   | 20,3 $\pm$ 0,7   | 22,5 $\pm$ 0,6    | 22,3 $\pm$ 1,3    | 23,7 $\pm$ 2      | 23,3 $\pm$ 0,8    | P = 0,43               |
| 2- Seigle d'automne      | 19,2 $\pm$ 1,9   | 21,2 $\pm$ 0,9   | 24,7 $\pm$ 0,6    | 18,7 $\pm$ 1,8    | 23,0 $\pm$ 1,4    | 22,3 $\pm$ 0,7    | P = 0,05               |
| 3- Trèfle incarnat       | NA               | NA               | 21,3 $\pm$ 0,6    | 20,2 $\pm$ 1,6    | 22,7 $\pm$ 0,7    | 21,8 $\pm$ 0,4    | P = 0,75               |
| 4- Blé d'hiver           | 22,0 $\pm$ 0,0   | 21,7 $\pm$ 0,9   | 21,0 $\pm$ 1,5    | 23,3 $\pm$ 1,0    | 23,5 $\pm$ 0,5    | 21,0 $\pm$ 0,5    | P = 0,24               |
| 5- Seigle/vesce velue    | 22,5 $\pm$ 0,8   | 21,7 $\pm$ 0,8   | 20,2 $\pm$ 1,4    | 22,2 $\pm$ 0,6    | 22,8 $\pm$ 0,2    | 19,5 $\pm$ 0,5    | P = 0,06               |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 21,5 $\pm$ 0,5 b | 21,0 $\pm$ 0,0 b | 21,7 $\pm$ 1,0 ab | 23,2 $\pm$ 0,9 ab | 22,0 $\pm$ 1,3 ab | 22,8 $\pm$ 1,2 a  | P = 0,008 <sup>1</sup> |
| 7- Avoine/pois fourrager | 20,8 $\pm$ 1,5   | 21,7 $\pm$ 1,2   | 23,2 $\pm$ 0,3    | 22,0 $\pm$ 0,3    | 22,7 $\pm$ 0,6    | 20,3 $\pm$ 1,2    | P = 0,43               |
| 8- Avoine                | 19,3 $\pm$ 3,0   | 21,2 $\pm$ 0,9   | 23,7 $\pm$ 0,2    | 18,5 $\pm$ 1,8    | 20,2 $\pm$ 2,3    | 23,0 $\pm$ 1,2    | P = 0,43               |
| 9- Orge d'hiver          | 24,2 $\pm$ 0,7 a | 17,8 $\pm$ 0,3 c | 24,0 $\pm$ 0,9 a  | 22,0 $\pm$ 0,5 b  | 23,0 $\pm$ 1,0 ab | 22,8 $\pm$ 1,0 ab | P < 0,0001             |
| 10- Kale fourrager       | 18,8 $\pm$ 0,7   | 21,8 $\pm$ 0,7   | 22,8 $\pm$ 0,4    | 22,7 $\pm$ 1,2    | 21,7 $\pm$ 2,5    | 21,5 $\pm$ 0,5    | P = 0,30               |

Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=0,05$ , test LSD de Fisher)

<sup>1</sup> Test de comparaisons multiples Dunn Test ( $\alpha=0,05$ ).

## ANNEXE 9 : Profondeur de la couche compacte au printemps

**Tableau A17.** Profondeur moyenne de la couche compacte ( $\pm$  erreur-type) en cm avant la destruction des cultures de couverture au printemps 2022, site 3.

| Traitement               | Date de semis   |                |                |                |                 |                | P         |
|--------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------|
|                          | 10-sept         | 21-sept        | 28-sept        | 05-oct         | 14-oct          | 23-oct         |           |
| 1- Témoin sol nu         | 21,6 $\pm$ 6,4  | 15,2 $\pm$ 2,9 | 23,7 $\pm$ 9,5 | 16,9 $\pm$ 3,7 | 27,9 $\pm$ 10,3 | 16,1 $\pm$ 4,7 | P = 0,160 |
| 2- Seigle d'automne      | 17,8 $\pm$ 2,5  | 18,6 $\pm$ 1,7 | 17,8 $\pm$ 1,5 | 13,5 $\pm$ 2,2 | 14,0 $\pm$ 1,3  | 16,1 $\pm$ 3,7 |           |
| 3- Trèfle incarnat       | 19,5 $\pm$ 10,6 | 24,6 $\pm$ 2,2 | 18,6 $\pm$ 2,2 | 16,1 $\pm$ 5,2 | 18,6 $\pm$ 4,7  | 21,2 $\pm$ 7,5 |           |
| 4- Blé d'hiver           | 16,5 $\pm$ 6,4  | 29,6 $\pm$ 8,8 | 21,6 $\pm$ 6,4 | 19,5 $\pm$ 0,8 | 21,2 $\pm$ 4,2  | 17,8 $\pm$ 3,9 |           |
| 5- Seigle/vesce velue    | 20,3 $\pm$ 5,3  | 19,5 $\pm$ 4,5 | 17,8 $\pm$ 5,1 | 23,7 $\pm$ 2,2 | 22,0 $\pm$ 2,2  | 26,2 $\pm$ 9,5 |           |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 26,2 $\pm$ 4,2  | 12,7 $\pm$ 5,3 | 23,7 $\pm$ 5,9 | 19,5 $\pm$ 5,2 | 17,8 $\pm$ 5,1  | 19,5 $\pm$ 2,2 |           |
| 7- Avoine/pois fourrager | 16,9 $\pm$ 3,4  | 19,5 $\pm$ 5,9 | 27,9 $\pm$ 0,0 | 15,2 $\pm$ 1,5 | 18,6 $\pm$ 7,2  | 16,9 $\pm$ 3,1 |           |
| 8- Avoine                | 16,1 $\pm$ 3,1  | 14,4 $\pm$ 3,4 | 25,4 $\pm$ 1,5 | 12,7 $\pm$ 2,5 | 16,9 $\pm$ 1,7  | 16,1 $\pm$ 2,2 |           |
| 9- Orge d'hiver          | 22,9 $\pm$ 2,9  | 23,7 $\pm$ 7,4 | 21,2 $\pm$ 3,1 | 27,9 $\pm$ 3,9 | 25,4 $\pm$ 9,2  | 22,9 $\pm$ 9,2 |           |
| 10- Kale fourrager       | 20,3 $\pm$ 5,9  | 14,4 $\pm$ 4,5 | 27,1 $\pm$ 6,9 | 18,6 $\pm$ 6,1 | 22,0 $\pm$ 7,2  | 13,5 $\pm$ 2,2 |           |
| <b>P</b>                 | P = 0,441       |                |                |                |                 |                |           |

**Tableau A18.** Profondeur moyenne de la couche compacte ( $\pm$  erreur-type) en cm avant la destruction des cultures de couverture au printemps 2022, site 4.

| Traitement               | Date de semis  |                |                |                 |                |                | P         |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------|
|                          | 10-sept        | 21-sept        | 28-sept        | 05-oct          | 14-oct         | 23-oct         |           |
| 1- Témoin sol nu         | 20,3 $\pm$ 0,0 | 38,9 $\pm$ 2,2 | 29,6 $\pm$ 4,5 | 31,3 $\pm$ 2,2  | 32,2 $\pm$ 8,6 | 29,6 $\pm$ 3,7 | P = 0,554 |
| 2- Seigle d'automne      | 38,1 $\pm$ 2,5 | 25,4 $\pm$ 3,9 | 30,5 $\pm$ 5,3 | 34,3 $\pm$ 8,9  | 27,1 $\pm$ 8,1 | 34,7 $\pm$ 5,9 |           |
| 3- Trèfle incarnat       | 22,9 $\pm$ 2,5 | 45,7 $\pm$ 0,0 | 25,4 $\pm$ 2,5 | 29,6 $\pm$ 6,8  | 29,6 $\pm$ 4,5 | 39,8 $\pm$ 3,1 |           |
| 4- Blé d'hiver           | 29,6 $\pm$ 4,2 | 34,7 $\pm$ 3,1 | 33,0 $\pm$ 3,9 | 30,5 $\pm$ 5,9  | 26,2 $\pm$ 5,2 | 27,1 $\pm$ 2,2 |           |
| 5- Seigle/vesce velue    | 29,6 $\pm$ 3,7 | 43,2 $\pm$ 0,0 | 31,3 $\pm$ 4,7 | 36,4 $\pm$ 4,5  | 31,8 $\pm$ 6,4 | 29,2 $\pm$ 8,9 |           |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 26,2 $\pm$ 2,2 | 31,3 $\pm$ 2,2 | 28,8 $\pm$ 4,7 | 34,3 $\pm$ 11,4 | 29,6 $\pm$ 5,2 | 27,1 $\pm$ 1,7 |           |
| 7- Avoine/pois fourrager | 31,3 $\pm$ 5,2 | 28,8 $\pm$ 4,7 | 33,0 $\pm$ 1,5 | 30,5 $\pm$ 2,9  | 29,2 $\pm$ 6,4 | 31,8 $\pm$ 6,4 |           |
| 8- Avoine                | 27,9 $\pm$ 2,9 | 33,0 $\pm$ 5,1 | 30,5 $\pm$ 3,9 | 31,8 $\pm$ 8,9  | 28,8 $\pm$ 3,1 | 22,9 $\pm$ 6,4 |           |
| 9- Orge d'hiver          | 26,2 $\pm$ 5,2 | 28,8 $\pm$ 2,2 | 31,3 $\pm$ 2,2 | 28,8 $\pm$ 3,7  | 24,6 $\pm$ 2,2 | 28,8 $\pm$ 3,1 |           |
| 10- Kale fourrager       | 30,5 $\pm$ 6,7 | 38,9 $\pm$ 3,7 | 34,7 $\pm$ 4,2 | 34,7 $\pm$ 2,2  | 32,2 $\pm$ 5,6 | 31,3 $\pm$ 5,9 |           |
| <b>P</b>                 | P = 0,056      |                |                |                 |                |                |           |

**Tableau A19.** Profondeur moyenne de la couche compacte ( $\pm$  erreur-type) en cm avant la destruction des cultures de couverture au printemps 2023, site 5.

| Traitement               | Date de semis  |                |                |                |                |                | P         |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
|                          | 10-sept        | 21-sept        | 28-sept        | 05-oct         | 14-oct         | 23-oct         |           |
| 1- Témoin sol nu         | 21,2 $\pm$ 9,0 | 24,1 $\pm$ 8,9 | 22,0 $\pm$ 4,2 | 23,7 $\pm$ 5,2 | 14,4 $\pm$ 5,6 | 24,6 $\pm$ 4,7 | P = 0,225 |
| 2- Seigle d'automne      | 15,2 $\pm$ 2,5 | 23,7 $\pm$ 6,1 | 20,3 $\pm$ 5,1 | 16,1 $\pm$ 5,2 | 22,0 $\pm$ 8,1 | 32,2 $\pm$ 5,2 |           |
| 3- Trèfle incarnat       | 37,3 $\pm$ 4,5 | 27,1 $\pm$ 5,9 | 24,1 $\pm$ 6,4 | 20,3 $\pm$ 5,3 | 20,3 $\pm$ 2,9 | 24,6 $\pm$ 3,7 |           |
| 4- Blé d'hiver           | 20,3 $\pm$ 2,9 | 28,8 $\pm$ 1,7 | 16,9 $\pm$ 3,7 | 30,5 $\pm$ 7,6 | 17,8 $\pm$ 2,5 | 22,9 $\pm$ 7,6 |           |
| 5- Seigle/vesce velue    | 15,2 $\pm$ 5,1 | 25,4 $\pm$ 7,6 | 14,4 $\pm$ 2,2 | 13,5 $\pm$ 6,1 | 14,4 $\pm$ 2,2 | 20,3 $\pm$ 5,3 |           |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 22,9 $\pm$ 2,5 | 28,8 $\pm$ 1,7 | 24,6 $\pm$ 3,7 | 24,6 $\pm$ 4,7 | 32,2 $\pm$ 6,9 | 20,3 $\pm$ 3,9 |           |
| 7- Avoine/pois fourrager | 16,5 $\pm$ 3,8 | 18,6 $\pm$ 5,9 | 29,2 $\pm$ 3,8 | 20,3 $\pm$ 2,5 | 22,9 $\pm$ 9,2 | 25,4 $\pm$ 3,9 |           |
| 8- Avoine                | 20,3 $\pm$ 5,1 | 18,6 $\pm$ 3,7 | 25,4 $\pm$ 8,9 | 20,3 $\pm$ 7,6 | 25,4 $\pm$ 6,7 | 20,3 $\pm$ 3,9 |           |
| 9- Orge d'hiver          | 11,0 $\pm$ 0,8 | 19,1 $\pm$ 8,9 | 20,3 $\pm$ 5,1 | 26,7 $\pm$ 3,8 | 22,9 $\pm$ 0,0 | 20,3 $\pm$ 5,3 |           |
| 10- Kale fourrager       | 30,5 $\pm$ 0,0 | 18,6 $\pm$ 5,2 | 27,9 $\pm$ 0,0 | 22,0 $\pm$ 8,3 | 24,6 $\pm$ 6,1 | 27,9 $\pm$ 1,5 |           |
| <b>P</b>                 | P = 0,717      |                |                |                |                |                |           |

**Tableau A20.** Profondeur moyenne de la couche compacte ( $\pm$  erreur-type) en cm avant la destruction des cultures de couverture au printemps 2023, site 6.

| Traitement               | Date de semis  |                |                |                |                |                | P         |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
|                          | 10-sept        | 21-sept        | 28-sept        | 05-oct         | 14-oct         | 23-oct         |           |
| 1- Témoin sol nu         | 12,7 $\pm$ 0,0 | 11,0 $\pm$ 0,8 | 11,9 $\pm$ 0,8 | 14,4 $\pm$ 1,7 | 11,9 $\pm$ 2,2 | 15,2 $\pm$ 4,4 | P = 0,529 |
| 2- Seigle d'automne      | 13,5 $\pm$ 1,7 | 11,9 $\pm$ 1,7 | 15,2 $\pm$ 2,5 | 11,9 $\pm$ 0,8 | 12,7 $\pm$ 2,9 | 11,0 $\pm$ 3,1 |           |
| 3- Trèfle incarnat       | 16,9 $\pm$ 3,7 | 11,0 $\pm$ 1,7 | 9,3 $\pm$ 2,2  | 14,4 $\pm$ 0,8 | 11,9 $\pm$ 3,7 | 12,7 $\pm$ 1,5 |           |
| 4- Blé d'hiver           | 11,0 $\pm$ 0,8 | 14,4 $\pm$ 0,8 | 13,5 $\pm$ 2,2 | 13,5 $\pm$ 2,2 | 11,0 $\pm$ 0,8 | 13,5 $\pm$ 0,8 |           |
| 5- Seigle/vesce velue    | 17,8 $\pm$ 3,9 | 11,9 $\pm$ 1,7 | 15,2 $\pm$ 0,0 | 14,4 $\pm$ 3,7 | 13,5 $\pm$ 3,7 | 13,5 $\pm$ 1,7 |           |
| 6- Avoine/pois d'hiver   | 11,9 $\pm$ 2,2 | 10,2 $\pm$ 1,5 | 20,3 $\pm$ 3,9 | 13,5 $\pm$ 1,7 | 11,9 $\pm$ 1,7 | 13,5 $\pm$ 1,7 |           |
| 7- Avoine/pois fourrager | 16,1 $\pm$ 5,2 | 13,5 $\pm$ 2,2 | 14,4 $\pm$ 3,1 | 12,7 $\pm$ 1,5 | 11,9 $\pm$ 0,8 | 19,5 $\pm$ 1,7 |           |
| 8- Avoine                | 15,2 $\pm$ 1,5 | 11,9 $\pm$ 0,8 | 11,9 $\pm$ 0,8 | 13,5 $\pm$ 2,2 | 12,7 $\pm$ 1,5 | 12,7 $\pm$ 1,5 |           |
| 9- Orge d'hiver          | 9,3 $\pm$ 1,7  | 10,2 $\pm$ 2,5 | 15,2 $\pm$ 2,5 | 12,7 $\pm$ 0,0 | 12,7 $\pm$ 1,5 | 12,7 $\pm$ 0,0 |           |
| 10- Kale fourrager       | 13,5 $\pm$ 0,8 | 11,9 $\pm$ 0,8 | 11,9 $\pm$ 3,4 | 15,2 $\pm$ 2,5 | 11,9 $\pm$ 0,8 | 13,5 $\pm$ 1,7 |           |
| <b>P</b>                 | P = 0,083      |                |                |                |                |                |           |