



Rapport final

Déterminer le délai sécuritaire entre l'épandage printanier de fertilisants organiques et la récolte du blé d'automne biologique

Projet IRDA 400279

Projet MAPAQ IA121686

Date : 20 décembre 2024

Responsable scientifique : Caroline Côté, agr., Ph. D.,

Ce rapport a été produit à l'attention du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)



À l'IRDA, on **collabore**, on se **questionne**, on **explore** et on **progressé** ensemble dans la même direction : celle d'une agriculture saine, dynamique et performante.

Nous sommes des **scientifiques**, mais aussi des **gens de terrain** qui **collaborent** avec l'ensemble du milieu agricole.

Notre mission consiste à innover en agroenvironnement pour créer ensemble la production agricole de demain. Consulter le www.irda.qc.ca pour en connaître davantage sur l'Institut et ses activités.

Questions ou commentaires

Caroline Côté, agr., Ph.D.

Chercheuse en hygiène de l'environnement agricole

Directrice aux partenariats et à l'innovation

Responsable scientifique du projet

T : 450 653-7368 p. 310

caroline.cote@irda.qc.ca

Auteurs du rapport

IRDA

- Mylène Généreux, agr., M.Sc.
- Caroline Côté, agr., Ph. D.
- Mick Wu, Ph.D.

Équipe de réalisation

IRDA

- Jérôme Cormier
- Éric Ducharme
- Rémi Ducharme
- Ariane Duval
- Annie Fortin
- Gaétan Guérin
- Élodie Larouche
- Éliane Latour
- Mario Maurice
- Eddy Michaud
- Sandra Mougeot
- Justin Ouellette

Collaborateurs

MAPAQ

- Jonathan Roy, agr.
- Véronique Samson, agr.

Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec

- Jérôme-Antoine Brunelle, agr.
- Vincent Gauthier
- Olivier Milot
- Laurianne Soucy, agr.
- Annie Tessier, agr.

Merci à nos partenaires financiers

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée dans le cadre du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada. L'équipe de recherche tient également à remercier l'implication du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec dans la réalisation et le financement de ce projet.

PARTENARIAT
CANADIEN pour
l'AGRICULTURE

Canada Québec

PROGRAMME
**INNOV'
ACTION**
AGROALIMENTAIRE



SPGBQ
SYNDICAT DES PRODUCTEURS
DE GRAINS BIOLOGIQUES DU QUÉBEC

Ce rapport peut être cité comme suit :

Généreux, M., M. Wu et C. Côté. 2024. Déterminer le délai sécuritaire entre l'épandage printanier de fertilisants organiques et la récolte du blé d'automne biologique. Rapport final. IRDA et partenaires. 47 pages et annexes.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	3
2	Objectifs	3
3	Méthodologie	3
3.1	Dispositif expérimental	3
3.2	Opérations au champ	4
3.3	Échantillonnages et variables mesurées	5
3.3.1	Calendrier des échantillonnages	5
3.3.2	Méthodes d'échantillonnage.....	5
3.3.3	Paramètres mesurés.....	6
3.4	Analyses statistiques	9
3.4.1	Taux de décroissance.....	9
3.4.2	Nombre de jours requis pour atteindre un seuil donné.....	10
4	Résultats et discussion	11
4.1	Type et dose de fumiers et lisiers.....	11
4.2	Date d'épandage et délai avant la récolte.....	13
4.3	Populations d' <i>E. coli</i> et de <i>Salmonella</i> spp. dans les engrais organiques	13
4.4	Persistance d' <i>E. coli</i> et de <i>Salmonella</i> spp. dans le sol.....	16
4.4.1	St-Lambert-de-Lauzon	16
4.4.2	St-Bruno-de-Montarville	18
4.4.3	Discussion.....	21
4.5	Présence d' <i>E. coli</i> et de <i>Salmonella</i> spp. sur la paille.....	21
4.6	Présence d' <i>E. coli</i> et de <i>Salmonella</i> spp. sur le grain	23
4.7	Rendements en grains et biomasse végétale.....	25
4.7.1	St-Lambert-de-Lauzon	25
4.7.2	St-Bruno-de-Montarville	26
4.7.3	Discussion.....	29
5	Conclusions	30

Annexe 1. Photos prises aux sites expérimentaux.

Annexe 2. Teneur en eau volumique du sol et précipitations selon le site et l'année.

Annexe 3. Température du sol selon le site et l'année.

Annexe 4. Températures minimales, moyennes et maximales de l'air selon le site et l'année.

Liste des tableaux

Tableau 1. Calendrier des principales activités au champ selon le site expérimental.....	4
Tableau 2. Délais entre l'épandage et la récolte évalués en 2023 et 2024 selon le site expérimental.	5
Tableau 3. Nombre de jours post-épandage avec prise d'échantillons selon le site expérimental.....	5
Tableau 4. Apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site de St-Lambert-de-Lauzon en 2023 selon l'engrais organique.	11
Tableau 5. Apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site de St-Lambert-de-Lauzon en 2024 selon l'engrais organique.	11
Tableau 6. Apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville en 2023 selon l'engrais organique.....	12
Tableau 7. Apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville en 2024 selon l'engrais organique.....	12
Tableau 8. Apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville en 2023 selon l'engrais organique.....	12
Tableau 9. Apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville en 2024 selon l'engrais organique.....	12
Tableau 10. Statistiques descriptives des concentrations en <i>E. coli</i> mesurées dans les engrais organiques, tous sites et années confondus.	13
Tableau 11. Contenu initial en <i>E. coli</i> des engrais organiques et charge bactérienne appliquée au sol lors des épandages au site de St-Lambert-de-Lauzon selon l'année de production.	13
Tableau 12. Contenu initial en <i>E. coli</i> et charge appliquée au sol lors des épandages au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon l'engrais organique et l'année de production.	13
Tableau 13. Contenu initial en <i>E. coli</i> et charge appliquée au sol lors des épandages au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon l'engrais organique et l'année de production.	14
Tableau 14. Engrais organiques où la présence de salmonelles a été détectée lors de l'épandage selon le site et l'année de production.	14
Tableau 15. Taux de matières sèches des engrais organiques selon le site.	15
Tableau 16. Niveaux d' <i>E. coli</i> et de salmonelles acceptés dans les denrées sèches selon les normes du MAPAQ.	16
Tableau 17. Nombre de jours requis pour atteindre 100 UFC/g d' <i>E. coli</i> dans le sol au site de St-Lambert.	17
Tableau 18. Sérotypes de salmonelles détectés dans le sol à St-Lambert-de-Lauzon en 2024 selon l'engrais organique et le moment d'échantillonnage.	17
Tableau 19. Nombre de jours requis pour atteindre 100 UFC/g d' <i>E. coli</i> dans le sol au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville.	19
Tableau 20. Nombre de jours requis pour atteindre 100 UFC/g d' <i>E. coli</i> dans le sol au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville.	20
Tableau 21. Description des échantillons où des populations d' <i>E. coli</i> ont été dénombrées dans la paille à la récolte à St-Lambert-de-Lauzon selon l'année de production.	21
Tableau 22. Description des échantillons où des populations d' <i>E. coli</i> ont été dénombrées dans la paille à la récolte au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.	22
Tableau 23. Description des échantillons où des populations d' <i>E. coli</i> ont été dénombrées dans la paille à la récolte au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.	22
Tableau 24. Description des échantillons où des populations d' <i>E. coli</i> ont été dénombrées dans les grains à la récolte selon le site en 2023.	23

Liste des figures

Figure 1. Schéma du dispositif expérimental.....	4
Figure 2. Décroissance d' <i>E. coli</i> dans le sol au site de St-Lambert selon le type d'engrais organique.....	17
Figure 3. Décroissance d' <i>E. coli</i> dans le sol au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon le type d'engrais organique.	19
Figure 4. Décroissance d' <i>E. coli</i> dans le sol au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon le type d'engrais organique.	20
Figure 5. Rendements en grains de blé rapportés à 15 % d'humidité au site de St-Lambert-de-Lauzon selon le fertilisant organique et l'année de production. Les barres d'erreur représentent l'écart-type.	25
Figure 6. Biomasse végétale de paille rapportée en base sèche au site de St-Lambert-de-Lauzon selon l'année de production.	26
Figure 7. Rendements en grains de blé rapportés à 15 % d'humidité au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.	27
Figure 8. Biomasse végétale de paille rapportée en base sèche au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.	27
Figure 9. Rendements en grains de blé rapportés à 15 % d'humidité au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.	28
Figure 10. Biomasse végétale de paille rapportée en base sèche au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.	29

1 INTRODUCTION

Les céréales d'automne présentent plusieurs avantages agronomiques, environnementaux et économiques. En régie biologique, un délai minimal de 90 jours entre l'épandage et la récolte des cultures destinées à la consommation humaine est exigé selon la Norme biologique du Canada¹. Toutefois, ce délai peut difficilement être respecté en raison des conditions printanières peu favorables à l'épandage et de la récolte hâtive. Ce projet vise à préciser le délai sécuritaire à laisser entre l'épandage printanier et la récolte du blé d'automne biologique au plan de la salubrité. La culture, le climat, ainsi que le type, la température et l'humidité du sol influencent la persistance des microorganismes dans le sol. Il est donc nécessaire d'obtenir des données locales pour préciser si le délai actuel est adapté pour le Québec. Ceci permettra de réduire et contrôler les agents pathogènes d'origine animale ayant un impact sur la salubrité des aliments et la santé publique. Il favorisera indirectement la santé et la conservation des sols ainsi que la gestion des éléments nutritifs.

2 OBJECTIFS

L'objectif général du projet était de déterminer le délai sécuritaire entre l'épandage printanier de fertilisants organiques et la récolte du blé d'automne biologique au Québec.

Les objectifs spécifiques étaient de :

1. Déterminer le taux de décroissance d'*E. coli* et *Salmonella* spp. dans le sol suite à l'épandage printanier.
2. Mesurer la qualité microbiologique de la paille et du grain en conditions expérimentales.

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le projet s'est déroulé dans deux sites de l'IRDA de septembre 2022 à octobre 2024, soit à la ferme expérimentale de St-Lambert-de-Lauzon et à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de St-Bruno-de-Montarville. À St-Lambert-de-Lauzon, un site a été mis en place par année, sur un sol de type loam argileux (série LeBras), sur un précédent cultural de prairie, soit un mélange de fléole des prés (55 %) et de trèfles rouge et blanc (45 %) implanté deux ans auparavant. À St-Bruno-de-Montarville, deux types de sol ont été mis à l'étude, soit une argile lourde (série St-Urbain) et un loam sableux d'origine anthropique. Les sites étaient préalablement cultivés en prairie de fléole et trèfle rouge depuis quatre ans, avec une prédominance du trèfle lors de la destruction du couvert végétal.

Cinq traitements ont été évalués, soit quatre fertilisants organiques et un témoin sans fertilisation. Les types d'engrais organiques étaient les suivants :

- lisier de porcs à l'engraissement
- lisier de bovins laitiers en stabulation libre
- fumier de poules pondeuses sans ripe
- fumier de poulet à griller avec ripe

Les cinq traitements ont été répétés quatre fois au champ en un dispositif en blocs complets aléatoires, pour un total de 20 parcelles expérimentales par champ. Ainsi, 60 parcelles étaient à l'étude chaque année. La Figure 1 présente le schéma de la disposition des parcelles. Chaque parcelle avait une largeur de 3 m et une longueur de 15 m. Une bande tampon de 3 m de large, aussi cultivée en blé, a été mise en place entre chacune des parcelles de façon à éviter toute contamination croisée lors des épandages et à la suite de ceux-ci.

¹ Gouvernement du Canada, 2020. Systèmes de production biologique- Principes généraux et normes de gestion.
<https://www.publications.gc.ca/site/fra/9.894378/publication.html>

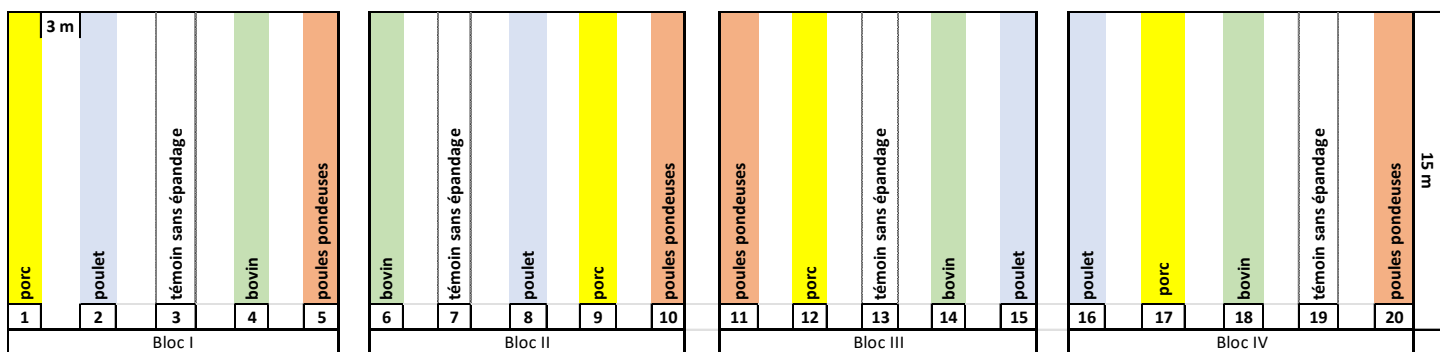


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental.

3.2 OPÉRATIONS AU CHAMP

Aux automnes 2022 et 2023, les semis de blé d'automne ont été réalisés à chaque site expérimental. La variété Warthog (Semican) a été utilisée au taux de semis de 200 kg/ha.

Les épandages d'engrais organiques ont été réalisés au début du stade épiaison du blé. Les fumiers solides ont été appliqués manuellement et les lisiers liquides ont été épandus à l'aide d'un épandeur à rampe de 2,5 m³ fabriqué à l'IRDA avec deux assiettes permettant une application uniforme sur 3 m de large. Les doses épandues ont été calculées en fonction des besoins en azote recommandés par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) dans le *Guide de référence en fertilisation*², soit 120 kg N_{dispo}/ha. Pour les fins du calcul, les données de caractérisation récente des fumiers ont été fournies par les producteurs agricoles. Lorsque celles-ci n'étaient pas disponibles, des échantillons ont été prélevés quelques semaines avant les épandages pour la détermination des paramètres physico-chimiques suivants :

- Azote total
- Azote minéral N-NH₄
- Cendres
- Matière organique
- Rapport C/N

Les récoltes ont été réalisées lorsque le grain présentait moins de 18 % d'humidité. Le Tableau 1 présente les dates de ces principales opérations selon le site et le Tableau 2 résume les délais entre l'épandage et la récolte évalués dans le projet.

Tableau 1. Calendrier des principales activités au champ selon le site expérimental.

Activité	St-Bruno-de-Montarville Argile lourde et loam sableux		St-Lambert-de-Lauzon Loam argileux	
	Saison 2023	Saison 2024	Saison 2023	Saison 2024
Semis	9 septembre 2022	7 septembre 2023	29 août 2022	5 septembre 2023
Épandage	30 mai 2023	30 mai 2024	12 juin 2023	12 juin 2024
Récolte	4 août 2023	18 juillet 2024	20 août 2023	5 août 2024

² CRAAQ, 2010. Guide de référence en fertilisation, 2^e édition. ISBN : 978-2-7649-0231-8

Tableau 2. Délais entre l'épandage et la récolte évalués en 2023 et 2024 selon le site expérimental.

Année de production	St-Bruno-de-Montarville	St-Lambert-de-Lauzon
2023	66 jours	68 jours
2024	50 jours	54 jours

3.3 ÉCHANTILLONNAGES ET VARIABLES MESURÉES

3.3.1 Calendrier des échantillonnages

À la suite des épandages, plusieurs échantillonnages de sol ont eu lieu, tel qu'indiqué au Tableau 3. Le grain et la paille ont été échantillonnés 66 et 50 jours post-épandage à St-Bruno-de-Montarville, ainsi que 68 et 54 jours post-épandage à St-Lambert-de-Lauzon, en 2023 et 2024, respectivement.

Tableau 3. Nombre de jours post-épandage avec prise d'échantillons selon le site expérimental.

Type d'échantillon	St-Bruno-de-Montarville		St-Lambert-de-Lauzon	
	Saison 2023	Saison 2024	Saison 2023	Saison 2024
Sol	< 3hrs et 1, 6, 13, 27, 62, 69, 91 et 118 jrs	< 3hrs et 1, 6, 12, 27, 47, 61, 90 et 119 jrs	< 3hrs et 1, 8, 15, 30, 63, 70, 91 et 119 jrs	< 3hrs et 1, 5, 13, 27, 54, 61, 89 et 119 jrs
Grain et paille	66 jrs	50 jrs	68 jrs	54 jrs

3.3.2 Méthodes d'échantillonnage

3.3.2.1 Engrais organiques

Lors des épandages, deux échantillons de chaque type d'engrais ont été prélevés par champ, soit au début de l'épandage, afin de représenter ce qui allait être appliqué dans les deux premiers blocs, et ensuite afin de représenter ce qui allait être épandu dans les parcelles des blocs 3 et 4. Les échantillons liquides ont été prélevés de façon aseptique dans des contenants en propylène stériles, et les échantillons de fumiers solides ont été déposés dans des sacs stériles. Tous les échantillons étaient composés de six prélèvements répartis durant l'épandage dans les parcelles concernées. Ils ont ensuite été maintenus au frais jusqu'aux analyses microbiologiques et physico-chimiques, lesquelles ont été effectuées dans un délai de 48 h pour la microbiologie et en une semaine pour la physico-chimie.

3.3.2.2 Sol

Tous les échantillons de sol étaient constitués de six sous-échantillons prélevés de manière aseptique dans chaque parcelle et mis dans des sacs de plastique stériles. La couche de surface 0-10 cm a été prélevée à l'aide d'une tarière préalablement désinfectée. Les échantillons ont ensuite été maintenus au frais jusqu'aux analyses microbiologiques effectuées dans un délai de 48 h.

3.3.2.3 Paille

Lors de la récolte des grains, la paille a également été échantillonnée dans chacune des parcelles. Pour ce faire, une section des parcelles a été exclusivement attitrée à l'échantillonnage, afin de ne pas nuire aux rendements. À l'aide de ciseaux

préalablement désinfectés, les plants ont été prélevés à six endroits dans la parcelle, en coupant à 10 cm du sol et en étêtant les tiges pour ne pas récolter les épis. Les tiges ont ensuite été coupées en morceaux de 2 à 3 cm, lesquels étaient déposés directement dans un sac stérile. Les échantillons ont ensuite été maintenus au frais jusqu'aux analyses microbiologiques effectuées dans un délai de 48 h.

3.3.2.4 Grain

L'échantillonnage des grains a été réalisé manuellement afin d'éviter toute contamination croisée entre les parcelles. Pour ce faire, dans la section destinée à l'échantillonnage de la paille, 160 épis ont été prélevés de façon aseptique par parcelle et déposés dans un sac stérile. Au laboratoire, les épis ont ensuite été égrenés de façon aseptique, en mettant de côté les tiges et les glumes pour ne garder que les grains. Les échantillons ont ensuite été maintenus au frais jusqu'aux analyses microbiologiques effectuées dans un délai de 48 h. Afin de tenir compte du contact possible entre les grains et le sol dans l'interprétation des résultats, une cote de verse du blé a été attribuée à chaque parcelle, soit une cote allant de 1 (verse nulle) à 9 (verse totale), tel qu'appliqué par le Réseau des Grandes Cultures du Québec (RGCQ)³.

3.3.3 Paramètres mesurés

3.3.3.1 Caractérisation physico-chimique des engrais organiques

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au Laboratoire d'analyses agroenvironnementales de l'IRDA à Québec selon les méthodes suivantes.

Azote total

L'analyse a été faite par la méthode Kjeldhal (NTK), qui débute par une digestion de l'échantillon par oxydation avec un mélange d'acide sulfurique, d'acide sélénieux et de peroxyde d'hydrogène, le tout à une température de 375 °C. Le digestat est ensuite dosé à l'aide d'un système analytique AA3 (Seal Analytical). L'azote total est déterminé par colorimétrie lors de laquelle un complexe vert émeraude est formé par la réaction de l'ion ammonium (NH₄) avec le salicylate de sodium, le nitroprusside de sodium et l'hypochlorite de sodium dans un tampon alcalin. L'intensité de la couleur du complexe formé est mesurée par spectrométrie à une longueur d'onde de 660 nm. Cette intensité est proportionnelle à la concentration de l'ion ammonium en solution.

Azote minéral (N-NH₄)

L'azote minéral est déterminé par extraction au chlorure de potassium 2N (KCl). Les diverses formes d'azote sont ensuite dosées par colorimétrie avec un système d'analyse automatisé AA3 (Seal Analytical) à deux canaux. Les réactifs et le principe d'analyse de colorimétrie sont identiques à la méthode Kjeldhal ci-dessus.

Cendres et matières sèches

La détermination du pourcentage de cendres dans un engrais organique est effectuée par méthode gravimétrique. L'échantillon subit une calcination à 500 °C, où la plupart des composés organiques sont détruits. La perte de poids de l'échantillon correspond à la perte de matière organique, tandis que le poids du résidu résultant de cette calcination correspond au poids des cendres de l'échantillon.

La détermination du pourcentage de matière sèche est également effectuée par méthode gravimétrique. L'échantillon d'engrais organique est séché dans une étuve à circulation forcée ou à convection, à une température de 105 °C pendant une période de 16 heures, ou jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La perte de poids mesurée correspond à l'humidité de l'échantillon, le poids résiduel correspond à la matière sèche de l'échantillon.

³ RCGQ, 2024. Procédures opérationnelles – Comité de recommandation des céréales du Québec. [ProtocoleCéréalesCRCQ2024.pdf](#).

Rapport C/N

Le rapport C/N des engrais organiques est déterminé par une division du poids des cendres par l'azote total Kjeldahl (NTK).

Éléments totaux P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Na

La détermination des éléments majeurs et des métaux lourds extractibles totaux dans les engrais organiques est déterminée par digestion EPA 3050 et spectrométrie d'émission au plasma. Premièrement, l'échantillon est digéré à l'acide nitrique et au peroxyde d'hydrogène puis chauffé à reflux dans l'acide chlorhydrique. La solution de digestion est ensuite diluée à un volume final de 50 ml avec de l'eau déminéralisée. Après décantation, l'échantillon est analysé par spectrométrie d'émission au plasma d'argon (ICP-OES *Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*). Lorsqu'injecté dans le plasma d'argon, les éléments contenus dans l'échantillon émettent des photons d'énergie à des longueurs d'onde caractéristiques des atomes présents et des intensités proportionnelles aux concentrations.

3.3.3.2 *Analyses microbiologiques*

Les analyses microbiologiques ont été réalisées au Laboratoire d'hygiène de l'environnement agricole de l'IRDA à St-Bruno-de-Montarville. En conditions aseptiques, 25 g ± 0.5 g de chaque échantillon ont été placés dans un sac stérile avec filtre, dans lequel 225 ml d'eau peptonée 0.1 % stérile ont été ajoutés. Après avoir bien homogénéisé l'échantillon en brassant vigoureusement, le pH a été mesuré avec une bandelette rapide pour pH (voir sous-section 3.3.3.4). Par la suite, des dilutions 1 :10 en série ont été réalisées, en ajoutant 1 ml de la dilution précédente dans 9 ml d'eau peptonée 0.1 %. Chaque dilution a ensuite été inoculée sur différents milieux de culture, tel que décrit dans les prochaines sections. En parallèle, le taux de matière sèche de chaque échantillon a également été mesuré (voir sous-section 3.3.3.3).

E. coli

Les populations d'*E. coli* ont été dénombrées en utilisant les géloses 3M™ Petrifilm pour *E. coli*, en se basant sur la méthode MFHBP-34 de Santé Canada, ainsi que la procédure proposée par le manufacturier. En bref, à l'aide de la pipette électronique, 1 ml de chaque dilution a été déposé au centre de la gélose. Après avoir rabattu délicatement le film supérieur en évitant la formation de bulles d'air, les géloses ont été incubées vers le haut à 35 °C ± 1 °C pendant 48 heures ± 2 heures. Ensuite, les colonies bleues à rouge-bleu associées à des bulles de gaz, indépendamment de la taille ou de l'intensité de la couleur, ont été comptées comme des bactéries *E. coli*.

Pour calculer le nombre de colonies d'*E. coli* par gramme d'échantillon, il faut choisir la dilution dont le dénombrement se situe entre 15 et 150 colonies. S'il n'y avait pas de plaques dans cette gamme, les plaques ayant entre 1 et 14 colonies ont été utilisées. La limite de détection théorique de la méthode est de 10 UFC/g⁴.

Salmonella spp.

Deux méthodes ont été utilisées pour la détection des salmonelles, soit une technique de dénombrement par ensemencement direct sur milieu sélectif, ainsi qu'une méthode plus sensible de détection incluant une phase d'enrichissement ne permettant pas de dénombrer les populations. En 2023, la méthode sensible d'enrichissement a été réalisée sur les échantillons de grains seulement alors qu'en 2024, tous les échantillons ont été analysés selon cette méthode.

La méthode de dénombrement des populations de *Salmonella spp.* a été réalisée en mettant 50 µl de la solution de départ (25 g d'échantillon dans 225 ml d'eau peptonée) sur une gélose COMPASS® *Salmonella* (Innovation diagnostics). Après inoculation des 50 µl par gélose, une incubation à 37 °C ± 1 °C pendant 24 heures ± 3 heures a été réalisée. Suivant ce délai, les colonies de couleur magenta ont été considérées comme des salmonelles. La limite de détection théorique de la méthode est de 200 UFC/g.

⁴ UFC/g : unité formatrice de colonie par gramme.

La détection des salmonelles par enrichissement a été réalisée en déposant 6 gouttes de 30 µl de la solution d'enrichissement (25 g d'échantillon dans 225 ml de bouillon trypto-caséine soja (TSB) (Biokar Diagnostics)) sur le milieu gélosé Rappaport-Vassiliadis semi-solide modifié (MSRV) (Biokar Diagnostics). Après l'inoculation des géloses, celles-ci sont laissées à température pièce, à l'abri de la lumière pendant 1 heure, puis incubées à 42 °C ± 0.5 °C avec humidité pendant 16 à 48 heures. Après une période d'incubation de 16 heures, une première lecture est effectuée. Les gouttes ayant un halo blanchâtre d'au moins 1 cm indiquent la présence de salmonelles présomptives. Il faut attendre un délai de 48 heures pour confirmer leur présence/absence. Finalement, une confirmation est effectuée en repiquant un inoculum de l'extrémité extérieure du halo sur une gélose COMPASS® Salmonella (Innovation Diagnostics). Les étapes d'incubation sur gélose Compass® et d'interprétation des résultats sont identiques à la méthode de dénombrement décrite ci-dessus. La présence ou l'absence de salmonelles est rapportée pour une masse de 25 g d'échantillon. Pour finir, une congélation à -20 °C ± 5.0°C des salmonelles confirmées est effectuée en inoculant 10 colonies isolées sur 100 µl de milieu de congélation, composé de Brucella Broth (Millipore Sigma), Agar (Sigma Aldrich), Glycérol (Fisher Scientific) et d'eau millipore.

Afin de faire le lien entre les souches de salmonelles détectées dans les engrais organiques et les échantillons de sol, paille et grains, un sérotypage a été réalisé sur les souches isolées au laboratoire. Après décongélation des souches, celles-ci ont été inoculées sur des géloses COMPASS® Salmonella (Innovation Diagnostics) et incubées de 24 heures ± 3 heures à une température de 37°C ± 1°C et ce, pour s'assurer d'une culture pure. Ensuite, 2 à 3 colonies magenta ont été repiquées dans des tubes contenant du milieu gélosé tryptone soja incliné (TSA) (Biokar Diagnostics). Après une incubation à 35 °C ± 1 °C pendant 18 à 24 heures, les tubes ont été envoyés au Laboratoire national de microbiologie de l'Agence de santé publique du Canada à Guelph, Ontario. Les sérotypes ont alors été déterminés en analysant par des tests d'agglutination les antigènes des groupes O et H propres à chaque type de salmonelle selon des méthodes phénotypiques traditionnelles conformes au schéma White-Kauffmann-Le Minor.

3.3.3.3 *Taux de matières sèches*

Pour chaque échantillon brut d'engrais organique, de sol, de paille et de grains, 30 grammes ont été pesés dans une assiette d'aluminium. Les échantillons ont été placés à l'étuve pendant toute la nuit à 105,0°C, avant d'être pesés à nouveau à chaque jour et ce, jusqu'à ce que la masse demeure stable durant trois jours consécutifs. Le taux de matières sèches a été calculé en divisant la masse finale sèche sur la masse initiale humide de l'échantillon, et en multipliant par 100.

3.3.3.4 *pH*

Après avoir bien homogénéisé l'échantillon en brassant vigoureusement, le pH a été mesuré avec une bandelette rapide pour pH (VWR), selon les instructions du fabricant. Le pH de l'échantillon doit être compris entre 6,6 et 7,2 pour fins d'analyses microbiologiques. Le cas échéant, celui-ci a été ajusté au compte-gouttes avec une solution de HCl 1N ou de NaOH 1N. Après homogénéisation, le pH a été repris à nouveau avant de procéder aux analyses.

3.3.3.5 *Humidité et température du sol de surface*

Un dispositif permettant de cumuler la température du sol ainsi que sa teneur en eau a été installé dans chacun des champs à l'étude et ce, pour les deux ans. Il s'agissait d'un acquéreur de données de type CR300 (Campbell Scientific) auquel était connectée une sonde TDR (*type domain reflectometry*). Les données étaient prises aux 15 minutes.

3.3.3.6 *Rendements en grains et biomasse végétale*

Après que tous les échantillonnages destinés aux analyses microbiologiques aient été finalisés, les rendements en grain ainsi que la biomasse de paille ont été mesurés à l'aide d'une moissonneuse-batteuse Wintersteiger adaptée pour les parcelles expérimentales permettant de récupérer les résidus végétaux. Le battage s'est réalisé sur une largeur de 1,5 m et une longueur de 8 m par parcelle. Le grain et la paille ont été pesés directement au champ, et des sous-échantillons ont été prélevés afin de mesurer le taux de matières sèches et la qualité du grain, ainsi que le taux de matières sèches de la paille.

Les taux de matières sèches des végétaux ont été calculés de la même manière que décrit précédemment, mais après séchage à 70 °C.

3.4 ANALYSES STATISTIQUES

Le nombre de jours écoulés pour atteindre un seuil de 100 UFC/g de sol en lien avec le type d'engrais organique et du champ (interaction) a été estimé en deux temps. Dans un premier temps, l'abondance initiale d'*E. coli* (log10) et la relation entre l'abondance et le nombre de jours écoulés (taux de décroissance) ont été estimés pour chaque type d'engrais. Dans un deuxième temps, les abondances initiales et les taux de décroissance ont été utilisés pour calculer le nombre de jours nécessaires pour atteindre le seuil. Une approche bayésienne (McElreath, 2020⁵) a été utilisée pour faire face à la complexité des données (censurées), pour intégrer de l'information à priori (concentration initiale), et pour obtenir des résultats robustes.

3.4.1 Taux de décroissance

Pour chaque type d'engrais organique, la relation entre l'abondance d'*E. coli* (log10) et le nombre de jours écoulés après l'épandage a été estimée par champ (interaction entre le nombre de jours et le champ). La variabilité de la pente entre années et entre répétitions a été modélisée en effets aléatoires nichés. Une distribution gaussienne avec censure a été utilisée pour inclure les abondances sous la limite de détection (<10 bactéries/g).

Des distributions à priori ont été spécifiées pour aider l'estimation des concentrations initiales. Pour chaque répétition, la concentration initiale « théorique » d'*E. coli* dans le sol a été calculée à partir de la concentration d'*E. coli* dans l'engrais organique brut, la dose d'engrais appliquée et la masse volumique du sol. Les distributions à priori permettent au modèle d'estimer une concentration initiale pouvant aller jusqu'à 100X plus ou moins la valeur théorique, mais pas davantage, sauf pour le fumier de poulet à griller (jusqu'à 1000X à cause d'un degré d'incertitude plus élevé). Puisqu'on modélise une décroissance de bactéries, la pente de la relation a été contrainte aux valeurs négatives.

Équations du modèle statistique pour chaque type d'engrais organique:

$$\log_{10}(E. coli_i) \sim initial_j - e^{pente} \times jours_i + \varepsilon_i$$
$$pente \sim \beta_k + Norm(\mu_{années}, \sigma_{années}) + Norm(\mu_{répétitions}, \sigma_{répétitions})$$

Où :

$\log_{10}(E. coli)$ = nombre d'*E. coli* par g de sol sec

initial_j = nombre d'*E. coli* au temps zéro pour la répétition j

- e^{pente} = taux de décroissance, strictement négatif, en fonction du champ k et de la variation aléatoire entre année répétitions

L'estimation des paramètres du modèle a été effectuée avec la librairie R brms (Bürkner, 2017⁶), qui utilise l'algorithme MCMC hamiltonien de Stan. Afin de s'assurer que les estimés soient robustes, l'algorithme a été répété sur huit chaînes, avec chacune 400 itérations (les premières 2 000 rejetées) pour un total de 16 000 itérations. La cohérence entre les chaînes, la forme unimodale des distributions postérieures, la taille d'échantillon effective, et l'absence de divergences ont été vérifiées pour valider les modèles.

⁵ McElreath, R. (2020). *Statistical rethinking: A Bayesian course with examples in R and Stan*. Chapman and Hall/CRC.

⁶ Bürkner, P. C. (2017). Advanced Bayesian multilevel modeling with the R package brms. *arXiv preprint arXiv:1705.11123*.

3.4.2 Nombre de jours requis pour atteindre un seuil donné

Le nombre de jours requis pour atteindre un seuil donné, soit 100 UFC/g de sol, a été calculé à partir du modèle statistique de la façon suivante :

$$jours = (N_{seuil\ visé} - N_{initial}) / pente$$

Où :

jours = nombre de jours requis pour atteindre le seuil visé

$N_{seuil\ visé}$ = seuil visé (2 log₁₀ UFC/g de sol pour 100 UFC/g)

$N_{initial}$ = concentration initiale de bactéries dans le sol après l'épandage, en log₁₀ UFC/g de sol

pente = taux de décroissance des bactéries dans le sol

Cette équation est utilisée avec les distributions postérieures de concentrations initiales et de taux de décroissance (16 000 estimés) pour propager naturellement l'incertitude du modèle au nombre de jours requis estimé. Les quantiles des 16 000 itérations sont utilisés pour extraire le nombre requis attendu (médiane) et pour différents degrés de certitude (75 %, 90 % et 95 %). Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R, version 4.3.3 (2024-02-29 ucrt) et les libraires suivantes:

- tidyverse version 2.0.0: manipulation de données
- magrittr version 2.0.3: manipulation de données
- lubridate version 1.9.3: manipulation de dates
- ggplot2 version 3.5.1: graphiques
- ggbeeswarm version 0.7.2: graphiques
- viridis version 0.6.5: couleurs
- parallel version 4.3.3: calculs multi-
- rstanarm version 2.32.1: modèles bayésiens
- brms version 2.21.0: modèles bayésiens
- bayesplot version 1.11.1: diagnostics bayésiens
- shinystan version 2.6.0: diagnostics bayésiens
- tidybayes version 3.0.6: outils bayésiens
- emmeans version 1.10.0: inférence à partir de modèles.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'objectif de cette étude étant de déterminer le délai sécuritaire à laisser entre l'épandage printanier et la récolte du blé d'automne, il est requis de s'assurer que les conditions les plus à risques sont représentées dans l'étude. Il est reconnu que plus la charge de microorganismes d'origine fécale appliquée au sol est élevée, plus ceux-ci seront présents sur une longue période dans le sol. La charge de bactéries provenant d'un épandage de fumier est principalement reliée à la dose de fumier/lisier appliquée et à son contenu en microorganismes fécaux. De manière générale, plus le fumier/lisier est frais, plus sa concentration en microorganismes potentiellement pathogènes est élevée. Le type de litière peut aussi avoir un effet en exposant les microorganismes à des conditions adverses telles que la sécheresse.

4.1 TYPE ET DOSE DE FUMIERS ET LISIERS

Afin de représenter les conditions à risque supérieur, les engrais organiques les plus frais possible ont été choisis, notamment des lisiers de préfosse intérieure et des fumiers solides fraîchement sortis des bâtiments d'élevage. Le contenu bactérien de ces types d'engrais est reconnu comme étant plus élevé que dans des engrais entreposés depuis des jours, voire depuis des mois dans le cas des fosses à lisier durant l'hiver.

Ensuite, les doses d'engrais appliquées au sol ont été calculées afin de combler 100 % des besoins en azote recommandé par le CRAAQ pour le blé. Il faut comprendre que selon les entreprises, notamment celles où certains champs sont en surplus de phosphore, la dose appliquée peut être considérablement moindre, réduisant par le fait même la charge bactérienne mise au sol et le risque global. Les doses de fumiers et lisiers appliqués dans le cadre de cette étude sont présentées aux Tableaux 4 à 9, ainsi que les apports en éléments fertilisants associés.

Tableau 4. Doses et apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site de St-Lambert-de-Lauzon en 2023 selon l'engrais organique.

Engrais organiques	Dose appliquée (m ³ ou T/ha)	Apports (kg/ha)			
		N _{total}	N _{dispo}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fumier de bovin laitier	121,0	303	109	125	319
Lisier de porc	39,5	266	113	181	141
Fumier de poules pondeuses	4,0	118	81	18	13
Fumier de poulet à griller	11,9	307	164	181	206
Recommandation CRAAQ			120	65	75

Tableau 5. Doses et apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site de St-Lambert-de-Lauzon en 2024 selon l'engrais organique.

Engrais organiques	Dose appliquée (m ³ ou T/ha)	Apports (kg/ha)			
		N _{total}	N _{dispo}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fumier de bovin laitier	86,0	212	106	73	205
Lisier de porc	27,5	150	92	95	87
Fumier de poules pondeuses	4,6	120	85	58	48
Fumier de poulet à griller	8,1	203	97	99	148
Recommandation CRAAQ			120	65	75

Tableau 6. Doses et apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville en 2023 selon l'engrais organique.

Engrais organiques	Dose appliquée (m ³ ou T/ha)	Apports (kg/ha)			
		N _{total}	N _{dispo}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fumier de bovin laitier	92,5	264	122	103	161
Lisier de porc	25,0	161	80	43	97
Fumier de poules pondeuses	4,0	158	114	18	13
Fumier de poulet à griller	11,9	340	146	214	255
Recommandation CRAAQ			120	65	75

Tableau 7. Doses et apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville en 2024 selon l'engrais organique.

Engrais organiques	Dose appliquée (m ³ ou T/ha)	Apports (kg/ha)			
		N _{total}	N _{dispo}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fumier de bovin laitier	91,0	325	126	133	217
Lisier de porc	30,0	158	80	54	99
Fumier de poules pondeuses	4,6	178	126	100	71
Fumier de poulet à griller	9,8	259	109	148	185
Recommandation CRAAQ			120	65	75

Tableau 8. Doses et apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville en 2023 selon l'engrais organique.

Engrais organiques	Dose appliquée (m ³ ou T/ha)	Apports (kg/ha)			
		N _{total}	N _{dispo}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fumier de bovin laitier	86,0	245	120	96	150
Lisier de porc	23,5	151	78	40	91
Fumier de poules pondeuses	3,5	139	114	16	11
Fumier de poulet à griller	10,6	303	145	191	227
Recommandation CRAAQ			120	65	75

Tableau 9. Doses et apports en éléments fertilisants appliqués au sol au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville en 2024 selon l'engrais organique.

Engrais organiques	Dose appliquée (m ³ ou T/ha)	Apports (kg/ha)			
		N _{total}	N _{dispo}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fumier de bovin laitier	85,0	303	127	124	203
Lisier de porc	28,5	150	79	51	94
Fumier de poules pondeuses	4,0	155	125	87	62
Fumier de poulet à griller	8,8	231	109	133	165
Recommandation CRAAQ			120	65	75

4.2 DATE D'ÉPANDAGE ET DÉLAI AVANT LA RÉCOLTE

Les épandages d'engrais organiques ont été réalisés le plus tard possible en saison, soit au début du stade épiaison, ce qui est rarement effectué chez les producteurs agricoles, même chez ceux qui cultivent des céréales destinées à l'alimentation animale. De ce fait, le délai entre les épandages et la récolte des grains a été très court, variant de 50 à 68 jours, ce qui est bien en-deçà des 90 jours prescrits dans la norme biologique canadienne actuelle.

4.3 POPULATIONS D'*E. COLI* ET DE *SALMONELLA SPP.* DANS LES ENGRAIS ORGANIQUES

Le Tableau 10 présente les statistiques descriptives des 48 échantillons d'engrais organiques analysés, illustrant particulièrement la variabilité importante des contenus en *E. coli* pour les fumiers de poules pondeuses et de poulet à griller. Les Tableaux 11 à 13 présentent la moyenne des contenus initiaux en *E. coli* mesurés dans les engrais organiques, ainsi que les charges appliquées par parcelle pour St-Lambert-de-Lauzon et les deux sites de St-Bruno-de-Montarville, respectivement. En effet, la concentration en bactéries dans les fumiers ne doit pas être le seul paramètre considéré dans l'évaluation du risque, puisque les doses épandues n'ont pas été les mêmes pour tous les engrais organiques, rendant ainsi les quantités de bactéries appliquées au sol différentes selon les traitements.

Tableau 10. Statistiques descriptives des concentrations en *E. coli* mesurées dans les engrais organiques, tous sites et années confondus.

	Moyenne (UFC/g)	Écart-type (UFC/g)	Médiane (UFC/g)	Minimum (UFC/g)	Maximum (UFC/g)
Lisier de bovin	550 789	249 872	536 832	86 972	908 182
Lisier de porc	69 036	79 107	48 689	9 721	248 031
Fumier de poules pondeuses	33 232 495	41 868 019	9 433 497	49	116 117 260
Fumier de poulet	512 353	1 260 068	7 307	< 10*	4 117 260

*sous la limite de détection de la méthode, soit 10 UFC/g.

Tableau 11. Contenu initial en *E. coli* des engrais organiques et charge bactérienne appliquée au sol lors des épandages au site de St-Lambert-de-Lauzon selon l'année de production.

	2023		2024	
	Contenu initial (UFC/g)	Charge appliquée au sol (millions UFC/parcelle)	Contenu initial (UFC/g)	Charge appliquée au sol (millions UFC/parcelle)
Lisier de bovin	144 506	62 947	426 568	132 065
Lisier de porc	232 449	33 054	55 048	5 485
Fumier de poules pondeuses	86 749 126	1 249 187	18 458 407	305 671
Fumier de poulet	1 640	70	< 10*	< 10*

*sous la limite de détection de la méthode, soit 10 UFC/g.

Tableau 12. Contenu initial en *E. coli* et charge appliquée au sol lors des épandages au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon l'engrais organique et l'année de production.

	2023		2024	
	Contenu initial (UFC/g)	Charge appliquée au sol (millions UFC/parcelle)	Contenu initial (UFC/g)	Charge appliquée au sol (millions UFC/parcelle)
Lisier de bovin	580 748	179 800	788 195	241 188
Lisier de porc	14 424	1 220	53 782	5 518
Fumier de poules pondeuses	81 888 046	1 031 789	126 683	1 824
Fumier de poulet	970 208	37 023	44	1

Tableau 13. Contenu initial en *E. coli* et charge appliquée au sol lors des épandages au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon l’engrais organique et l’année de production.

	2023		2024	
	Contenu initial (UFC/g)	Charge appliquée au sol (millions UFC/parcelle)	Contenu initial (UFC/g)	Charge appliquée au sol (millions UFC/parcelle)
Lisier de bovin	522 555	174 011	842 161	275 892
Lisier de porc	10 043	904	48 108	5 196
Fumier de poules pondeuses	5 301 722	76 345	6 870 987	113 784
Fumier de poulet	16 045	687	2 086 183	73 601

En 2023, la présence de salmonelles a été détectée dans un des deux échantillons de lisier de bovin épandu à St-Lambert-de-Lauzon. En 2024, les salmonelles n’ont jamais été dénombrées dans les fumiers, mais la méthode sensible d’enrichissement a permis d’en détecter la présence dans six échantillons. Ces résultats sont résumés au Tableau 14, accompagnés des sérotypes.

Tableau 14. Engrais organiques où la présence de salmonelles a été détectée lors de l’épandage selon le site et l’année de production.

	Année de production	Engrais organique	Sérotypes
St-Lambert-de-Lauzon Loam argileux	2023	Lisier de bovin	À déterminer
	2024	Lisier de bovin	Oranienburg Hadar Tennessee
		Lisier de porc	Oranienburg
	2024	Fumier de poules pondeuses	Kiambu
St-Bruno-de-Montarville Loam sableux	2024	Lisier de porc	Derby
St-Bruno-de-Montarville Argile lourde	2024	Lisier de bovin	Braenderup
St-Bruno-de-Montarville Argile lourde	2024	Fumier de poules pondeuses	Kiambu V66 :z41 :-

Tel que mentionné précédemment, une attention particulière a été prise pour avoir des engrais organiques dont le contenu en *E. coli* était le plus élevé possible. Les contenus mesurés peuvent difficilement être comparés à des niveaux retrouvés dans la littérature, puisque très peu d’études ont été réalisées sur le sujet, au Québec de surcroît. Des données publiées par l’équipe de recherche sur le lisier de porc peuvent par contre être utilisées pour mettre en contexte les lisiers de porc et de bovin analysés dans cette étude. En 2006, Côté et al.⁷ ont rapporté des niveaux d’*E. coli* mesurés dans des lisiers de porc prélevés dans les fosses extérieures de 32 fermes porcines au Québec. Les niveaux ont varié entre la limite de détection et 5,52 log₁₀ UFC/g (intervalle de confiance à 95 % = 3,16-4,23 log₁₀UFC/g). Les populations d’*E. coli* des 24 échantillons de lisier mesurées dans le présent projet ont varié entre 4,00 et 5,37, ainsi qu’entre 5,16 et 5,93 log₁₀ UFC/g pour les lisiers de porc et de bovin, respectivement, et s’avèrent comparables à l’étude de Côté et al. (2006).

Les faibles populations d’*E. coli* mesurées dans les fumiers de poulet ne sont pas surprenantes, étant donné le taux de matières sèches élevé de ce type de matériel due à la présence de litière de rive de bois. En effet, la majorité des bactéries entériques persistent difficilement dans des environnements secs, mise à part la salmonelle qui est reconnue plus résistante⁸. À l’inverse, les fumiers de poules pondeuses étaient très frais, avec des taux de matières sèches plus faibles, et

⁷ Côté, C., Villeneuve, A., Lessard, L., & Quessy, S. (2006). Fate of pathogenic and nonpathogenic microorganisms during storage of liquid hog manure in Quebec. *Livestock Science*, 102(3), 204-210.

⁸ Spector, M. P., & Kenyon, W. J. (2012). Resistance and survival strategies of *Salmonella enterica* to environmental stresses. *Food Research International*, 45(2), 455-481.

présentaient des niveaux très élevés de bactéries. Les taux de matières sèches moyens sont présentés par type d'engrais organique au Tableau 15.

Tableau 15. Taux de matières sèches des engrais organiques selon le site.

Taux de matières sèches (%)				
	Lisier de bovin	Lisier de porc	Fumier de poules pondeuses	Fumier de poulet à griller
St-Lambert-de-Lauzon	6,5	10,6	39,8	60,6
St-Bruno-de-Montarville	14,5	3,6	52,3	75,0

4.4 PERSISTANCE D'E. COLI ET DE SALMONELLA SPP. DANS LE SOL

Au total, 1 080 échantillons de sol ont été prélevés dans cette étude et ce, à neuf moments post-épandage par an par site. Tous les échantillons ont été analysés pour le dénombrement des bactéries *E. coli*. Pour les salmonelles, les 540 échantillons pris en 2023 ont été analysés par la méthode de dénombrement. En 2024, la méthode sensible par enrichissement a été réalisée pour sept des neuf dates d'échantillonnage, pour un total de 420 analyses. Les populations de bactéries *E. coli* sont toujours présentées sur une base sèche dans tous les types d'échantillons, afin de permettre la comparaison entre ceux-ci. De ce fait, les populations présentées dans les sections suivantes sont supérieures à ce qui est réellement présent dans les échantillons, en raison de la quantité d'eau qui n'est pas considérée dans ce qui est présenté.

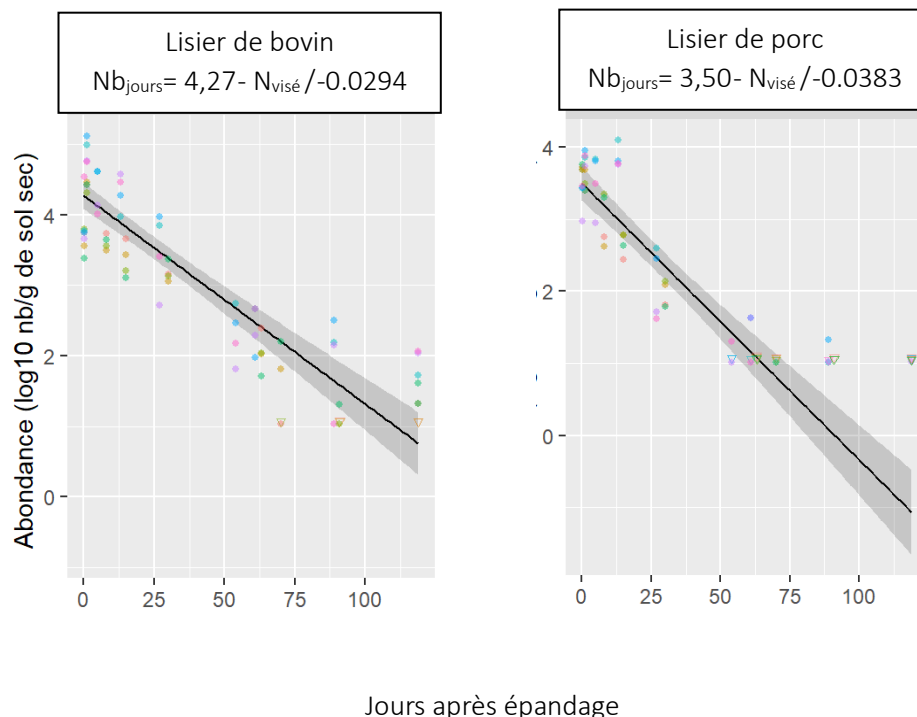
Il n'y a pas de norme ni de recommandation de niveau accepté en *E. coli* et en salmonelles dans les grains de blé brut, ni dans le sol d'ailleurs. Dans l'analyse des résultats, les niveaux de bactéries dans le sol jugés sécuritaires ont été inspirés des normes du MAPAQ⁹ pour les denrées sèches prêtes-à-manger (incluant entre autres les noix, graines, graines germées et leur poudre) (Tableau 16). En calculant le nombre de jours requis pour atteindre 100 *E. coli* (en UFC/g) dans le sol, il est raisonnable de croire que le risque pour les grains est encore plus faible, si certaines précautions sont prises.

Tableau 16. Niveaux d'*E. coli* et de salmonelles acceptés dans les denrées sèches selon les normes du MAPAQ.

Nombre d'échantillons à analyser	<i>E. coli</i>	Salmonelles
5	Aucun échantillon > 100 UFC/g Maximum 2 échantillons sur 5 entre 10 et 100 UFC/g	Absence dans tous les échantillons

4.4.1 St-Lambert-de-Lauzon

La décroissance des bactéries *E. coli* dans le sol suite à l'épandage est présentée à la Figure 2 selon le type d'engrais organique. Les résultats illustrent qu'en général, plus la charge initiale dans le sol est élevée, plus le taux de décroissance est élevé, et plus le délai pour atteindre 100 UFC/g dans le sol est long (Tableau 17). Le délai maximum pour atteindre 100 UFC/g de sol a été de 77 jours, associé au lisier de bovin.



⁹ Gouvernement du Québec, 2019. [Lignes directrices et normes pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire.](#)

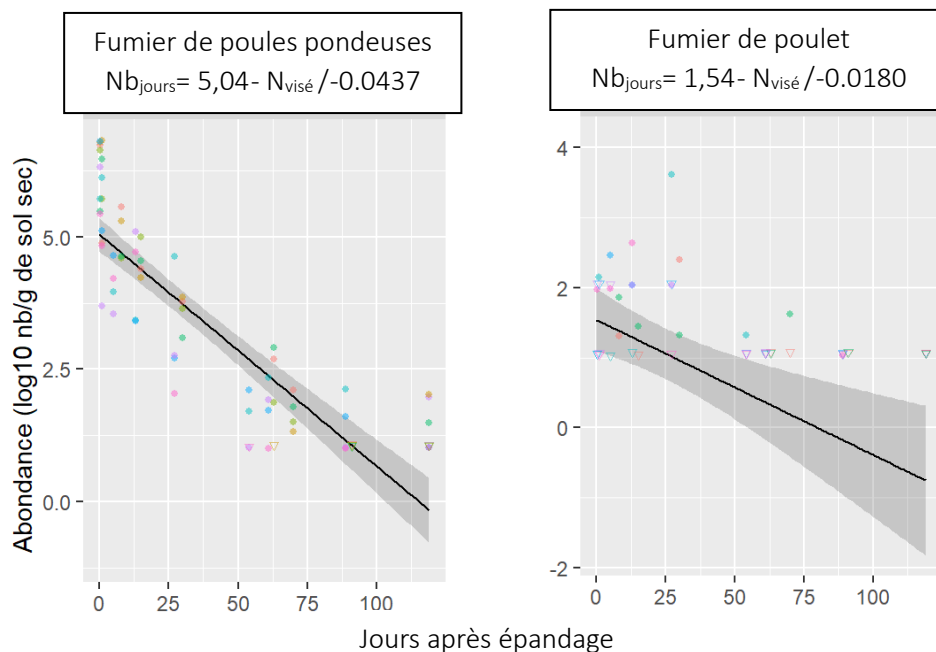


Figure 2. Décroissance d'*E. coli* dans le sol au site de St-Lambert selon le type d'engrais organique.

Tableau 17. Nombre de jours requis pour atteindre 100 UFC/g d'*E. coli* dans le sol au site de St-Lambert.

Type d'engrais organique	Nombre de jours pour atteindre 100 UFC/g de sol d' <i>E. coli</i>
Lisier de bovin	77
Lisier de porc	39
Fumier de poules pondeuses	70
Fumier de poulet	0*

*Note. Un délai de 0 jours signifie que les populations dans le sol étaient déjà sous le seuil visé tout de suite après l'épandage.

Au total, 38 échantillons de sol ont été trouvés positifs à la salmonelle sur les 320 échantillons analysés pour les deux ans d'étude (prévalence de 11 %). En 2023, des salmonelles ont été détectées une fois, dans une parcelle où du lisier de bovin avait été épandu 15 jours avant. Il est important de rappeler qu'en 2023, seule la méthode de dénombrement avait été réalisée. Au moment du dépôt de ce rapport, les analyses pour déterminer s'il s'agit du même sérotype que ce qui avait été détecté dans le lisier étaient en cours. En 2024, 37 échantillons ont été trouvés positifs à la salmonelle, selon la méthode sensible d'enrichissement. Le Tableau 18 présente la description des échantillons positifs ainsi que les sérotypes associés.

Tableau 18. Sérotypes de salmonelles détectés dans le sol à St-Lambert-de-Lauzon en 2024 selon l'engrais organique et le moment d'échantillonnage.

Engrais organique	Moment d'échantillonnage post-épandage (jours)						
	< 3 hrs	5	27	54	61	89	119
Lisier de bovin	Tennessee Hadar*	Tennessee Tennessee var.14+ Hadar	Tennessee	Tennessee Tennessee var.14+		Typhimurium	Tennessee
Lisier de porc	Tennessee	Oranienburg Typhimurium 14,5,12 : i :- Tennessee Tennessee var.14+	14,5,12 : i :-	Typhimurium 14,5,12 : i :-		Typhimurium	
Fumier de poules pondeuses	Kiambu	Kiambu	Kiambu			Typhimurium	14,5,12 : i :-

Fumier de poulet		Tennessee	Infantis var.14+		Infantis var.14+	Typhimurium	
Témoin						Typhimurium	

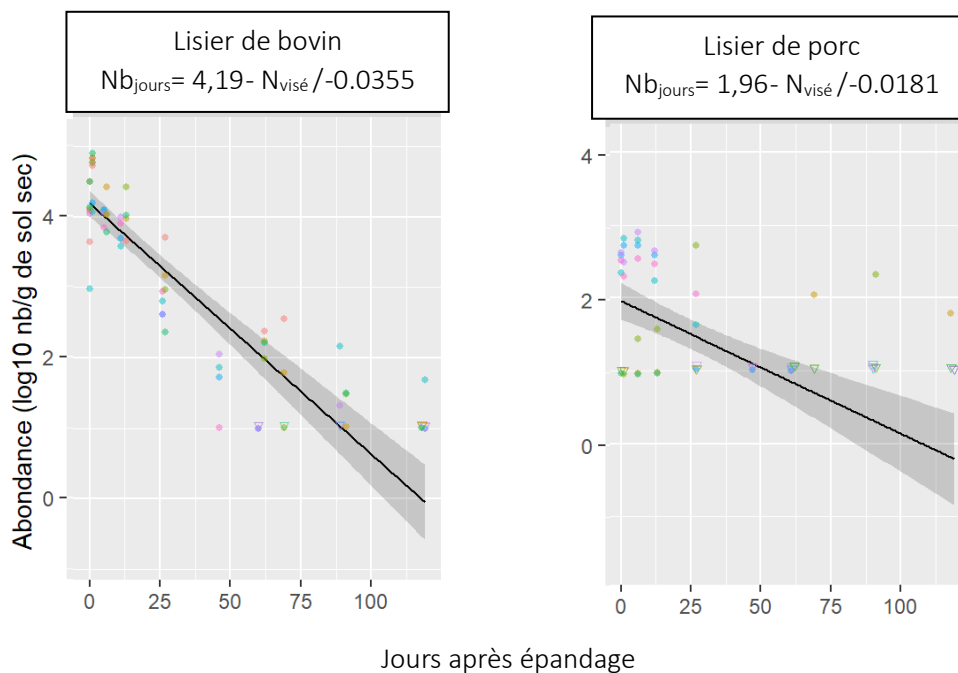
*Note. Les sérotypes en rouge ont également été détectés dans le fumier épandu.

Les résultats mettent en lumière la présence prolongée du sérotype Tennessee dans le sol suite à l'épandage de lisier de bovin, notamment au jour 54, lors de la récolte des grains. L'étude de Côté et Quessy (2005) avait également rapporté une persistance de 54 jours de la salmonelle dans le sol suite à un épandage de lisier de porc. Il est important de rappeler que la dose de lisier de bovin appliquée en 2024 au site de St-Lambert-de-Lauzon était de 86 m³/ha, une dose qui peut être considérée élevée. Étant donné que la salmonelle a été détectée par la méthode sensible d'enrichissement tant dans le lisier de bovin que dans le sol, il est possible que la persistance soit moins longue dans le sol si une dose plus faible de lisier est appliquée. Finalement, il est intéressant de noter la présence de sérotypes qui n'ont pas été détectés dans les engrais organiques, notamment le sérotype Typhimurium, retrouvé dans plusieurs traitements d'un même bloc au jour 89, soulignant une possible source externe de contamination. Les réservoirs animaux connus de ce sérotype sont très variés, soit l'humain, les animaux d'élevages, la faune et les insectes¹⁰.

4.4.2 St-Bruno-de-Montarville

4.4.2.1 Argile lourde

La décroissance des bactéries *E. coli* dans le sol suite à l'épandage est présentée à la Figure 3 selon le type d'engrais organique. La tendance notée au site de St-Lambert-de-Lauzon entre la charge initiale et le taux de décroissance est aussi observée au site de St-Bruno-de-Montarville. Les délais pour atteindre 100 UFC/g dans le sol (Tableau 19) ont été moins longs qu'au site de St-Lambert-de-Lauzon, mais les charges initiales étaient également moins élevées. Le délai maximum pour atteindre 100 UFC/g de sol a été de 62 jours, associé au lisier de bovin.



¹⁰ Université Cornell. 2024. Base de données Dashboard- Confluence. [Salmonella Typhimurium- Food Safety- Dashboard](#)

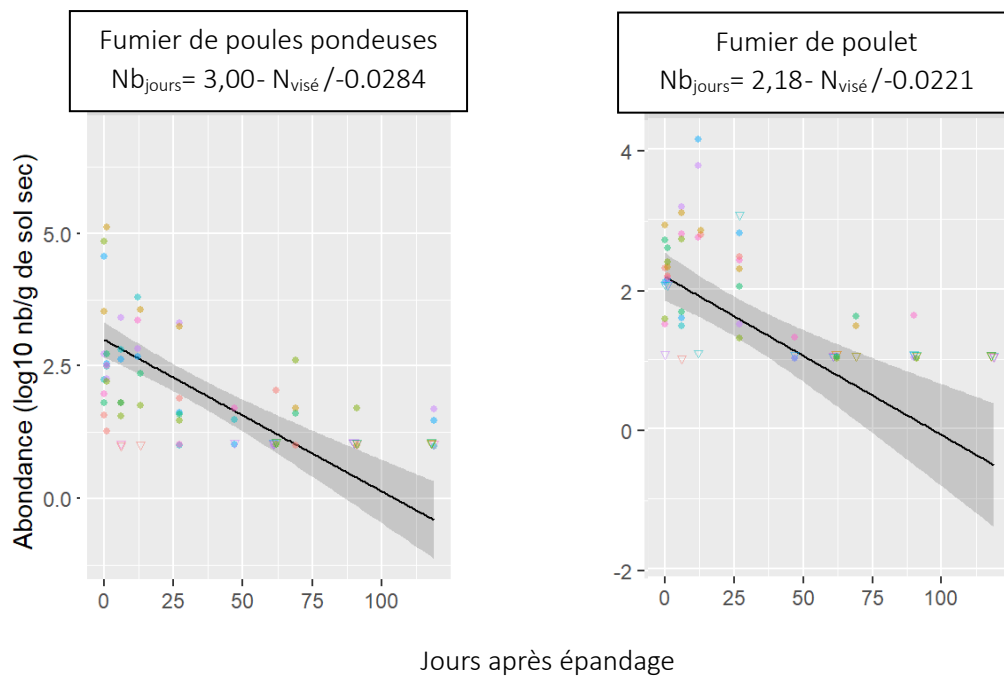


Figure 3. Décroissance d'*E. coli* dans le sol au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon le type d'engrais organique.

Tableau 19. Nombre de jours requis pour atteindre 100 UFC/g d'*E. coli* dans le sol au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville.

Type d'engrais organique	Nombre de jours pour atteindre 100 UFC/g de sol d' <i>E. coli</i>
Lisier de bovin	62
Lisier de porc	0*
Fumier de poules pondeuses	35
Fumier de poulet	8

*Note. Un délai de 0 jours signifie que les populations dans le sol étaient déjà sous le seuil visé tout de suite après l'épandage.

Deux échantillons de sol ont été trouvés positifs à la salmonelle sur le total de 320 échantillons de sol prélevés dans ce champ en 2023 et 2024 (0,6 % des échantillons). Les deux proviennent de parcelles différentes en 2023 où du lisier de bovin avait été épandu, soit 27 et 69 jours post-épandage. Les analyses sont en cours afin de déterminer si la souche de salmonelle qui a aussi été détectée dans le lisier de bovin est la même que dans ces deux échantillons de sol.

4.4.2.2 Loam sableux

La décroissance des bactéries *E. coli* dans le sol suite à l'épandage est présentée à la Figure 4 selon le type d'engrais organique. Le lien presque direct entre la charge initiale et le taux de décroissance a été observé pour ce site. Les délais pour atteindre 100 UFC/g dans le sol (Tableau 20) ont été les plus courts des trois sites, mais les charges initiales étaient également les moins élevées. Le délai maximum pour atteindre 100 UFC/g de sol a été de 59 jours, associé au lisier de bovin.

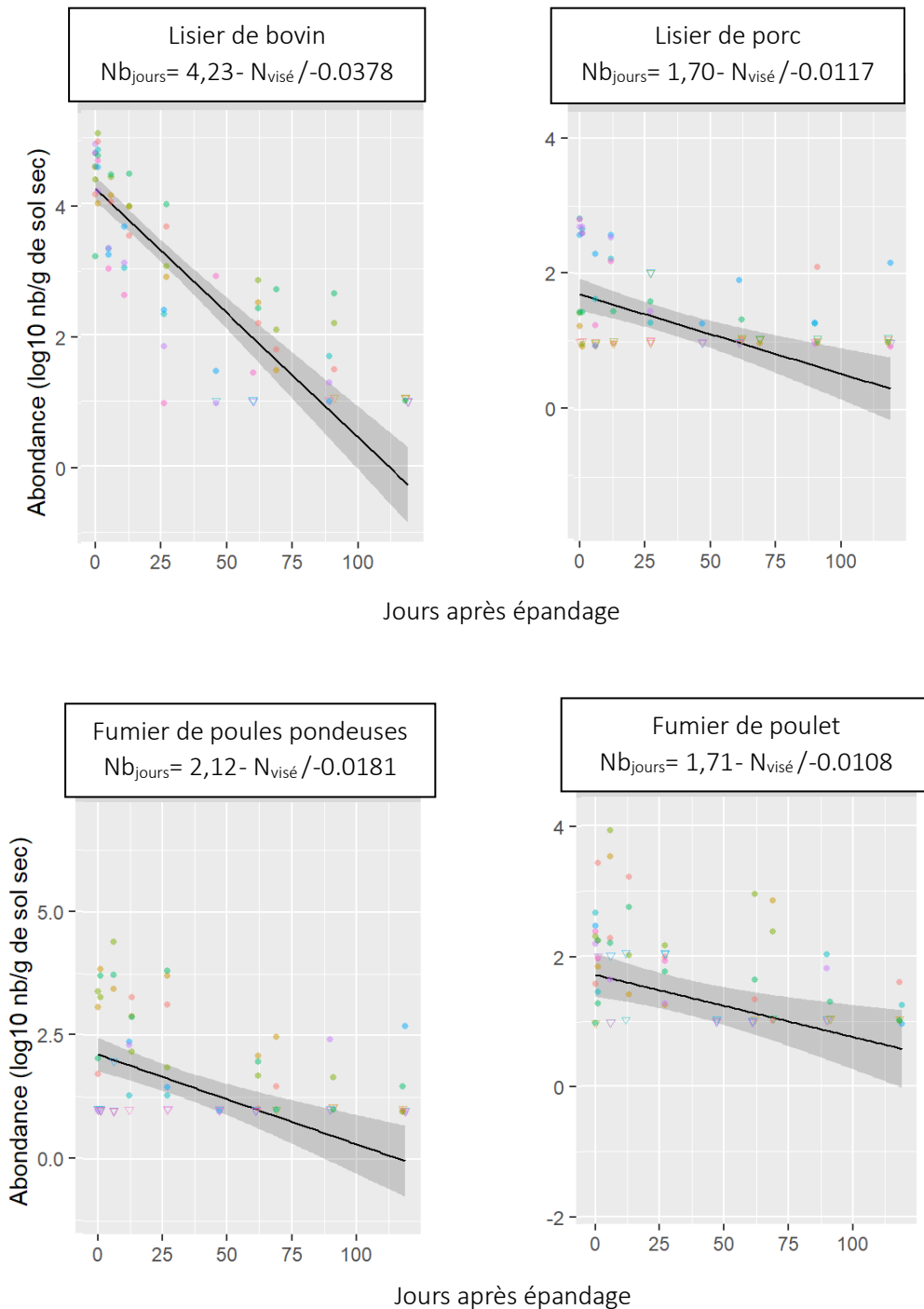


Figure 4. Décroissance d'*E. coli* dans le sol au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon le type d'engrais organique.

Tableau 20. Nombre de jours requis pour atteindre 100 UFC/g d'*E. coli* dans le sol au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville.

Type d'engrais organique	Nombre de jours pour atteindre 100 UFC/g de sol d' <i>E. coli</i>
Lisier de bovin	59
Lisier de porc	0*
Fumier de poules pondeuses	7
Fumier de poulet	0*

*Note. Un délai de 0 jours signifie que les populations dans le sol étaient déjà sous le seuil visé tout de suite après l'épandage.

Aucun échantillon de sol n'a été trouvé positif à la salmonelle dans le site en loam sableux (320 échantillons).

4.4.3 Discussion

Les constantes de décroissance des populations d'*E. coli* dans le sol mesurées dans ce projet ont varié entre 0.0108 et 0.0437 et ce, tous types d'engrais organiques et sites confondus. Des travaux antérieurs réalisés par l'équipe de recherche de l'IRDA sur la persistance d'*E. coli* suite à l'épandage de différentes doses de lisier de porc dans une culture de mini concombres ont rapporté des constantes de décroissance variant entre 0.038 à 0.063 (intervalle de confiance à 95 % = 0.017 à 0.087).¹¹ Les taux de décroissance mesurés dans le présent projet sont donc comparables à ce qui avait été mesuré dans l'étude antérieure. Peu d'études portant sur ce sujet ont été réalisées dans les conditions du Québec, et dans le monde d'ailleurs, rendant difficile la comparaison avec d'autres résultats publiés.

Le nombre de jours requis pour atteindre 100 UFC/g de sol d'*E. coli*, référant au maximum pouvant être retrouvé dans les denrées sèches au Québec, à défaut d'avoir une référence pour les grains bruts, a varié entre 0 et 77 jours et ce, tous types d'engrais organiques et sites confondus. Selon les équations publiées dans l'étude de Côté et Quessy (2005), les délais pour atteindre 100 UFC/g de sol suite à des épandages de lisier de porc ont varié entre 40 et 51 jours. La persistance maximale des salmonelles avait été de 54 jours, alors qu'elle a été de 119 jours dans un des scénarios étudiés dans le présent projet. Bien que le sérotype trouvé dans le sol soit le même que celui retrouvé dans le lisier de bovin, il reste toutefois à faire le séquençage de l'ADN des souches bactériennes, afin de confirmer la source de contamination.

4.5 PRÉSENCE D'*E. COLI* ET DE *SALMONELLA SPP.* SUR LA PAILLE

Sur un total de 120 échantillons de paille analysés (20 parcelles par site X 3 sites X 2 ans), 15 échantillons de paille ont été trouvés contaminés par la bactérie *E. coli*, à des niveaux variant de 10 à 8 313 UFC/g (base sèche). La description de ces 15 échantillons est présentée aux Tableaux 21 à 23. Bien que ce ne soit pas toujours le cas, des *E. coli* ont aussi été dénombrées dans le sol lorsque la paille était contaminée. Les échantillons de paille issus du site en loam sableux à St-Bruno-de-Montarville présentant 3 905 et 8 313 UFC/g n'étaient par contre pas associés à des contenus élevés dans le sol, soit 711 et 37 UFC/g de sol, respectivement. Il faut mentionner qu'aucune verse n'a été observée lors des récoltes réalisées dans ce projet. La contamination de la paille ne peut donc pas être liée à la présence de particules de sol dans les échantillons, à moins que la pluie n'ait propulsé celles-ci. Il est aussi possible que des animaux de la faune, notamment des oiseaux, aient été la source de la contamination.

Tableau 21. Description des échantillons où des populations d'*E. coli* ont été dénombrées dans la paille à la récolte à St-Lambert-de-Lauzon selon l'année de production.

Engrais organique appliqué	Année de production	Répétition	Contenu en <i>E. coli</i> dans la paille (UFC/g) (base sèche)
Témoin sans engrais	2023	4	11
Lisier de bovin laitier	2024	1	185
Lisier de bovin laitier	2024	2	71

¹¹ Côté, C., & Quessy, S. (2005). Persistence of *Escherichia coli* and *Salmonella* in surface soil following application of liquid hog manure for production of pickling cucumbers. *Journal of food protection*, 68(5), 900-905.

Tableau 22. Description des échantillons où des populations d'*E. coli* ont été dénombrées dans la paille à la récolte au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.

Engrais organique appliqué	Année de production	Répétition	Contenu en <i>E. coli</i> dans la paille (UFC/g) (base sèche)
Lisier de bovin laitier	2023	1	84
Lisier de porc	2023	2	17
Fumier de poules pondeuses	2023	2	182
Fumier de poulet à griller	2023	2	3 905
Lisier de bovin laitier	2023	4	664
Fumier de poulet à griller	2023	4	300
Lisier de porc	2024	2	10
Lisier de porc	2024	3	20
Témoin sans engrais	2024	3	8 313
Lisier de porc	2024	4	40

Note. Le chiffre en rouge montre que l'échantillon de grains de la même parcelle était aussi contaminé au *E. coli*.

Tableau 23. Description des échantillons où des populations d'*E. coli* ont été dénombrées dans la paille à la récolte au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.

Engrais organique appliqué	Année de production	Répétition	Contenu en <i>E. coli</i> dans la paille (UFC/g) (base sèche)
Fumier de poules pondeuses	2023	4	12
Lisier de porc	2024	3	13

Dans l'ensemble, des bactéries *E. coli* ont été dénombrées dans 12,5 % des échantillons de paille, et les hauts niveaux détectés dans certains échantillons ne sont pas liés aux épandages ayant eu lieu dans ces parcelles, soit parce qu'il s'agissait d'un témoin sans épandage, soit parce que les populations dans le sol au même moment étaient plus basses que celles dans la paille, laissant présager une contamination externe.

Finalement, les salmonelles n'ont jamais été détectées dans les échantillons de paille (n=120).

des meuneries aux États-Unis. Dans la présente étude, des prévalences de 5 et 0 % d'*E. coli* et de salmonelles ont été observées, respectivement.

Dans une revue présentant les sources potentielles de contamination des grains par des bactéries d'origine fécale avant et après la récolte, Prakash et al. (2024) ont rapporté que la présence d'animaux, l'eau d'irrigation, le sol et les fumiers étaient les principales sources avant la récolte. Les auteurs mentionnent d'ailleurs que la présence de bactéries entériques dans le sol influence la qualité microbiologique du grain, mais que davantage d'études sont nécessaires pour comprendre les phénomènes liés à une contamination potentielle.

Ensuite, au cours du processus de transformation, d'autres facteurs entrent en ligne de compte, notamment la présence de vermine, les mauvaises conditions d'entreposage, ainsi que des équipements mal désinfectés¹⁵. Bien que la faible humidité de la farine restreigne la croissance microbienne, des microorganismes en dormance et des spores peuvent persister sur de longues périodes¹⁶. Dans des grains de blé bruts entreposés à température ambiante à la meunerie, Lauer et al. (2021) ont rapporté une persistance de 44 et 52 semaines pour des souches pathogènes d'*E. coli* et des salmonelles, respectivement¹⁷. Il s'agissait par contre d'une étude réalisée en conditions contrôlées de laboratoire, où les grains avaient été inoculés avec différentes souches bactériennes à un taux d'environ 1 000 000 UFC/g, un niveau de contamination peu probable en conditions réelles au champ. Dans le même ordre d'idées, Rivera et al. (2022)¹⁸ ont comparé le niveau d'*E. coli* dans des farines produites à partir de grains contaminés dans des installations propres ou à partir de grains propres dans des installations contaminées. Les farines les plus contaminées étaient celles produites à partir de grains contaminés, mais encore une fois, des niveaux de 1 000 et 1 000 000 UFC/g ont été inoculés artificiellement dans les grains.

¹⁵ Prakash S.D. et al., 2024. From wheat grain to flour: a review of potential sources of enteric pathogen contamination in wheat milled products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-11.

¹⁶ Magallanes López, A. M., et S. Simsek. 2021. Pathogens control on wheat and wheat flour: A review. *Cereal Chemistry*, 98(1), 17-30.

¹⁷ Lauer, J. R., Simsek, S., & Bergholz, T. M. (2021). Fate of Salmonella and enterohemorrhagic Escherichia coli on wheat grain. *Journal of Food Protection*, 84(12), 2109-2115.

¹⁸ Rivera, J. et al., 2022. Significance of wheat milling operations on the distribution of *Escherichia coli* bacterium into milling fractions. *Cereal Chemistry*, 99(5), 1137-1153.

4.7 RENDEMENTS EN GRAINS ET BIOMASSE VÉGÉTALE

4.7.1 St-Lambert-de-Lauzon

Tous traitements confondus, les rendements en grains, rapportés à 15 % d'humidité, ont varié de 2 835 à 4 472 kg/ha en 2023 et de 3 560 à 4 907 kg/ha en 2024. La Figure 5 présente les rendements moyens calculés pour les quatre répétitions selon l'année. Pour les deux ans, le traitement avec le fumier de bovin a généré les plus hauts rendements. Tel qu'attendu, le témoin non fertilisé a généré les rendements les plus faibles pour les deux ans.

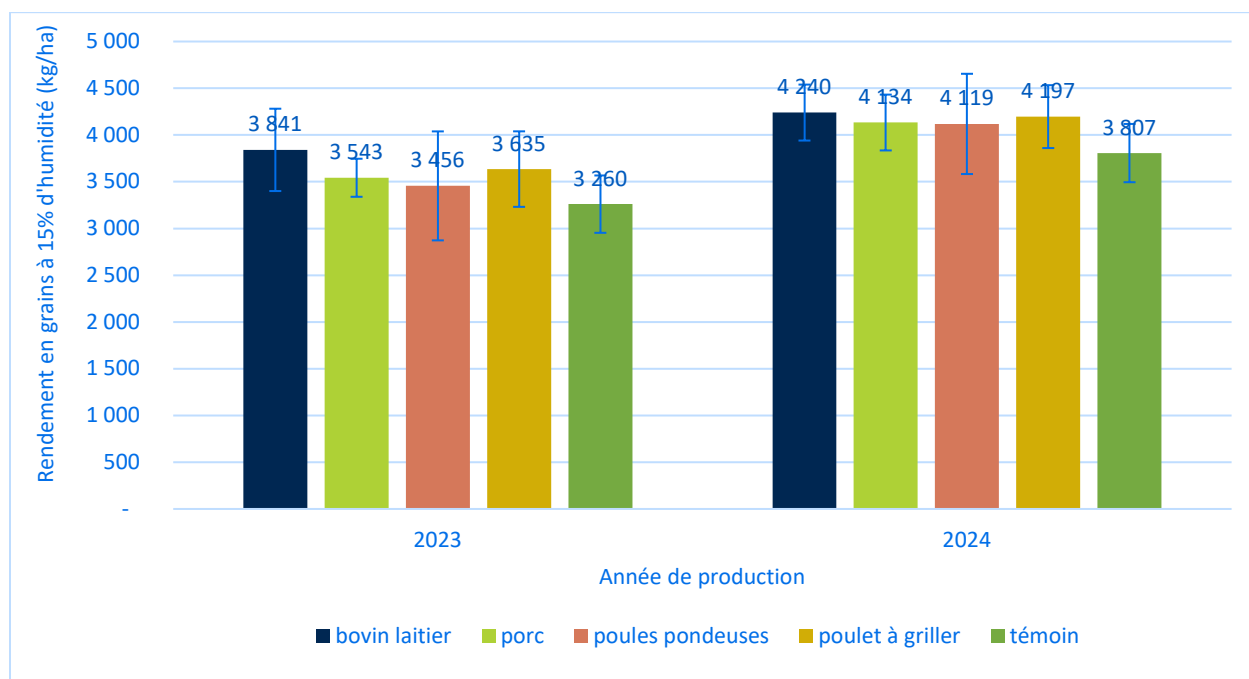


Figure 5. Rendements en grains de blé rapportés à 15 % d'humidité au site de St-Lambert-de-Lauzon selon le fertilisant organique et l'année de production. Les barres d'erreur représentent l'écart-type.

Les biomasses de paille, rapportées sur une base sèche, ont varié de 3 825 à 6 662 kg/ha en 2023 et de 3 334 à 6 138 kg/ha en 2024. La Figure 6 présente les rendements moyens calculés pour les quatre répétitions selon l'année. En 2023, les biomasses de paille n'ont pas suivi la même tendance que les rendements en grains, c'est-à-dire que le fumier de bovin n'a pas généré les plus hautes biomasses sèches de paille. En 2024, le même ordre a cependant été observé.

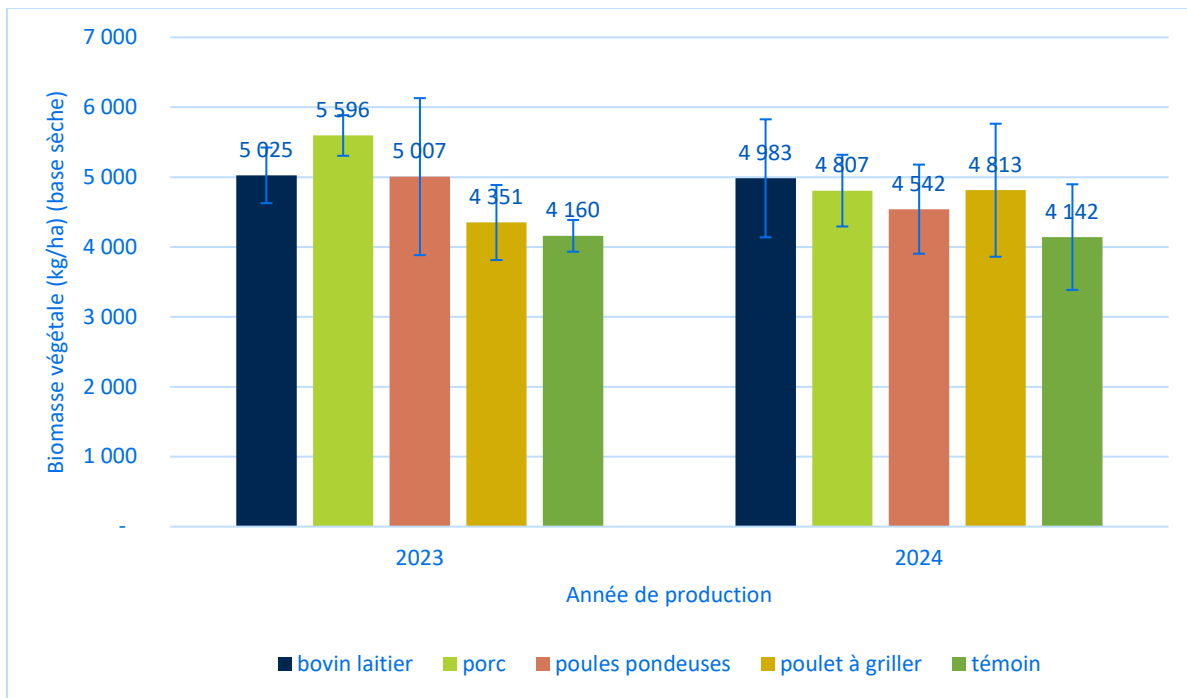


Figure 6. Biomasse végétale de paille rapportée en base sèche au site de St-Lambert-de-Lauzon selon l'année de production.

Afin d'expliquer en partie ces résultats, il est intéressant de vérifier quels apports en éléments fertilisants ont été faits dans les parcelles. Les Tableaux précédents 4 et 5 ont présenté ces résultats. Il est nécessaire de rappeler que les doses appliquées visaient à combler 100 % des besoins du blé en azote disponible. Pour 2023, la plus haute dose d'azote disponible appliquée (poulet à griller) n'a pas généré les rendements en grains (le plus élevé = bovin laitier) ni la biomasse de paille (le plus élevé = porc) les plus élevés. Par contre, il est intéressant de noter que les apports en azote total et en potassium (K_2O) ont suivi la même tendance que les rendements en grains. L'ensemble des éléments fertilisants doit être considéré dans la productivité des systèmes agricoles. Cette analyse ne faisant pas partie du projet, seules les principales tendances sont rapportées dans ce rapport.

4.7.2 St-Bruno-de-Montarville

4.7.2.1 Argile lourde

Tous traitements confondus, les rendements en grains, rapportés à 15 % d'humidité, ont varié de 3 513 à 5 085 kg/ha en 2023 et de 4 567 à 6 698 kg/ha en 2024. La Figure 7 présente les rendements moyens calculés pour les quatre répétitions selon l'année.

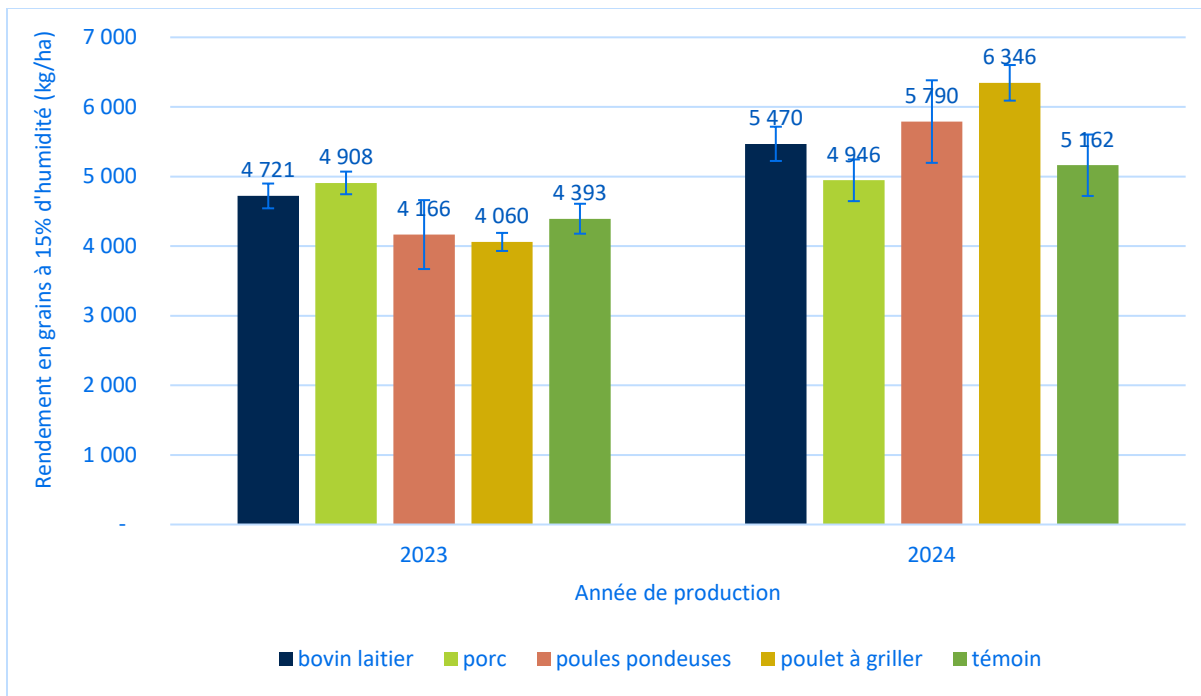


Figure 7. Rendements en grains de blé rapportés à 15 % d’humidité au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon l’année de production.

Les biomasses de paille, rapportées sur une base sèche, ont varié de 3 305 à 5 451 kg/ha en 2023 et de 8 208 à 12 033 kg/ha en 2024. La Figure 8 présente les rendements moyens calculés pour les quatre répétitions selon l’année.

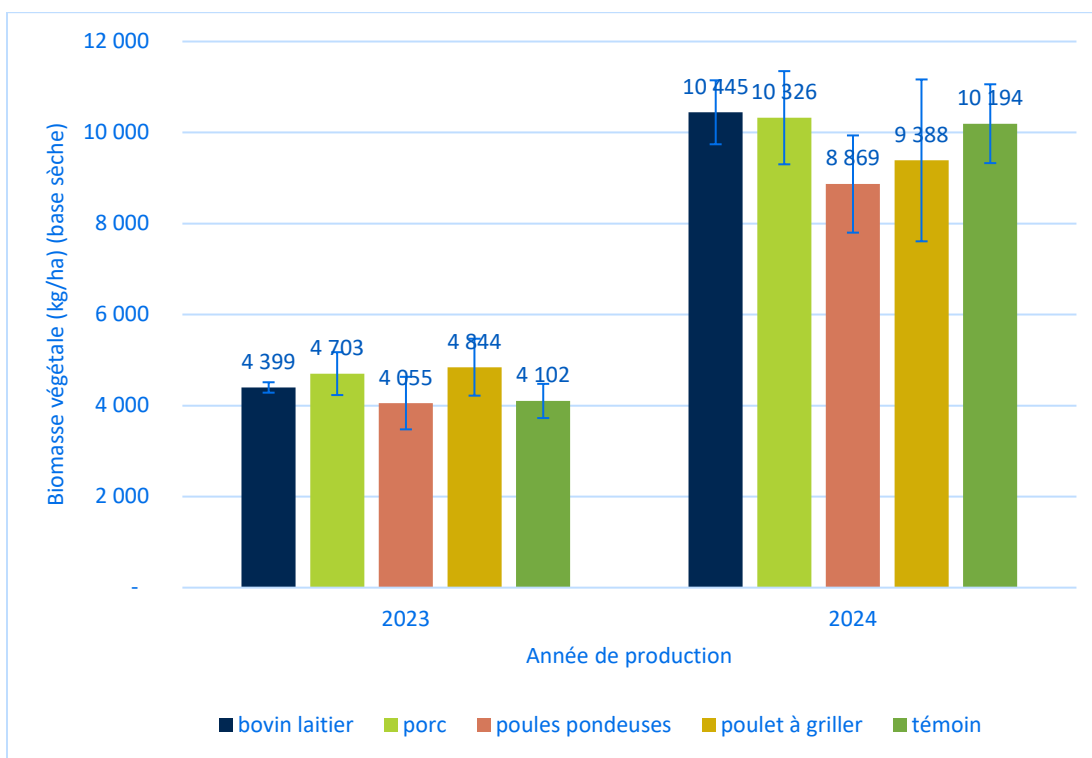


Figure 8. Biomasse végétale de paille rapportée en base sèche au site en argile lourde de St-Bruno-de-Montarville selon l’année de production.

Comparativement au site de St-Lambert-de-Lauzon où certains liens pouvaient être faits entre les rendements en grains, la biomasse en paille et les apports en éléments fertilisants, les tendances sont moins claires pour le site en argile lourde de

St-Bruno-de-Montarville. En effet, bien que dans certaines situations les plus hauts apports en azote, phosphore ou en potassium aient généré les plus hauts rendements ou biomasse végétale, les tendances ne sont pas assez solides pour en discuter davantage. Cette situation met encore une fois en lumière le fait que des paramètres autres que la fertilisation influencent la productivité des systèmes agricoles.

4.7.2.2 Loam sableux

Tous traitements confondus, les rendements en grains, rapportés à 15 % d'humidité, ont varié de 2 506 à 4 311 kg/ha en 2023 et de 1 605 à 4 175 kg/ha en 2024. La Figure 9 présente les rendements moyens calculés pour les quatre répétitions selon l'année de production.

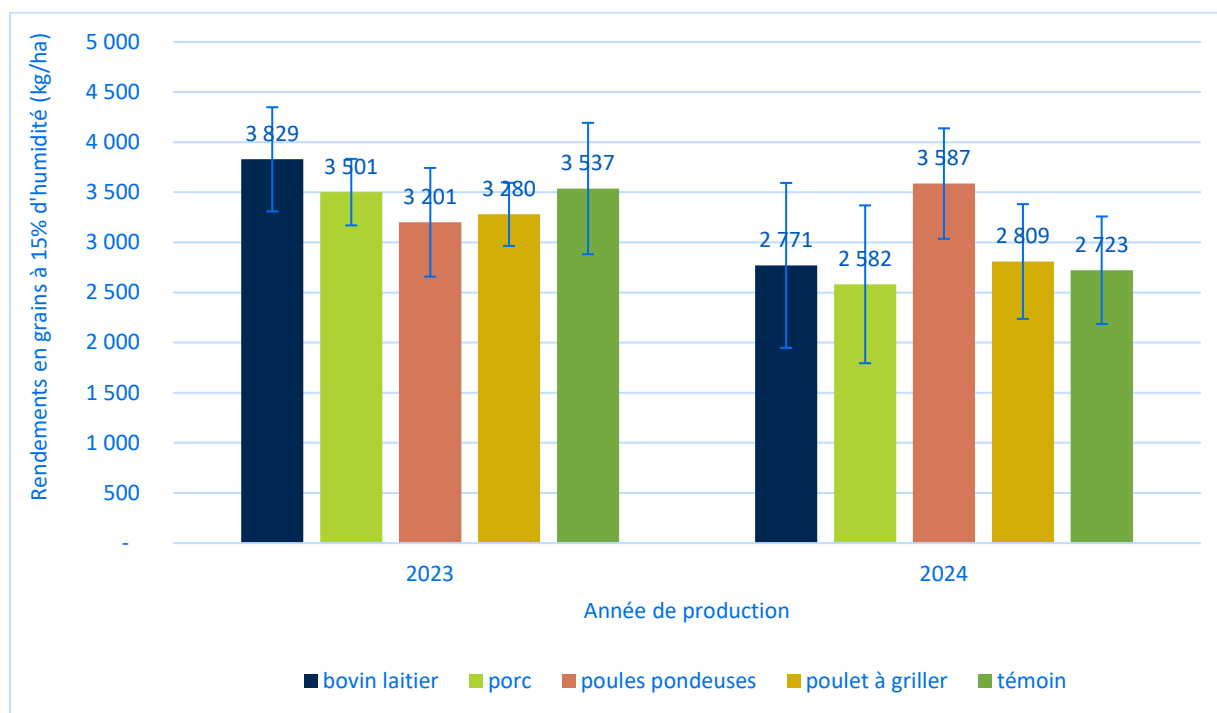


Figure 9. Rendements en grains de blé rapportés à 15 % d'humidité au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon l'année de production.

Les biomasses de paille, rapportées sur une base sèche, ont varié de 2 005 à 6 204 kg/ha en 2023 et de 4 551 à 10 558 kg/ha en 2024. La Figure 10 présente les rendements moyens calculés pour les quatre répétitions selon l'année. À l'instar du site en argile lourde, les résultats de biomasses de paille n'ont pas suivi la même tendance que les rendements en grains.

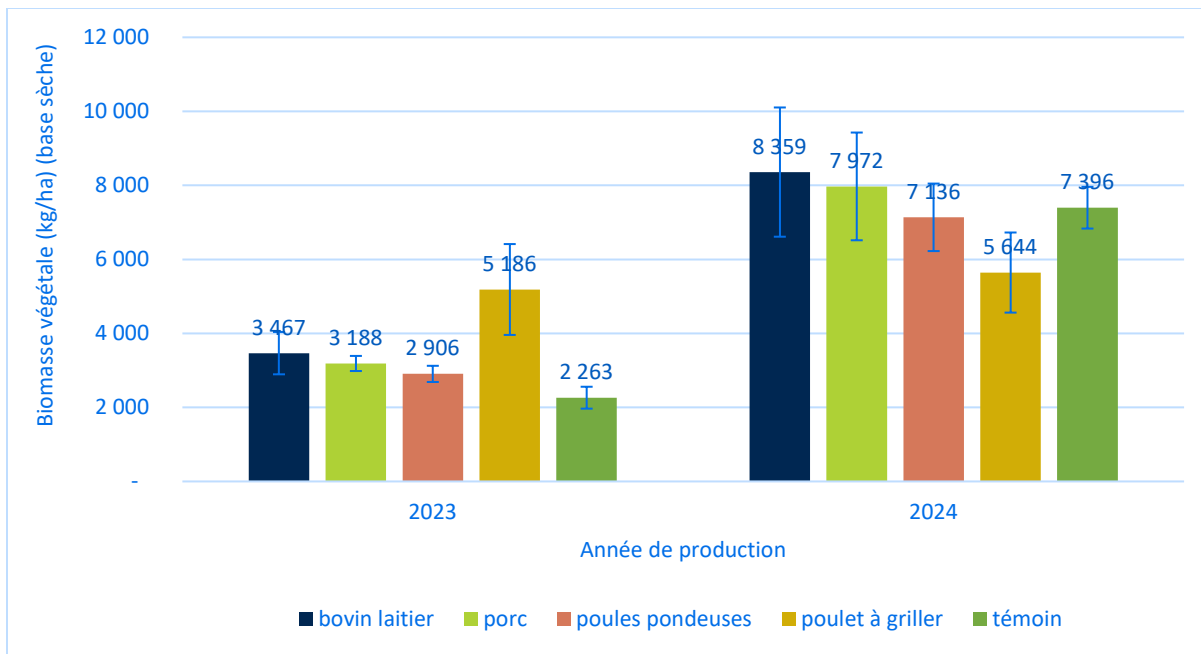


Figure 10. Biomasse végétale de paille rapportée en base sèche au site en loam sableux de St-Bruno-de-Montarville selon l’année de production.

En 2023, les apports en éléments fertilisants ont eu un impact sur la biomasse de paille, le même ordre ayant été observé entre tous les éléments (N-P-K) et les biomasses observées. La même tendance n’a pas été observée pour les rendements en grains. Il est intéressant de constater que pour ce site, le témoin sans fertilisation a généré en 2023 le 2^e plus haut rendement en grains, renforçant l’hypothèse que les éléments fertilisants ne sont pas les seuls garants de bons rendements. Le précédent cultural et la météo font partie des multiples paramètres qui influencent la productivité.

4.7.3 Discussion

Bien que l’objectif du projet n’était pas de mesurer l’impact des engrais organiques sur le rendement en blé ou la biomasse en paille, la mise en place des parcelles expérimentales a permis de prendre des données sur des aspects agronomiques importants pour les entreprises agricoles. En effet, il était intéressant de voir l’impact de l’application des différents engrais organiques sur la productivité des systèmes et ce, dans un contexte où l’épandage s’est fait tardivement en saison. Effectivement, la fertilisation a été réalisée dans un scénario où le risque microbiologique était le plus élevé mais ce, en nuisant peut-être aux rendements, puisque les apports en fumiers n’ont peut-être pas été synchronisés avec les besoins de la plante. Malgré cela, à part le site en loam sableux en 2024, les rendements ont toujours été au-delà des valeurs de référence pour le programme d’assurance-récolte de la Financière agricole du Québec¹⁹.

Puisque le but de ce projet était d’analyser le risque microbiologique, l’impact de la date d’épandage sur les rendements du grain et la qualité de celui-ci reste à préciser. La date d’épandage des fumiers a un impact sur la disponibilité des éléments nutritifs et la synchronisation de cette dernière avec les besoins de cultures.

¹⁹ FADQ, 2024. [La Financière agricole du Québec: Assurance récolte- Rendements de référence](https://www.fadq.org/assurances-recoltes/rendements-de-reference)

5 CONCLUSIONS

Les prochaines lignes résument les faits saillants de l'étude selon le type d'échantillon, suivi du bilan et des principaux messages à retenir.

Engrais organiques

La concentration en *E. coli* des engrais organiques a été très variable, particulièrement pour les fumiers de poules pondeuses et de poulet à griller. Le tableau suivant résume les données amassées pour les deux ans d'étude.

Résumé des statistiques descriptives des concentrations en *E. coli* mesurées dans les engrais organiques, tous sites et années confondus.

	Moyenne (UFC/g)	Écart-type (UFC/g)	Médiane (UFC/g)	Minimum (UFC/g)	Maximum (UFC/g)
Lisier de bovin	550 789	249 872	536 832	86 972	908 182
Lisier de porc	69 036	79 107	48 689	9 721	248 031
Fumier de poules pondeuses	33 232 495	41 868 019	9 433 497	49	116 117 260
Fumier de poulet	512 353	1 260 068	7 307	< 10*	4 117 260

*sous la limite de détection de la méthode, soit 10 UFC/g.

Sol

Les tableaux suivants résument les équations permettant d'estimer le délai requis pour atteindre un certain seuil d'*E. coli* dans le sol, ainsi que le nombre de jours requis pour atteindre 100 UFC/g d'*E. coli* dans le sol selon le site et le type d'engrais organique.

Résumé des équations décrivant la décroissance des populations d'*E. coli* dans le sol.

	St-Bruno-de-Montarville Argile lourde	St-Bruno-de-Montarville Loam sableux	St-Lambert-de-Lauzon Loam argileux
Lisier de bovin	$N_{\text{jours}} = 4,19 - N_{\text{visé}} / -0.0355$	$N_{\text{jours}} = 4,23 - N_{\text{visé}} / -0.0378$	$N_{\text{jours}} = 4,27 - N_{\text{visé}} / -0.0294$
Lisier de porc	$N_{\text{jours}} = 1,96 - N_{\text{visé}} / -0.0181$	$N_{\text{jours}} = 1,70 - N_{\text{visé}} / -0.0117$	$N_{\text{jours}} = 3,50 - N_{\text{visé}} / -0.0383$
Fumier de poules pondeuses	$N_{\text{jours}} = 3,00 - N_{\text{visé}} / -0.0284$	$N_{\text{jours}} = 2,12 - N_{\text{visé}} / -0.0181$	$N_{\text{jours}} = 5,04 - N_{\text{visé}} / -0.0437$
Fumier de poulet	$N_{\text{jours}} = 2,18 - N_{\text{visé}} / -0.0221$	$N_{\text{jours}} = 1,71 - N_{\text{visé}} / -0.0108$	$N_{\text{jours}} = 1,54 - N_{\text{visé}} / -0.0180$

Résumé des délais requis pour atteindre 100 UFC/g d'*E. coli* dans le sol.

	St-Bruno-de-Montarville Argile lourde	St-Bruno-de-Montarville Loam sableux	St-Lambert-de-Lauzon Loam argileux
Lisier de bovin	62 jours	59 jours	77 jours
Lisier de porc	0 jours	0 jours	39 jours
Fumier de poules pondeuses	35 jours	7 jours	70 jours
Fumier de poulet	8 jours	0 jours	0 jours

*Note. Un délai de 0 jours signifie que les populations dans le sol étaient déjà sous le seuil visé tout de suite après l'épandage.

Paille

Dans l'ensemble, des bactéries *E. coli* ont été dénombrées dans 12,5 % des échantillons de paille (n=120), et les hauts niveaux détectés dans certains échantillons ne sont pas liés aux épandages ayant eu lieu dans ces parcelles, soit parce qu'il s'agissait d'un témoin sans épandage, soit parce que les populations dans le sol au même moment étaient plus basses que celles dans la paille, laissant présager une contamination externe.

Finalement, les salmonelles n'ont jamais été détectées dans les échantillons de paille (n=120).

Grain

Sur 120 échantillons de grains analysés, des bactéries *E. coli* ont été dénombrées dans six échantillons, correspondant à une prévalence de 5 %. Ces échantillons ont été prélevés 66 et 68 jours après l'épandage en 2023. Les grains prélevés en 2024, récoltés 50 et 54 jours après l'épandage, n'ont pas présenté de bactéries *E. coli*. Aucun échantillon de grains n'a été positif à la salmonelle. Au final, aucun lien n'a été établi entre la contamination des grains et l'épandage, soit parce que les grains contaminés étaient issus de parcelles témoin ou que le contenu du sol et de la paille étaient plus faibles que dans les grains au même moment.

BILAN

Aucun lien n'a été établi entre l'épandage printanier de lisier de porc, lisier de bovin, fumier de poules pondeuses ou fumier de poulet à griller non traités et la contamination du grain de blé d'automne destiné à l'alimentation humaine et ce, pour des épandages réalisés 66 et 68 jours précédant la récolte en 2023 et 50 et 54 jours en 2024.

Plus la quantité de microorganismes indicateurs (*E. coli*) appliquée lors de l'épandage est élevée, plus la persistance de ceux-ci dans le sol est grande.

La quantité de microorganismes indicateurs (*E. coli*) appliquée au sol lors de l'épandage dépend principalement de la fraîcheur et du type de fumier. Plus le fumier/lisier est frais, plus il est susceptible de contenir une concentration élevée de microorganismes. La présence d'un substrat asséchant dans le fumier, tel que la ripe de bois, contribue généralement à réduire la charge bactérienne.

Dans le contexte de cette étude, le délai estimé pour atteindre une concentration d'*E. coli* de 100 UFC/g dans le sol se situe entre 7 et 70 jours pour du fumier de poules pondeuses frais d'un jour, entre 0 et 39 jours pour le lisier de porc de préfosse, entre 0 et 8 jours pour le fumier de poulet à griller avec ripe et entre 59 et 77 jours pour le lisier de bovin de préfosse. Il est à noter que les fumiers/lisiers utilisés dans le cadre de cette étude étaient très frais afin de représenter les situations les plus à risques pour statuer sur le délai requis entre l'épandage et la récolte. Il est à noter que le critère de 100 UFC/g est utilisé comme limite maximale d'*E. coli* au Québec pour les denrées sèches susceptibles d'être mangées crues.

Les résultats de cette étude indiquent qu'un délai de 68 jours entre l'épandage de fumier/lisier et la récolte du blé d'automne représente un risque minimal quant à la salubrité du grain. Il est suggéré d'éviter d'épandre des fumiers/lisiers très frais (moins d'une semaine d'entreposage) au printemps dans la culture du blé d'automne destiné à l'alimentation humaine.

De faibles concentrations de microorganismes potentiellement pathogènes ayant été détectées dans le sol au moment de la récolte pour certains traitements, il est suggéré, à titre préventif (ceci n'a pas été évalué dans le projet), de ne pas faucher et andainer le blé avant la récolte afin de réduire les risques de contact du grain avec le sol.



Annexe 1

Photos prises aux sites expérimentaux

St-Bruno-de-Montarville



Site en sol argileux (gauche) et en loam sableux (droite) à St-Bruno-de-Montarville - 10 novembre 2022.



Épandage du fumier de poulet à griller – 30 mai 2024.

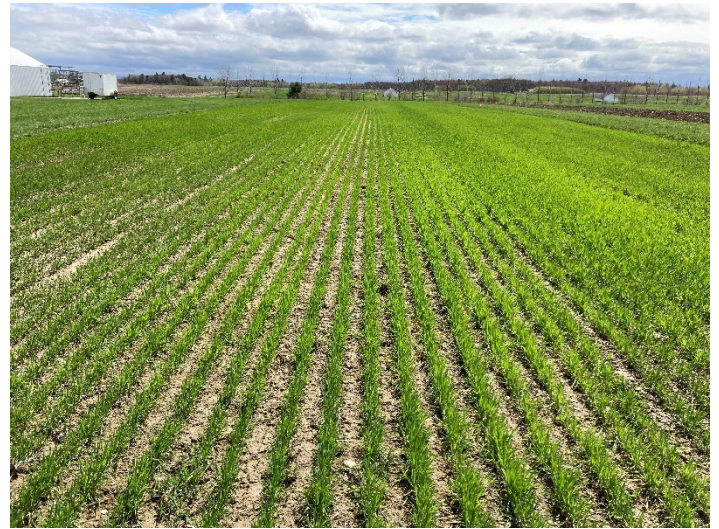


Échantillonnage des épis de blé – 18 juillet 2024.

St-Lambert-de-Lauzon



2 décembre 2022



9 mai 2024



Récolte du blé – 5 août 2024.



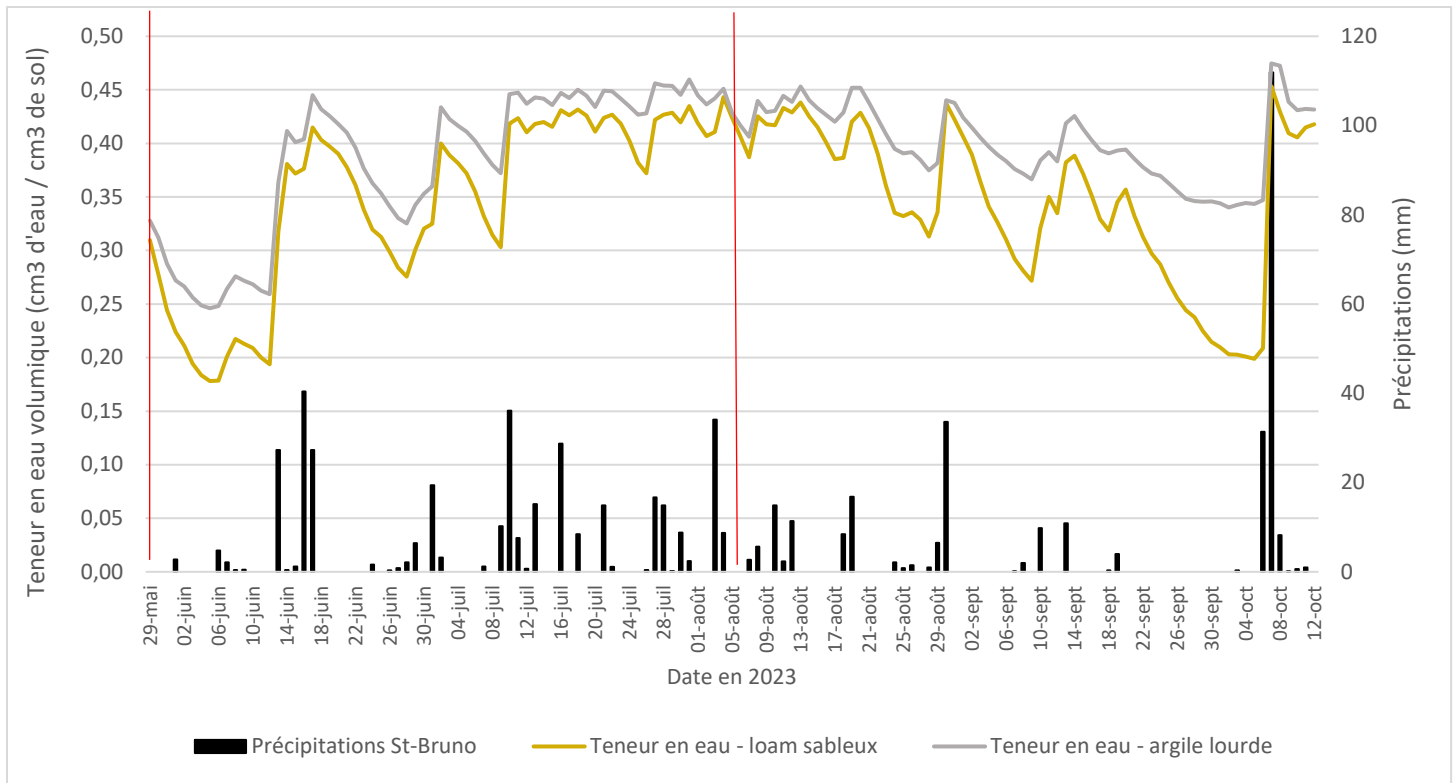
Mesure de la biomasse végétale – 5 août 2024



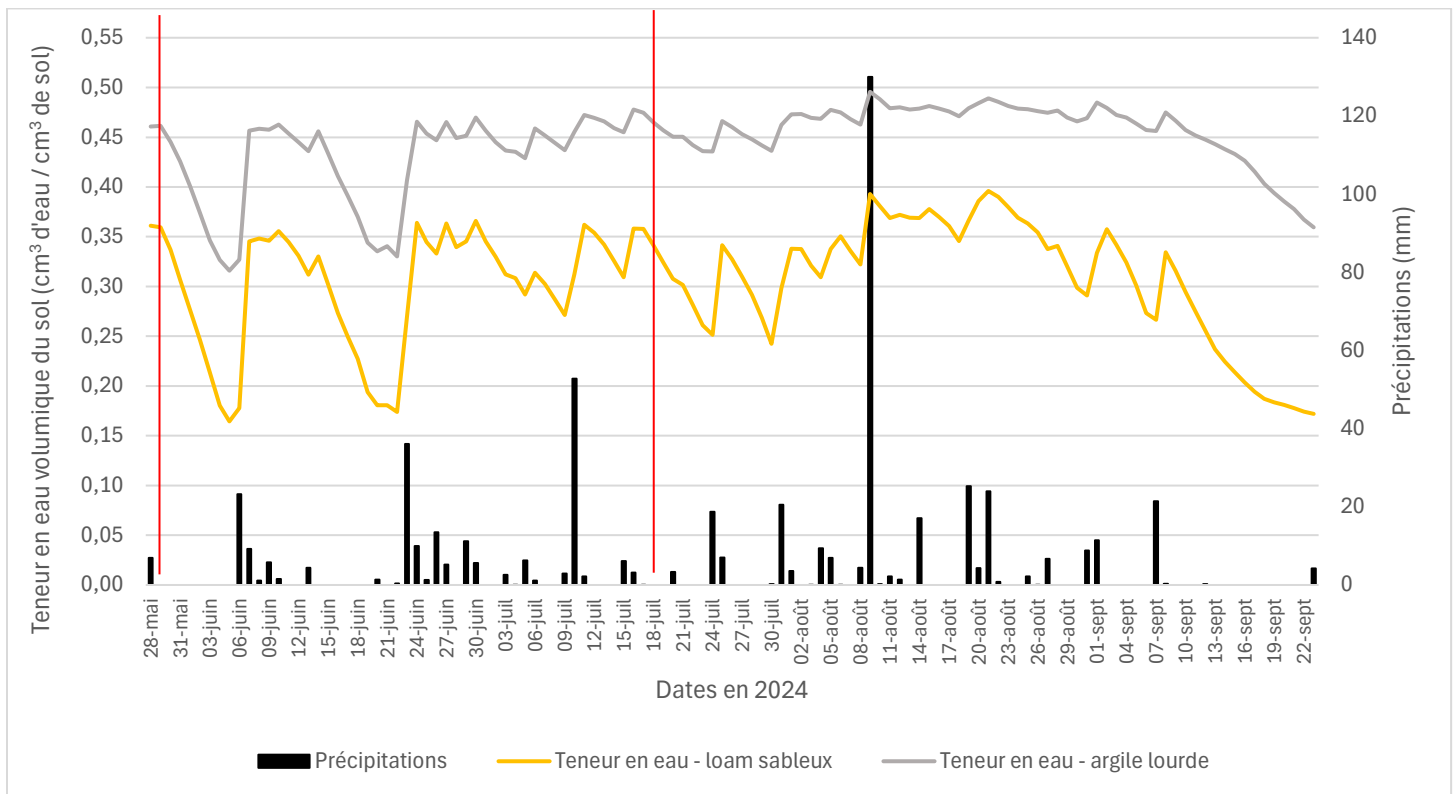
Annexe 2

Teneur en eau volumique du sol et précipitations selon
le site et l'année

St-Bruno-de-Montarville- 2023

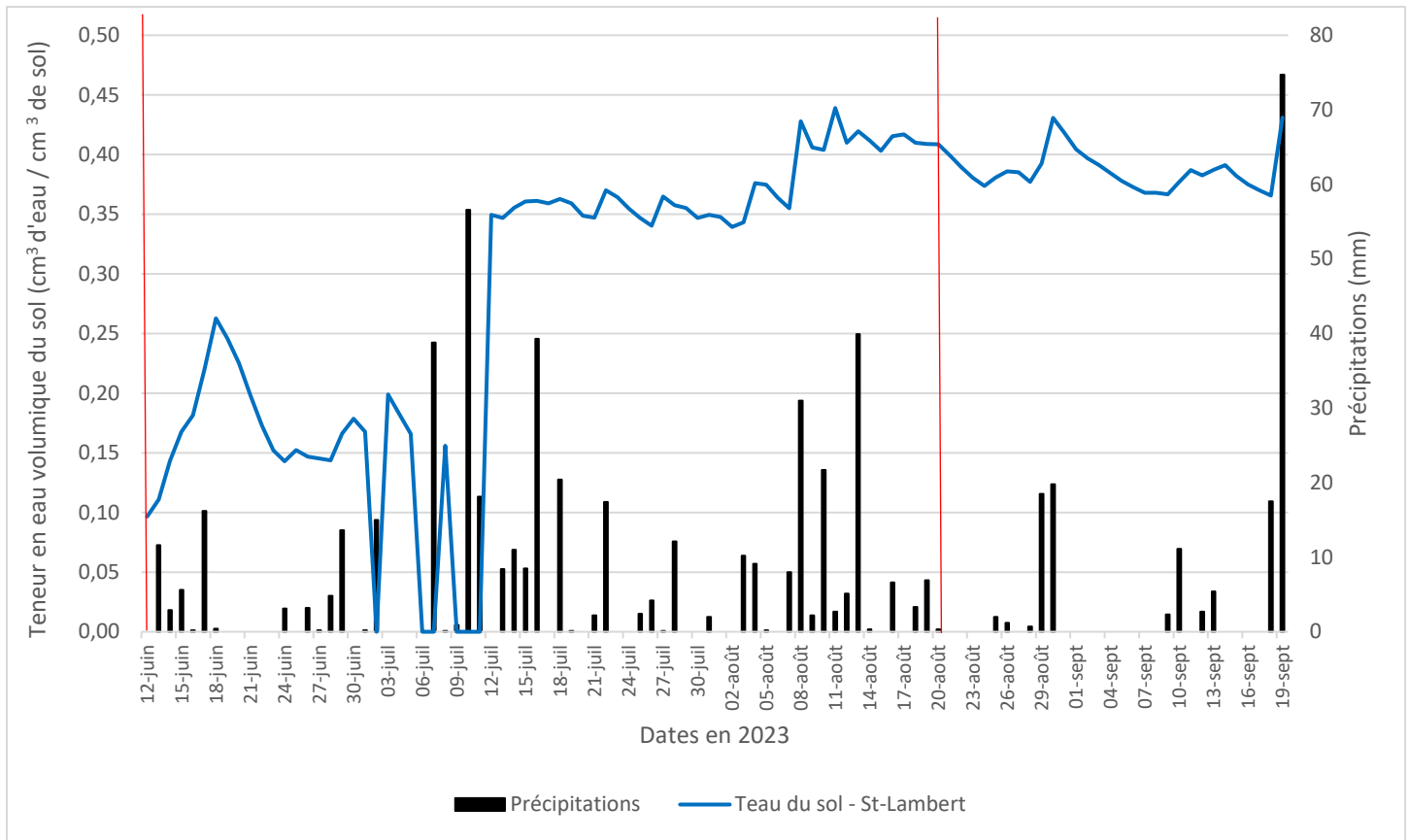


St-Bruno-de-Montarville – 2024

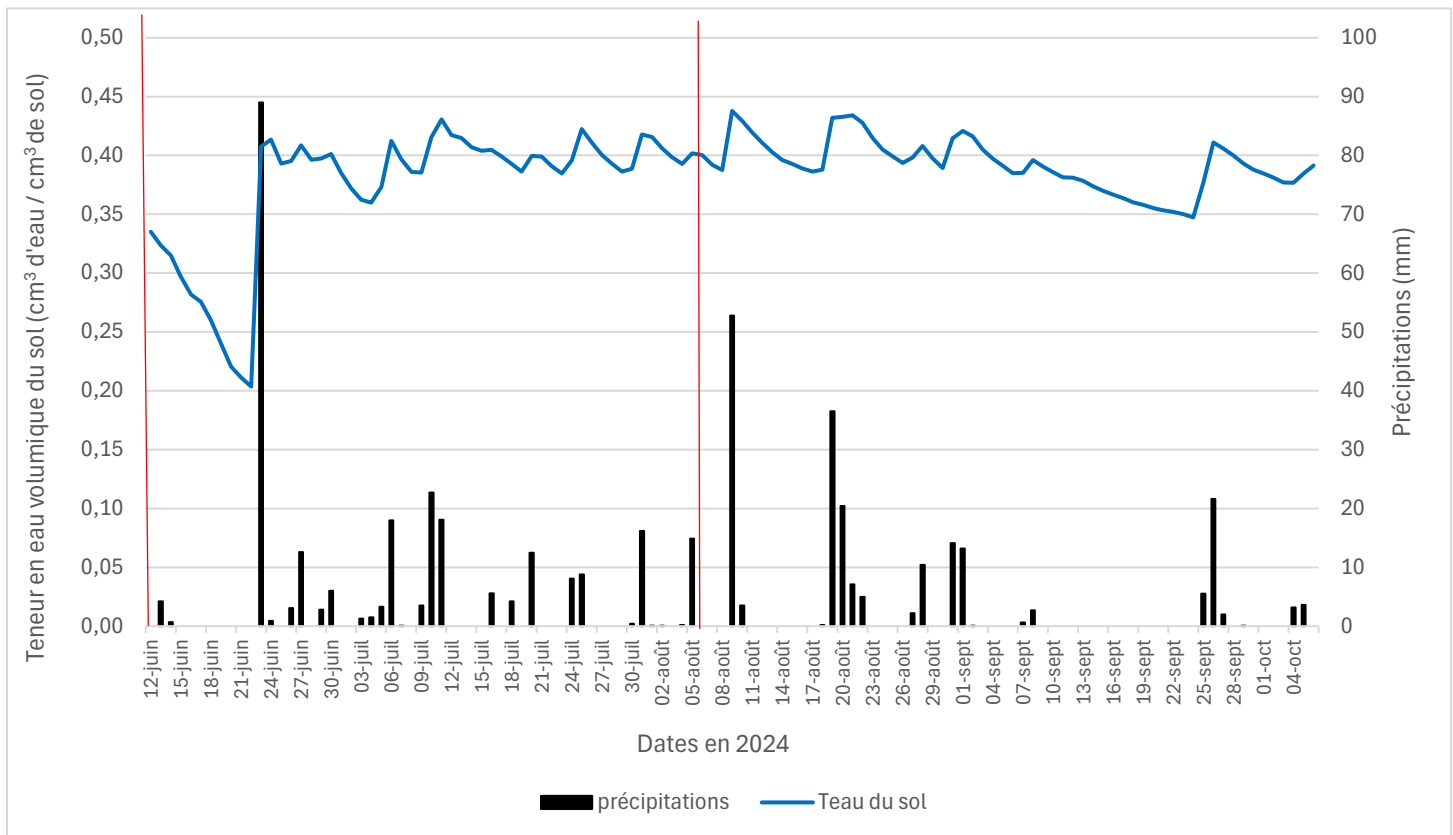


Note. Les barres verticales rouges représentent les dates d'épandage et de récolte des grains.

St-Lambert-de-Lauzon – 2023



St-Lambert-de-Lauzon – 2024



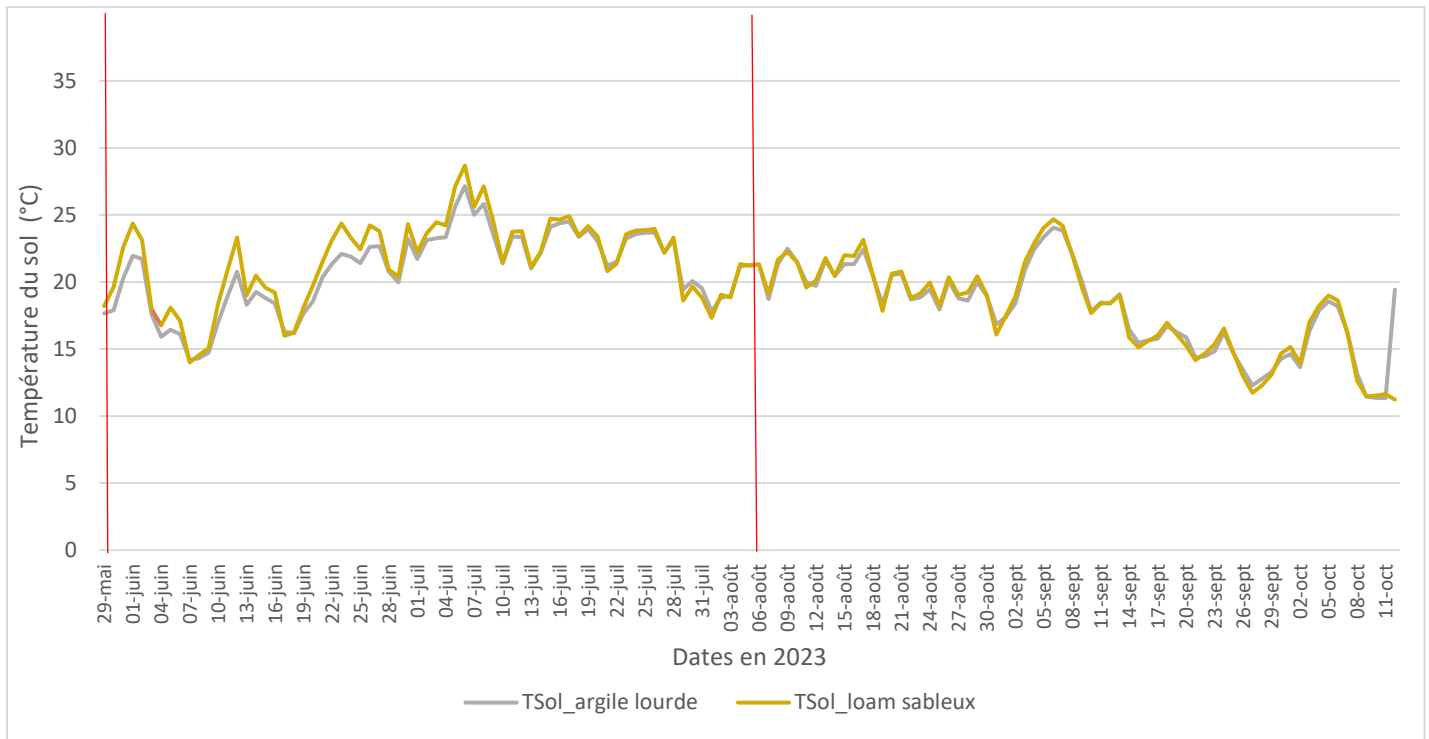
Note. Les barres verticales rouges représentent les dates d'épandage et de récolte des grains.



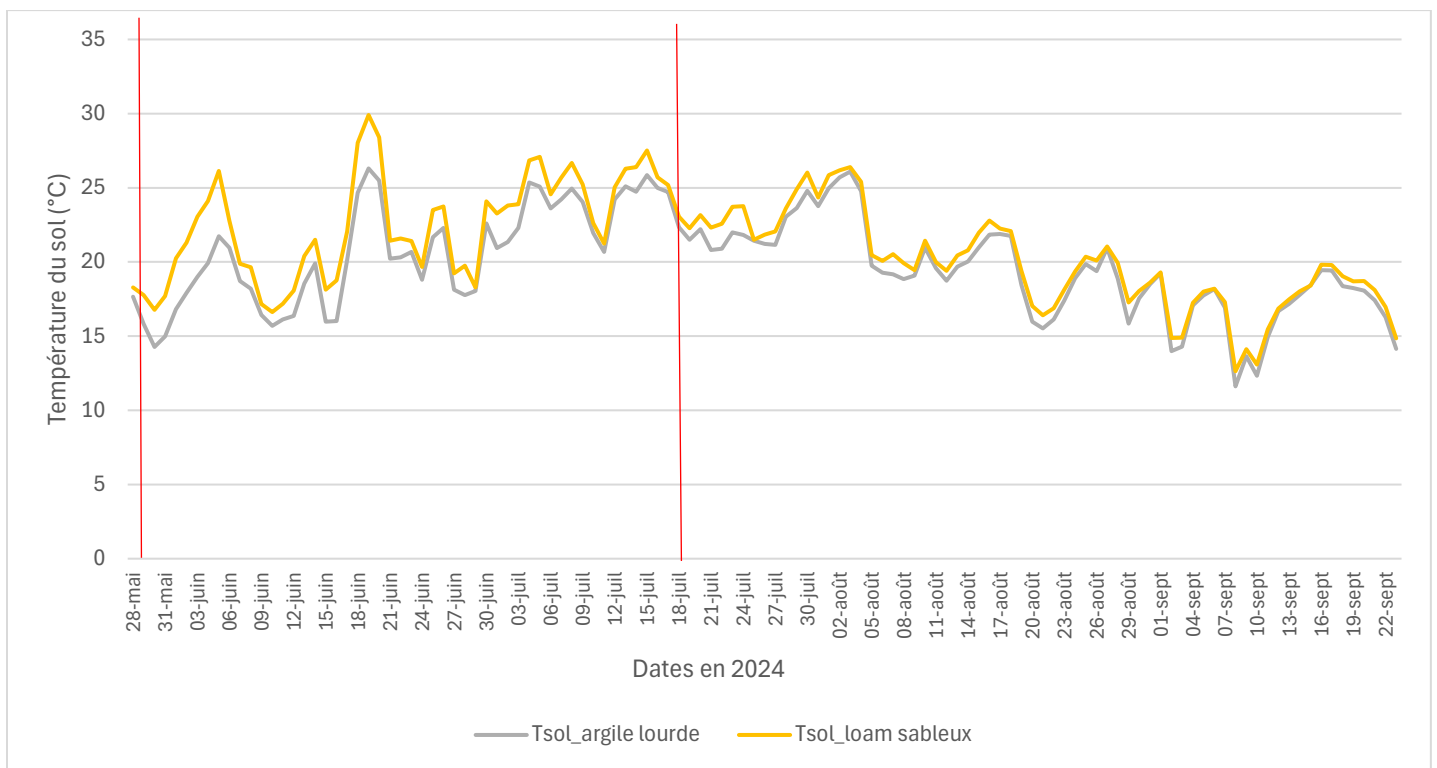
Annexe 3

Température du sol de surface (0-10 cm) selon le site et l'année

St-Bruno-de-Montarville- 2023

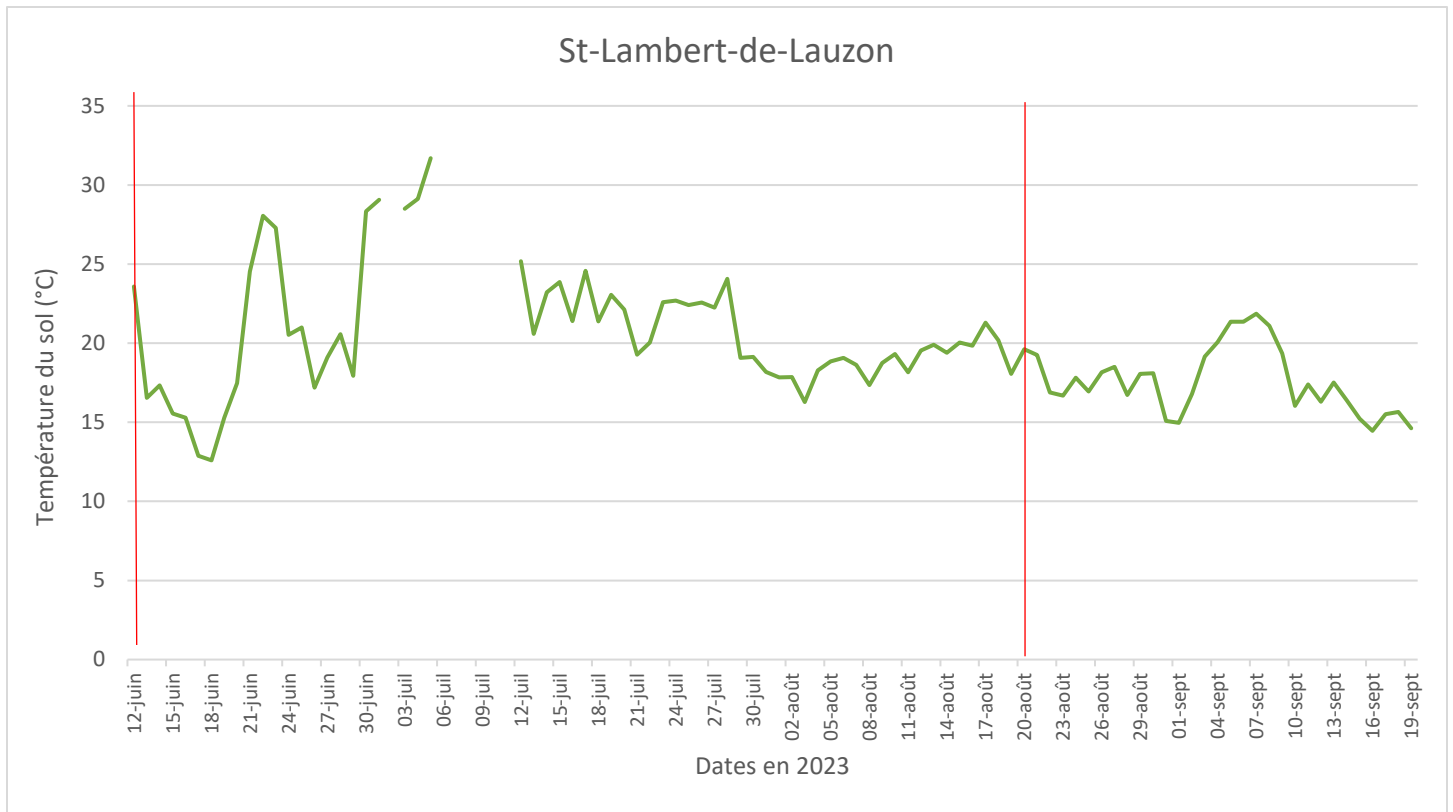


St-Bruno-de-Montarville- 2024

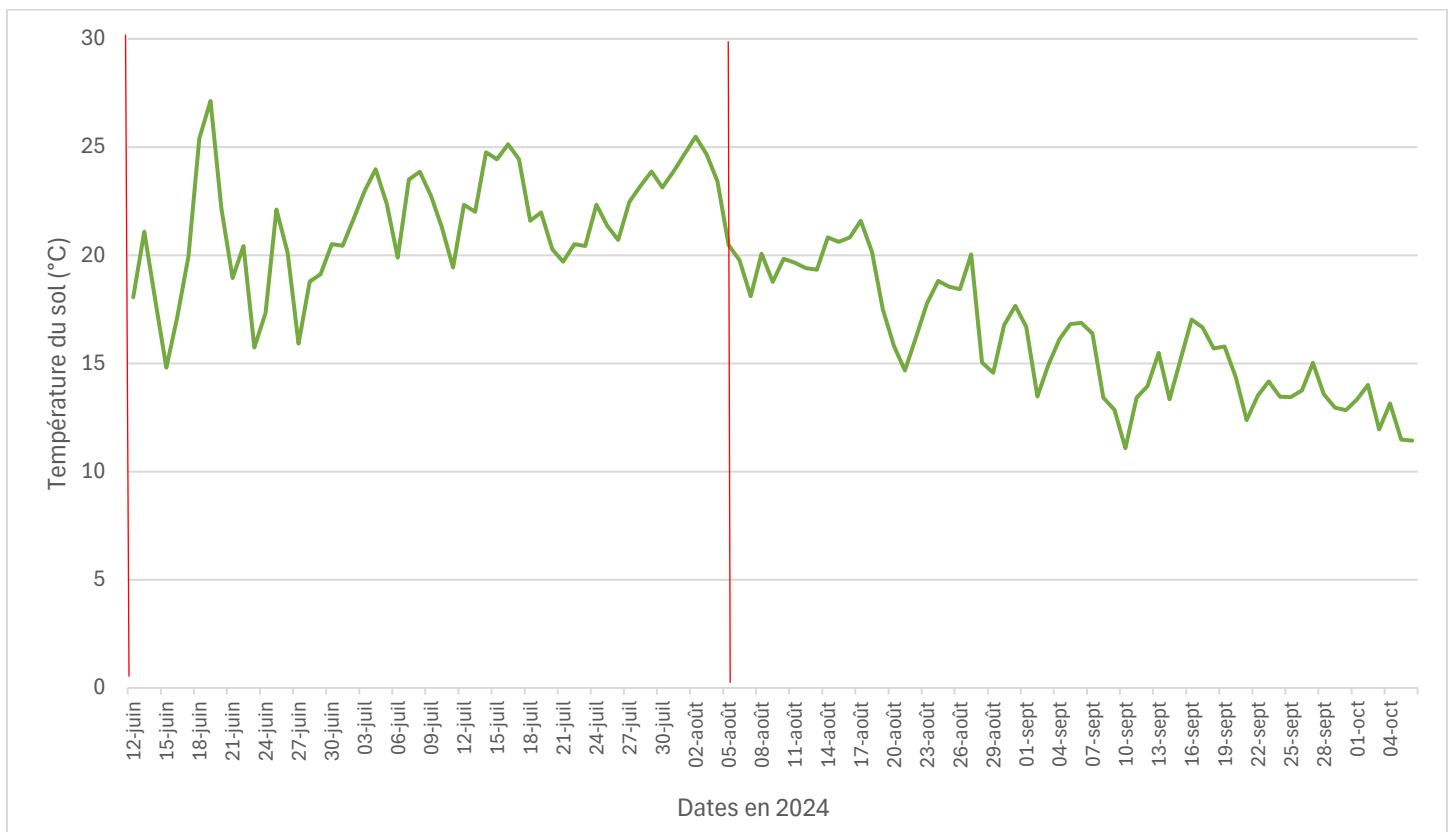


Note. Les barres verticales rouges représentent les dates d'épandage et de récolte des grains.

St-Lambert-de-Lauzon – 2023



St-Lambert-de-Lauzon – 2024



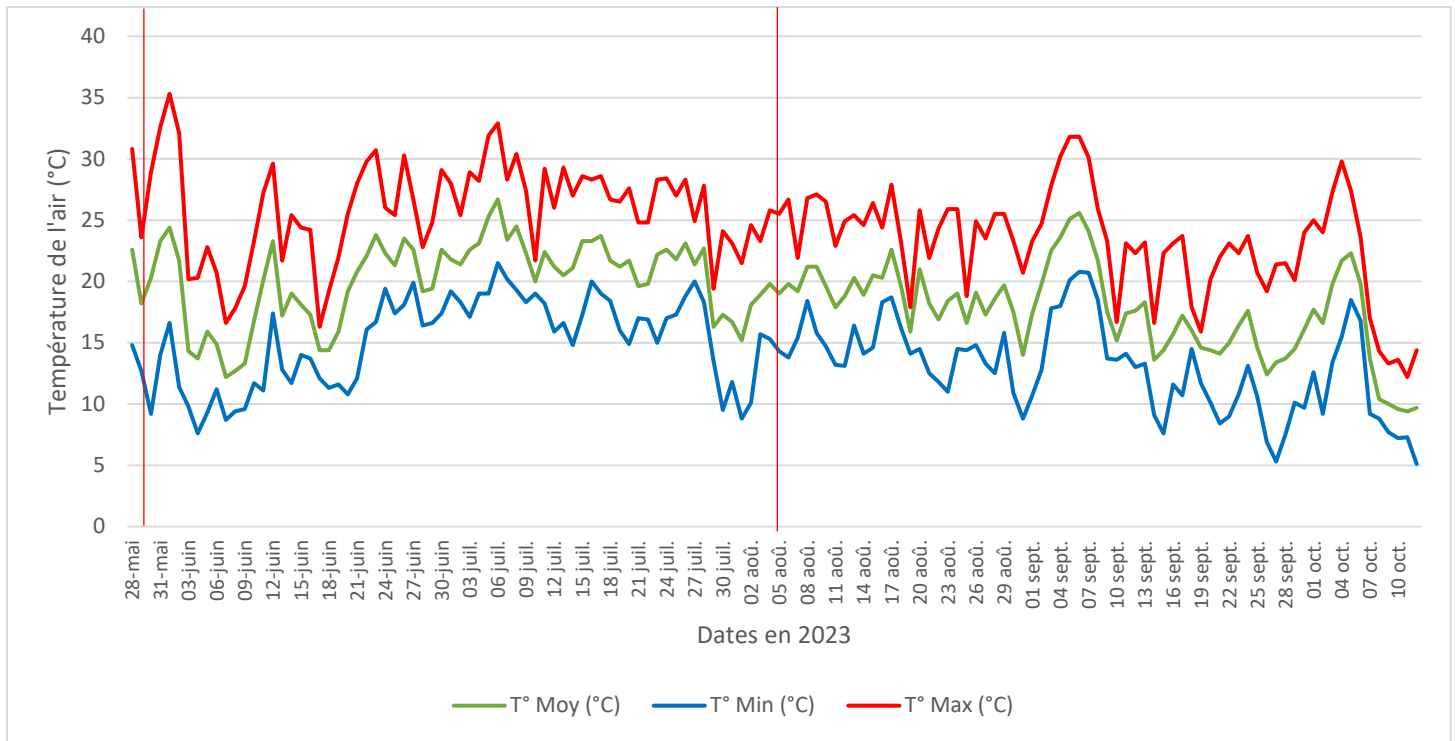
Note. Les barres verticales rouges représentent les dates d'épandage et de récolte des grains.



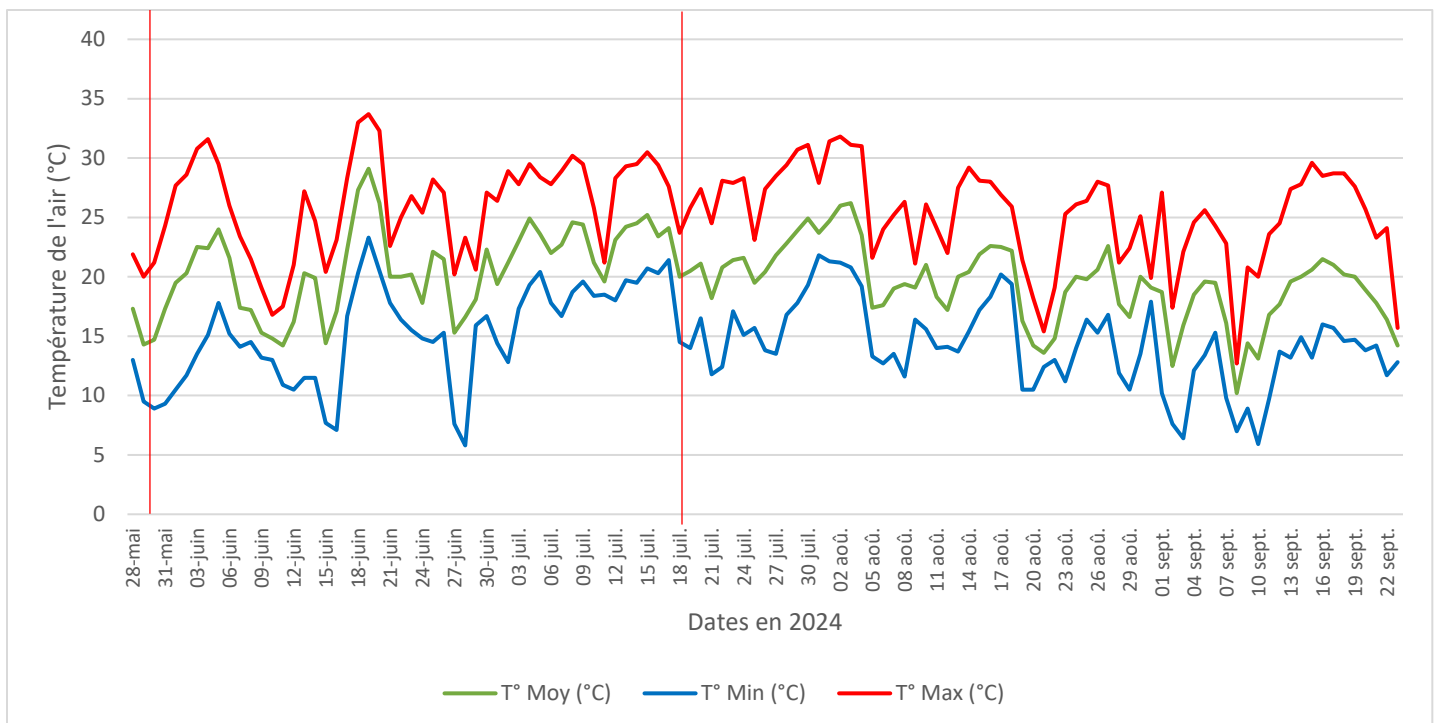
Annexe 4

Températures minimales, moyennes et maximales de
l'air selon le site et l'année

St-Bruno-de-Montarville – 2023

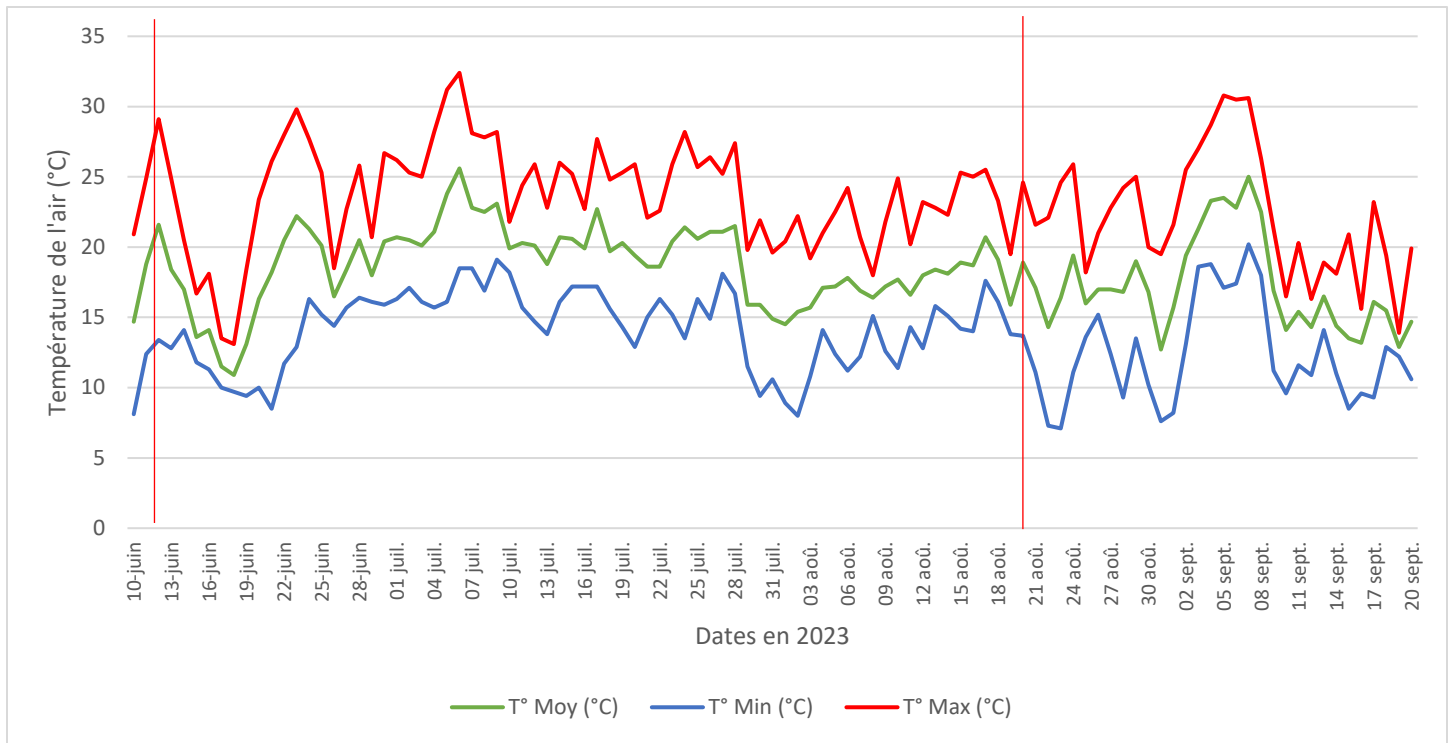


St-Bruno-de-Montarville- 2024



Note. Les barres verticales rouges représentent les dates d'épandage et de récolte des grains.

St-Lambert-de-Lauzon – 2023



St-Lambert-de-Lauzon – 2024

