OPTIMISATION DE L'UTILISATION DU BIOFONGICIDE CONTANS POUR LE CONTRÔLE DE LA POURRITURE À SCLÉROTES DU SOYA

221605

05 2022 / 03 2026

RAPPORT FINAL

Réalisé par :

Tanya Copley, Valentin Joubert (CÉROM)

8 mai 2026

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.

OPTIMISATION DE L'UTILISATION DU BIOFONGICIDE CONTANS WG® POUR LE CONTRÔLE DE LA POURRITURE À SCLÉROTES DU SOYA

RÉSUMÉ DU PROJET

La pourriture à sclérotes (*Sclerotinia sclerotiorum*; syn. moisissure blanche, sclérotiniose) est une importante maladie touchant plusieurs cultures agricoles. Le contrôle de cette maladie est souvent difficile dû à sa capacité à survivre plusieurs années dans le sol sous forme de sclérotes, ainsi qu'à sa capacité d'infecter plus de 300 espèces de plantes dont le soya, les carottes, les pommes de terre et le canola, ainsi que plusieurs espèces de mauvaises herbes comme les pissenlits, les astres, l'ambroisie, l'asclépiade ainsi que des espèces d'amarante. Dans le soya, la pourriture à sclérotes est la maladie créant le plus de pertes économiques au Québec. L'inoculum principal provient de sclérotes retrouvés dans les cinq premiers centimètres du sol produisant des apothécies, dont les ascospores infectent la plante à travers les tissus sénescents. Les fongicides chimiques sont inefficaces pour contrôler l'inoculum principal provenant de sclérotes enterrés et aucune plante hôte n'est complètement résistante. Le contrôle de cette maladie est donc basé sur l'utilisation de cultivars résistants, de bonnes rotations de cultures et de bonnes pratiques de travail du sol, ainsi que sur l'utilisation de fongicides foliaires appliqués de manière préventive lors des stades de floraison. Plusieurs études démontrent que le biofongicide Contans WG® offre un certain contrôle contre la pourriture à sclérotes dans les cultures de canola, de laitue, de carottes et de haricots. Ce produit détruit les sclérotes de *S. sclerotiorum,* les rendant soit moins virulents (produisant moins d'apothécies) ou incapables de produire des apothécies (morts). Zeng, Kirk et al. (2012) ont démontré que les populations de *Coniothyrium minitans,* l'agent actif du Contans WG®, n'ont pas changé de façon significative après 169 jours, ce qui suggère que ce produit peut détruire les sclérotes pendant plusieurs mois. Ce produit est fréquemment utilisé au Québec dans le soya, les haricots et le tournesol, mais aucune étude n'a examiné son efficacité à long terme, ni sa capacité de survie hivernale dans la culture du soya sous les conditions agroclimatiques québécoises.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Ce projet visait à mener des essais chez des producteurs ayant un historique de la maladie et dans des parcelles au CÉROM afin d'évaluer l'impact de différents régimes d'application [période (automne, printemps)] sur l'efficacité du Contans WG® dans le contrôle de la pourriture à sclérotes du soya au Québec. Des champs de producteurs ayant un historique de forte pression de la maladie seront visés. Au CÉROM, les parcelles seront artificiellement inoculées avec des sclérotes préconditionnés. Les paramètres suivants seront analysés pendant trois ans : l'indice de sévérité de la maladie (DSI), les rendements et la qualité des grains. Au CÉROM, la survie des sclérotes (capacité de fructification comme reflet de l'efficacité des traitements même en absence de symptômes visibles) a également été suivie afin d'évaluer le taux de fructification des sclérotes en fonction des différents régimes de traitements.

Des essais de Contans WG® ont été effectués au Centre de recherche sur les grains (CÉROM) en parcelles sous inoculation artificielle, de même qu'en blocs sous inoculation naturelle chez deux producteurs dans la région de Chaudière-Appalaches ayant un historique de sévérité élevée de pourriture à sclérotes.

Essais chez des producteurs

Pour évaluer l'efficacité du Contans WG® à moyen terme, des suivis chez deux producteurs de la région de Chaudière-Appalaches ayant un historique de forte pression de pourriture à sclérotes ont été réalisés.

Champ 1 (deux années de suivis). Le premier site était en soya pour la saison 2022 et un traitement de Contans WG® a été effectué avant le semis (19 mai 2022) à un taux de 4 kg/Ha avec incorporation à 5 cm. Deux bandes de 6 mètres de large par 55 mètres de long ont été mises en place, l'un comprenant un traitement de Contans WG®, l'autre sans (témoin). Une zone tampon de 6 mètres de large a été laissée en entre chaque bande de traitement (**Annexe 1**). En raison de risques élevés pour la pourriture à sclérotes selon les dépistages d'apothécies et les modèles prévisionnels en 2022, une application du fongicide Acapela™ a été faite au champ au stade R2 en gardant un pourtour sans application autour de l'essai. Afin de voir l'efficacité des applications de fongicides foliaires et de comparer les résultats avec le Contans WG®, des bandes ont été délimitées à proximité de l'essai afin de faire des prises de données en fin de saison. Après la récolte (13 octobre 2022), des applications automnales de Contans WG® ont été réalisées sur deux bandes (voir **Annexe 1**) afin d'évaluer l'efficacité d'une telle application en 2024, alors que le site était de retour en soya. Pour la saison 2024, un traitement automnal a été effectué le 9 novembre 2023 sur les mêmes bandes de traitement automnale qu'en 2022. Les traitements printaniers ont, quant à eux, été effectués le 7 mai 2024, sur les mêmes bandes que la saison 2022. Aucun traitement de fongicide foliaire

n'a été effectué en 2024. Pour les deux saisons, au stade R7 (12 septembre 2022 et 8 septembre 2024), cinq stations (sous-parcelles) ont été établis par bande et des notations de l'indice de sévérité de la maladie (DSI) ont été effectués sur 30 plantes par sous-parcelle. À la fin de chaque saison (5 octobre 2022 et 24 septembre 2024), une récolte manuelle a été effectuée sur une superficie de 3 m^2 dans chaque sous-parcelle afin de prendre les rendements et la qualité (humidité, protéine et huile) du grain par NIR (Perten DA 7250).

Champ 2 (une année de suivi en 2023). Dans le deuxième site, les applications de Contans WG® ont eu lieu le 25 août 2022 et le 10 mai 2023 à un taux de 4 kg/Ha avec une incorporation à 5 cm (**Annexe 1**). Le champ a été semé en soya le 11 mai 2023. L'évaluation de la sévérité et de l'incidence de la maladie a été prise au stade R7 (3 septembre 2023) sur une trentaine de plantes dans cinq stations (sous-parcelles). En fin de saison (3 octobre 2023), une récolte manuelle a été effectuée sur une superficie de 3 m^2 dans chaque sous-parcelle afin de prendre les rendements et la qualité (humidité, protéine et huile) du grain par NIR (Perten DA 7250).

Champ 3 (une année de suivi en 2024). Pour la saison 2024, une application automnale de Contans WG® a eu lieu le 29 août 2023 après la récolte de blé. Une application printanière a été effectuée le 7 mai 2024, juste avant le semis de soya (**Annexe 1)**. L'évaluation de la sévérité et de l'incidence de la maladie a été prise au stade R7 (8 septembre 2024) sur une trentaine de plantes dans cinq stations (sous-parcelles). En fin de saison (24 septembre 2024), une récolte manuelle a été effectuée sur une superficie de 3 m^2 dans chaque sous-parcelle afin de prendre les rendements et la qualité (humidité, protéine et huile) du grain par NIR (Perten DA 7250).

Essais en parcelles au CÉROM

Au CÉROM, l'effet du Contans WG® a été évalué en parcelles sous inoculation artificielle et sous irrigation. Des sclérotes préconditionnés avec un taux de fructification >80 % ont été utilisés pour les essais. Avant le semis, des parcelles expérimentales de 3 mètres par 6 mètres ont été établies, et ont reçu un des quatre traitements suivants : traitement avec Contans WG® à 2 kg/Ha sans incorporation ou travail du sol; traitement avec Contans WG® à 2 kg/Ha avec une incorporation à 5 cm; aucun traitement de Contans WG® et aucun travail du sol; ou aucun traitement de Contans WG® et un travail du sol à 5 cm. Pour les évaluations de la saison 2022, des traitements au Contans WG® ont eu lieu uniquement au printemps (15 mai 2022). Pour les évaluations en 2023, des traitements au Contans WG® ont eu lieu à l'automne (31 octobre 2022), au printemps (23 mai 2023), ou à l'automne et au printemps (31 octobre 2022 et 23 mai

2023). Les applications pour la saison 2024 ont eu lieu à l'automne (19 octobre 2023), au printemps (6 juin 2024) ou à l'automne et au printemps (19 octobre 2023 et 6 juin 2024). Les parcelles témoins n'ont, quant à elles, reçu aucune application de Contans WG®. Le dispositif expérimental utilisé pour ces essais était de type blocs complets aléatoires avec quatre répétitions (blocs). Pour les traitements sans incorporation, le sol a été légèrement travaillé avant les applications de Contans WG® afin de le préparer pour le semis.

Immédiatement après les applications de Contans WG® et le travail du sol du printemps (parcelles traitées au printemps seulement), les parcelles ont été semées avec le cultivar très sensible Nattosan à un taux de 20 grains par mètre linéaire et un écartement de rang de 15 pouces. Les parcelles étaient de 3 m par 6 m, avec un écartement de 3 m entre les sous parcelles (traitements de Contans WG®) (**Annexe 2**). Le jour après le semis, des sacs organza contenant 40 sclérotes par sac en 2022, ou 20 sclérotes en 2023 et 2024 ont été mis dans chaque parcelle dans le but d'effectuer des suivis de taux de fructification des sclérotes en fonction des différents traitements (Contans WG® ou témoin). Pour se faire, les trois entre-rangs centraux ont été chacun divisés en 3 sous-parcelles. Dans chaque sous-parcelle, des lots de 4 à 7 sacs contenant chacun 20 sclérotes ont été positionnés à différentes profondeurs (en surface, à 5 cm ou à 10 cm) afin d'évaluer l'effet des traitements de Contans WG® sur les sclérotes à différentes profondeurs dans le sol (**Annexe 2**).

Lors du dépistage de sclérotes, un prélèvement aléatoire par position pour chaque profondeur a été effectué 1, 2, 6 et 12 mois après le traitement au Contans WG® pour la modalité d'application au printemps. Pour l'application à l'automne, les prélèvements ont été effectués 1, 6 et 12 mois après le traitement. Enfin pour la modalité automne et printemps, les prélèvements ont été effectués 1, 6, 7(1) et 12(6) mois après les applications; le chiffre entre parenthèse indiquant le temps écoulé après la deuxième application de Contans WG®, soit l'application printanière.

Afin d'évaluer l'effet des traitements sur le taux de fructification, les sclérotes provenant de chaque sous-parcelle d'une même parcelle et de même profondeur (0, 5 ou 10 cm) ont été mélangés ensemble, rincés avec de l'eau pour enlever le plus de sol possible et mis en Pétris avec un papier Whatman® humide. Un total de dix sclérotes a été mis par Pétris avec trois répétitions par profondeur par parcelle pour un total de 9 Pétris par parcelle par date de prélèvement (3 x 0 cm, 3 x 5 cm et 3 x 10 cm de profondeur). Les Pétris ont été conservés à température pièce et le nombre de sclérotes ayant fructifiés a été évalué 8 semaines après la mise en Pétris. En 2023 et 2024, le taux de contamination par *C. minitans* a aussi été évalué 8 semaines après la mise en Pétris.

Pour limiter les chances de contamination croisée entre les différents traitements, tous les traitements, tous les échantillonnages et toutes les prises de données ont été effectués dans les parcelles témoins (sans application de Contans WG®) avant les parcelles traitées avec le Contans WG®.

Essais *in vitro* au CÉROM

Pour évaluer l'importance de l'humidité du sol sur l'efficacité du Contans WG® à infecter des sclérotes, des essais *in vitro* en conditions contrôlées ont été menés au laboratoire du CÉROM en 2024. Pour se faire, des godets de 160 mL ont été remplis avec 120 mL d'un de trois types de sol, soit un sol argileux, un sol limoneux sablonneux argileux ou un sol limoneux sablonneux (**Annexe 3**). Par la suite, un total de 345 mg de Contans WG® (équivalent à 3 kg/Ha basé sur le volume de sol par hectare à une profondeur de 5 cm) a été ajouté à chaque godet sous traitement Contans WG®. Aucun Contans WG® n'a été ajouté aux godets témoins. Chaque godet a été pesé, et une quantité d'eau a été ajoutée pour atteindre un taux d'humidité de 0 % à 110 % selon le taux de rétention d'eau maximal du type de sol utilisé. Dix sclérotes préconditionnés et imbibés d'eau pendant 48 h ont été mis dans chacun des godets, avec trois répétitions par traitement (3 types de sol x 12 humidités de sol x 2 traitements Contans WG® (avec ou sans) x 3 répétitions). Les godets ont été fermés, mis sous lumière blanche et UVA avec un éclairage de 12 h et une température de 20°C. Une observation du nombre de sclérotes germés et la quantité de stipes par godet a été faite une fois par semaine pendant huit semaines. Lors de chaque lecture, le poids des godets a été noté et de l'eau a été ajouté, au besoin, pour maintenir le taux d'humidité.

En 2025, une deuxième répétition dans le temps a été effectuée au CÉROM, en ajoutant les taux d'humidité de 120 % et 130 % aux modalités testées, toujours selon le taux de rétention d'eau maximal du type de sol utilisé. Une période caniculaire a entrainé des températures trop élevées au début de l'expérience dans l'espace réservé aux godets, empêchant la fructification des sclérotes, et ce de manière irréversible. Aucune fructification n'a été observée 7 semaines après la mise en godet, et l'expérience a été arrêtée après 10 semaines. Une mesure de dureté des sclérotes a néanmoins été effectuée 11 semaines après la mise en godets, dans l'optique de vérifier si le Contans WG® aurait plus affecter la viabilité des sclérotes.

Statistiques

Pour les essais chez les producteurs, des ANOVA ont été effectuées pour évaluer l'effet du Contans WG® sur le DSI, le rendement et la qualité du grain (taux de protéine et d'huile), avec chaque site traité individuellement en raison de rotations et saisons différentes. Pour les essais au CÉROM, l'effet du Contans WG® sur le rendement, le DSI, le taux de fructification de sclérotes et le taux de contamination de sclérotes par Contans WG® a été analysé à l'aide de modèles linéaires mixtes, avec la saison d'application comme

facteur principal, le traitement de Contans WG® comme facteur divisé (split-plot), l'incorporation du sol comme sous-facteur divisé (split-split-plot) et la profondeur de sclérote comme sous-sous-facteur divisé (split-split-split-plot). Pour les évaluations de l'effet de l'humidité et de la texture du sol sur l'efficacité du Contans WG®, une ANOVA a été effectué. En cas de résultat significatif, les moyennes étaient comparées à l'aide de la procédure lmerTest ou TukeyHSD pour tests multiples. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R v.4.4.2 (R Core Team, 2018).

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Essais chez des producteurs

Les deux producteurs participant au projet présentaient un fort historique de la pourriture à sclérotes, avec des DSI >60 % en années favorables au développement de la maladie. Aucune différence significative n'a été observée pour l'interaction entre le traitement et le site pour le DSI (P = 0,2222), le rendement (P = 0,1080), le taux de protéine (P = 0,3860) ou le taux d'huile (P = 0,6127) (**Tableau 1**). Les faibles DSI observés peuvent être expliqués par des conditions climatiques généralement défavorable au développement de la maladie en 2022 et 2024, selon les modèles prévisionnels de l'apparition des apothécies utilisés par le Réseau d'avertissements phytosanitaires- Grandes cultures. En 2023, les conditions étaient moyennement favorables au développement des apothécies du 22 au 27 juillet, correspondant au stade R3 de la culture et un risque moyen d'infection. Les résultats de l'effet du Contans WG® suggèrent que le produit n'a eu aucun effet au cours des années de l'étude, même sur le site 2 quand le DSI était plus élevé.

Tableau 1. Effet du Contans WG® sur le rendement et DSI chez les producteurs

	Saison d'application du Contans WG®	Rendement (t/Ha)*	DSI	% Protéine*	% Huile*
Site 1 (2022)	Printemps	3,36	1,44	35,3	17,3
	Témoin	3,39	1,55	35,2	17,4
	Fongicide	3,21	0,67	35,6	17,1
Site 2 (2023)	Printemps	4,28	13,67	33,8	17,8
	Automne	4,22	10,35	38,6	19,7
	Témoin	4,02	13,01	33,6	18,3
Site 3 (2024)	Printemps	3,15	0,89	32,7	18,8
	Automne	3,04	2,56	33,0	18,7
	Témoin	3,20	1,89	32,8	19,0

	Printemps	**3,48**	**1,44**	**32,8**	**18,3**
Site 4 (2024)	**Automne**	**3,83**	**0,89**	**33,0**	**18,1**
	Témoin	**3,70**	**2,89**	**33,0**	**18,2**

Moyenne de 10 parcelles par site par traitement par année. Aucune différence significative de l'effet de Contans WG® n'a été détectée.
*Rendement, taux de protéine et d'huile ajustés à une humidité du grain de 13 %.

Essais en parcelles au CÉROM

Très peu de maladie a été observée en 2022 et seulement quelques plantes malades ont été observées en 2023. En 2024, aucune maladie n'a été observée dans les parcelles, malgré la présence d'apothécies au champ. Des températures élevées (moyenne quotidienne de 23°C sur site) lors de la floraison en 2024 pourraient expliquer l'absence de maladie. Aucune différence dans le DSI des différents traitements n'a été observée ni en 2022, ni en 2023. Les analyses de rendement n'ont démontré aucune différence significative en 2022 (P=0,737), ni en 2023 (P=0,506), ni en 2024 (P=0,8415). Le manque de maladie et de symptômes au champ pendant les études peut s'expliquer par des conditions climatiques non favorables au développement des apothécies pendant les périodes de floraison à Saint-Mathieu-de-Beloeil. Les modèles prévisionnels pour l'apparition des apothécies démontraient des faibles risque au développement des apothécies pendant les mois de juin et juillet 2022, juin 2023, et juin et juillet 2024. Seulement le mois de juillet 2023 a démontré des risques élevés au développement des apothécies. Autant que les risquent étaient élevés lors de la floraison en 2023 (début de floraison le 7 juillet 2023), la quantité excessive de pluie (244 mm à la station météorologique sur le site) était 60 % à deux fois la quantité normale (132 à 150 mm en moyenne historiquement pour la région). Selon plusieurs études, incluant le volet *in vitro* de cette étude, une quantité excessive de pluie peut retarder ou même empêcher la germination carpogénique de sclérotes (Matheron et Porchas., 2005; Morrall, 1977).

La saison d'application du Contans WG®, de même que l'année, le travail du sol et la profondeur des sclérotes, ont démontré un fort effet sur le taux de fructification des sclérotes. Néanmoins, aucun effet de Contans WG® sur la fructification de sclérotes n'a été observé (**Tableau 2**). Au niveau du profondeur des sclérotes, les sclérotes à 10 cm de profondeur avait un taux de fructification plus élevé que les sclérotes en surface (**Figure 1**). En raison d'un manque d'effet du Contans WG® sur la fructification de sclérotes, seuls les résultats de contamination de sclérotes par *C. minitans* seront discutés.

Tableau 2. Effet du Contans WG® sur le taux de fructification et de contamination des sclérotes

	Effet année[1]	Effet saison[2]	Effet Contans WG®[3]	Travail de sol[4]	Profondeur de sclérotes[5]
Fructification des sclérotes	*P* < 0,0001	*P* < 0,0001	*P* = 0,8739	*P* < 0,0001	*P* < 0,0001
Contamination des sclérotes par Contans WG®	*P* = 0,6899	*P* < 0,0001	*P* = 0,0028	*P* = 0,9555	*P* < 0,0001

[1]Année de l'étude, soit 2022 à 2024 pour la fructification des sclérotes, ou 2023 et 2024 pour la contamination des sclérotes par Contans WG®

[2]Les saisons d'application du Contans WG®, soit printemps, automne ou automne et printemps

[3]Le traitement de Contans WG® à 2 kg/Ha ou témoin sans Contans WG®

[4]Un travail du sol soit avant (imitation d'un champ en semis direct) ou après l'application du Contans WG®

[5]Les sclérotes ont été mis soit à la surface, ou à 5 cm ou 10 cm de profondeur

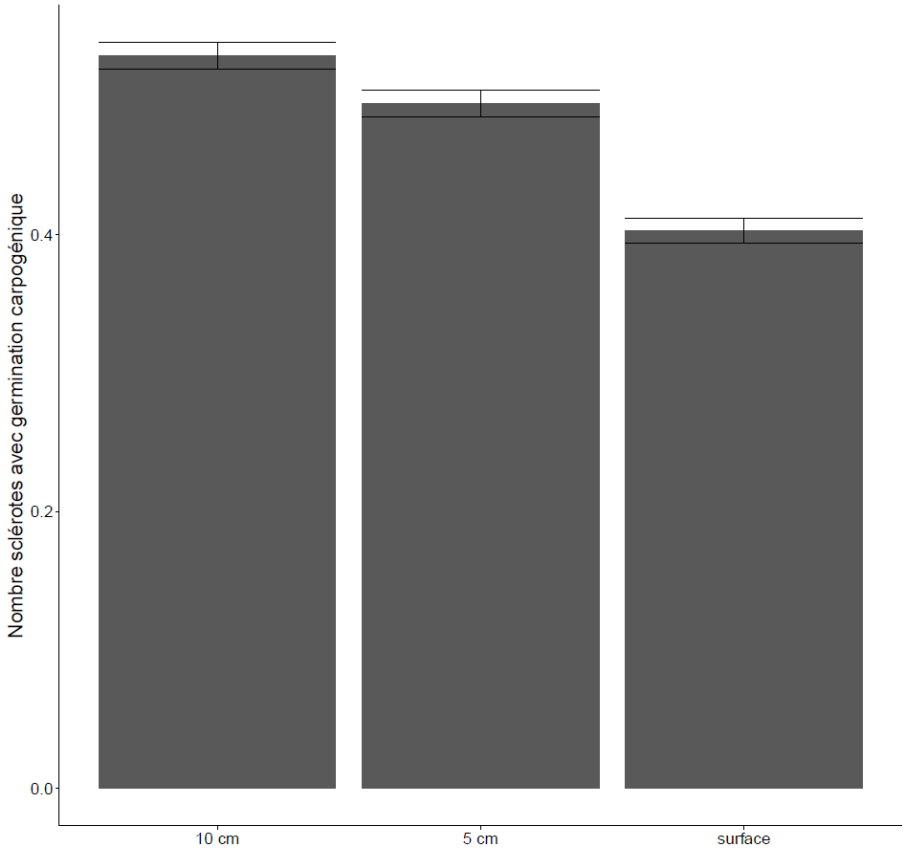


Figure 1. L'effet de la profondeur des sclérotes dans le sol sur le taux de germination carpogénique.

Pour la contamination des sclérotes par le Contans WG®, un effet significatif a été observé pour la saison d'application du produit et pour la profondeur des sclérotes (**Tableau 2**). Aucun effet du travail de sol, ni de l'année (2023 et 2024) n'a été observé pour la contamination des sclérotes par le Contans WG® (**Tableau 2**), suggérant que le produit est aussi efficace en semis-direct qu'avec un travail de sol pour incorporer le produit. La contamination des sclérotes a démontré que les parcelles témoins étaient atteint par le Contans WG®, malgré les précautions prises pour limiter la contamination. Plusieurs facteurs pourraient expliqués la contamination, incluant la pluie excessive, de vents forts, ou une présence naturelle de *C. minitans.*

Les applications printanières démontraient un taux de contamination des sclérotes plus élevé que les applications automnales (**Figure 2**), et ce aussi rapidement qu'un mois après l'application de Contans WG®. Les sclérotes en parcelles de traitement automnal ont aussi été atteints un mois après l'application, mais à une plus faible proportion, probablement en raison de faibles températures au mois d'octobre, un facteur limitant pour la germination de spores de *C. minitans*. La récolte de sclérotes au mois de mai à chaque année a démontré que l'agent actif du Contans WG® (*C. minitans*) peut survivre à l'hiver, avec un plus haut taux de survie (basé sur la contamination des sclérotes) lors d'un hiver plus doux (2023-2024) (**Annexe 4**). Lorsque l'hiver favorise la bonne survie de *C. minitans* (2023-2024), une deuxième application de Contans WG® ne semble pas nécessaire, bien qu'elle pourrait s'avérer bénéfique, selon la rotation et le taux de sclérotes au champ, si un producteur souhaite augmenter le taux de sclérotes atteints par le produit.

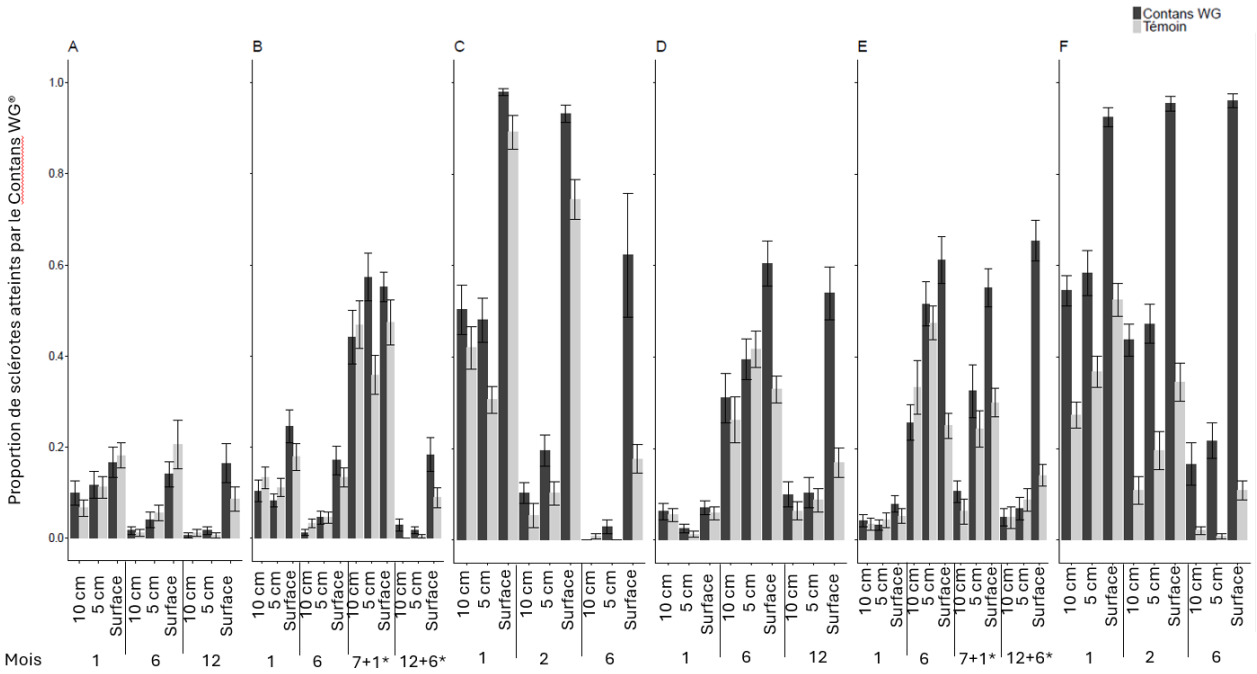


Figure 2. Proportion de sclérotes atteints par Contans WG® selon différents régimes d'application du produit. Des applications de Contans WG® ont été effectuées à l'automne, à l'automne et printemps, ou au printemps de chaque année, avec des sclérotes mis à la surface ou à 5 cm ou 10 cm de profondeur dans le sol. Des sacs de sclérotes ont été ramassés de façon régulière pour évaluer le taux de contamination par Contans WG®. « Mois » correspond au nombre de mois depuis l'application du produit Contans WG®. A, applications faites à l'automne 2022, sclérotes échantillonnés en 2022 et 2023; B, applications faites à l'automne 2022 et au printemps 2023 (*), sclérotes échantillonnés en 2022 et 2023; C, applications faites au printemps 2023, sclérotes échantillonnés en 2022 et 2023; D, applications faites à l'automne 2023, sclérotes échantillonnés en 2023 et 2024; E, applications faites à l'automne 2023 et au printemps 2024 (*), sclérotes échantillonnés en 2023 et 2024; F, applications faites au printemps 2024, sclérotes échantillonnés en 2024.

Les sclérotes en surface présentaient un plus haut taux de contamination par Contans WG® comparé aux sclérotes à 5 cm ou 10 cm de profondeur (**Figure 2**). Ce phénomène était particulièrement évident suite aux applications printanières, quand le sol est plus sec. En effet, les spores nécessitent de l'eau non seulement pour germer, mais aussi pour atteindre les sclérotes en profondeur lorsque le sol est peu travaillé (5 cm ou moins) suite à l'application du Contans WG®. En automne, lorsque le sol est humide, les sclérotes en profondeur étaient atteints à des taux similaires à ceux en surface un mois après l'application du produit (**Figure 2**).

Alors que les essais chez les producteurs se sont révélés peu concluants, les résultats obtenus en parcelles expérimentales dégagent plusieurs tendances significatives. L'étude démontre que les sclérotes enfouis en profondeur sont mieux conditionnés pour la fructification que ceux restés en surface. Cette différence s'expliquerait par des conditions plus stables en profondeur (sol frais et humide), contrairement à la surface où les sclérotes subissent un stress thermique et hydrique, ainsi qu'une exposition aux rayons UV. L'étude a aussi démontré que le Contans WG® peut être utilisé de manière aussi efficace en semis-direct qu'en travail du sol conventionnel. Vue que plus de sclérotes à la surface ont été atteints par *C. minitans* comparé aux sclérotes en profondeur, l'étude support le concept que le traitement peut être plus efficace en conditions de semis-direct qu'en travail conventionnel dans lequel les sclérotes sont enfuis à différentes profondeurs. Des applications immédiatement après la récolte de champ atteint pourraient donc aider à atteindre le nombre maximal de sclérotes. Bien que le sol soit humide à l'automne, les applications automnales ont montré un taux de contamination des sclérotes inférieur à celui des applications printanières. Les températures fraîches de fin de saison limitent la germination des spores de *C. minitans*. Avancer la date d'application à l'automne pourrait aider à atteindre plus de sclérotes. Finalement, des applications printanières réussissaient à atteindre plus de sclérotes, mais ne permettaient pas les trois mois nécessaires pour la destruction complète des sclérotes avant les stades de floraison du soya.

Essais *in vitro* au CÉROM

Les essais *in vitro* ont permis d'évaluer l'effet de la texture du sol et du taux d'humidité sur l'efficacité du Contans WG®. Des sclérotes atteints par le Contans WG® ont été observés aussi rapidement que trois semaines après la mise en place des essais. Pour le nombre de sclérotes germés (*n* = 10 par gobelet), un effet significatif du traitement de Contans WG®, de l'humidité du sol et de semaines après la mise en place de l'essai a été observé, mais aucun effet du type de sol a été observé (**Tableau 3**). Pour le nombre de stipes par dix sclérotes (un gobelet), un effet significatif du type de sol, du traitement de Contans WG®, de l'humidité du sol et de semaines après la mise en place de l'essai a été observé (**Tableau 4**). Une interaction significative entre la texture du sol et le Contans WG®, la texture du sol et de l'humidité du sol, ainsi que le Contans WG® et l'humidité du sol a également été observée (**Tableau 3**). Pour le nombre de sclérotes germés et le nombre de stipes par dix sclérotes, des interactions entre le type de sol et l'humidité du sol, le type de sol et le temps depuis la mise en place des essais, l'humidité du sol et le temps depuis la mise en place des essais, l'humidité du sol et le traitement de Contans WG®, le temps depuis la mise en place des essais et le Contans WG®, et le type de sol, l'humidité du sol et le traitement de Contans WG® ont été observés. Aucune intéraction entre le type de sol et le traitement de Contans WG® n'a été observée, suggérant que le type de sol n'a aucun effet sur l'efficacité du Contans WG®.

Les résultats démontrent que le Contans WG® a réduit la quantité de sclérotes germés et le nombre de stipes par dix sclérotes par plus que 90 % (**Figure 3**). Plus de sclérotes germés et de stipes par dix sclérotes ont été observés avec une augmentation de la durée depuis la mise en place de l'essai (**Figure 4**). Le nombre de sclérotes germés et de stipes par dix sclérotes ont atteint leur maximum après huit semaines. L'humidité du sol avait un effet positif sur la germination de sclérotes et la quantité de stipes par dix sclérotes (**Figure 5**). Plus de sclérotes ont germé et plus de stipes par dix sclérotes ont été produites avec un taux d'humidité plus élevé, tandis qu'une humidité du sol plus élevé a réduit l'efficacité du Contans WG®, évident par l'augmentation de la quantité de sclérotes ayant germés et la quantité de stipes à un taux d'humidité de 80 % et plus comparé à 70 % et moins. Malgré cette tendance, il y avait moins de sclérotes germés et moins de stipes par dix sclérotes avec le traitement de Contans WG® comparé aux témoins sans Contans WG®.

Tableau 3. Effet du type de sol, l'humidité du sol, le temps depuis le traitement et le Contans WG® sur la fructification de sclérotes

	ddl[5]	SS[6]	MSE[7]	Valeur F	Pr (>F)	
Type de sol[1]	2	1,5	0,8	2,0	0,1420	
Humidité du sol[2]	11	147,6	13,4	34,7	<0,0001	***
Semaines poste-traitement[3]	11	37,1	3,4	8,7	<0,0001	***
Contans[4]	1	110,4	110,4	285,9	<0,0001	***
Type de sol * Humidité du sol	22	41,1	1,9	4,8	<0,0001	***
Type de sol * Semaines poste-traitement	22	17,8	0,8	2,1	0,0022	**
Humidité du sol * Semaines poste-traitement	121	64,7	0,5	1,4	0,0046	**
Type de sol * Contans	2	0,2	0,1	0,3	0,7651	
Humidité du sol * Contans	11	86,5	7,9	20,4	<0,0001	***
Semaines poste-traitement * Contans	11	24,6	2,2	5,8	<0,0001	***
Type de sol * Humidité du sol * Semaines poste-traitement	242	54,4	0,2	0,6	1,0000	
Type de sol * Humidité du sol * Contans	22	32,1	1,5	3,8	<0,0001	***
Type de sol * Semaines poste-traitement * Contans	22	6,7	0,3	0,8	0,7362	
Humidité du sol * Semaines poste-traitement * Contans	121	45,6	0,4	1,0	0,5561	
Type de sol * Humidité du sol * Semaines poste-traitement * Contans	242	40,6	0,2	0,4	1	
Résidus	1728	667,3	0,4			

[1]Trois textures de sol, soit argile, loam sablonneux argileux ou loam sablonneux
[2]Douze taux d'humidité de sol, allant de 0 % à 110 % selon la rétention d'eau maximale
[3]Le nombre de semaines depuis la mise en place des essais
[4]Deux traitements de Contans WG®, soit avec ou sans
[6]ddl, dégrées de liberté
[7]SS, sommes des carrées
[8]MSE, erreur quadratique moyenne
* $P < 0,05$
** $P < 0,01$
*** $P < 0,001$

Tableau 4. Effet du type de sol, l'humidité du sol, le temps depuis la mise en place des essais et le Contans WG® sur la quantité de stipes

	ddl[6]	SS[7]	MSE[8]	Valeur F	Pr (>F)	
Type de sol[1]	2	9,6	4,8	4,1	0,0172	*
Humidité du sol[2]	11	412,7	37,5	31,7	<0,0001	***
Semaines poste-traitement[3]	11	99,5	9,0	7,6	<0,0001	***
Contans[4]	1	278,7	278,7	235,5	<0,0001	***
Type de sol * Humidité du sol	22	115,1	5,2	4,4	<0,0001	***
Type de sol * Semaines poste-traitement	22	77,4	3,5	3,0	<0,0001	***
Humidité du sol * Semaines poste-traitement	121	177,6	1,5	1,2	0,0441	*
Type de sol * Contans	2	0,7	0,4	0,3	0,7369	
Humidité du sol * Contans	11	249,3	22,7	19,1	<0,0001	***
Semaines poste-traitement * Contans	11	67,8	6,2	5,2	<0,0001	***
Type de sol * Humidité du sol * Semaines poste-traitement	242	182,0	0,8	0,6	1,0000	
Type de sol * Humidité du sol * Contans	22	84,7	3,8	3,3	<0,0001	***
Type de sol * Semaines poste-traitement * Contans	22	29,9	1,4	1,1	0,2855	
Humidité du sol * Semaines poste-traitement * Contans	121	127,2	1,1	0,9	0,7990	
Type de sol * Humidité du sol * Semaines poste-traitement * Contans	242	106,3	0,4	0,4	1,0000	
Résidus	1728	2045,3	1,2			

[1]Trois textures de sol, soit argile, loam sablonneux argileux ou loam sablonneux
[2]Douze taux d'humidité de sol, allant de 0 % à 110 % selon la rétention d'eau maximale
[3]Le nombre de semaines depuis la mise en place des essais
[4]Deux traitements de Contans WG®, soit avec ou sans
[6]ddl, dégrées de liberté
[7]SS, sommes des carrées
[8]MSE, erreur quadratique moyenne
* $P < 0,05$
** $P < 0,01$
*** $P < 0,001$

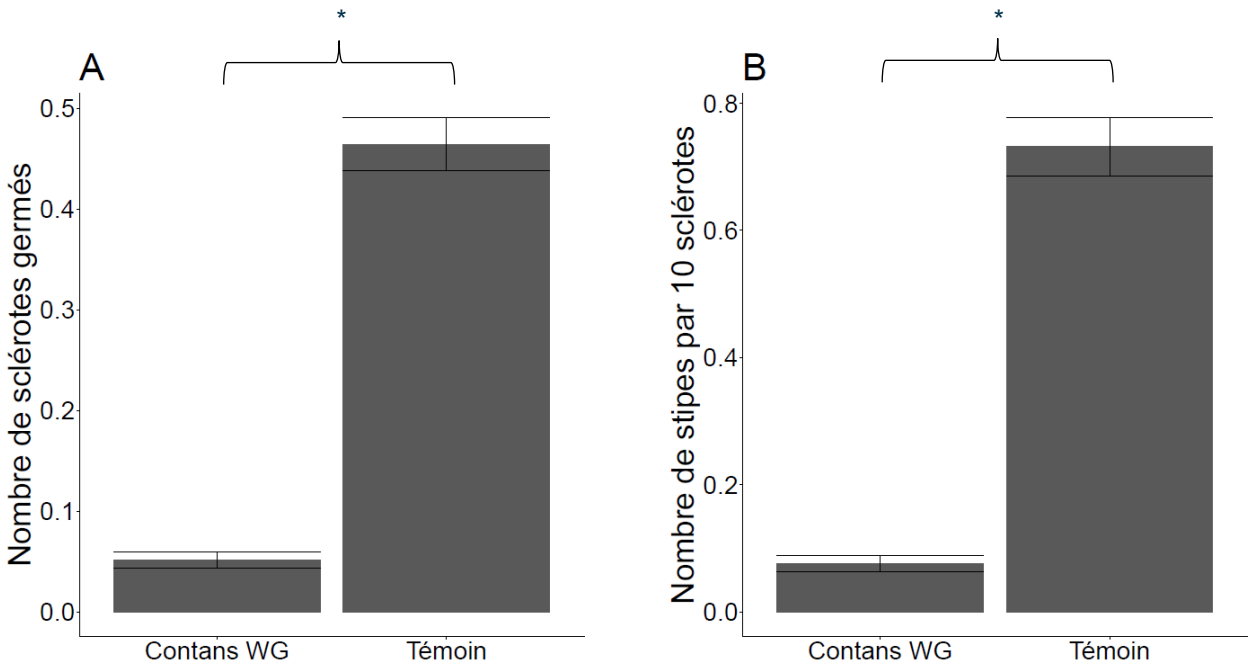


Figure 3. Effet du Contans WG® sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B). * $P < 0,05$

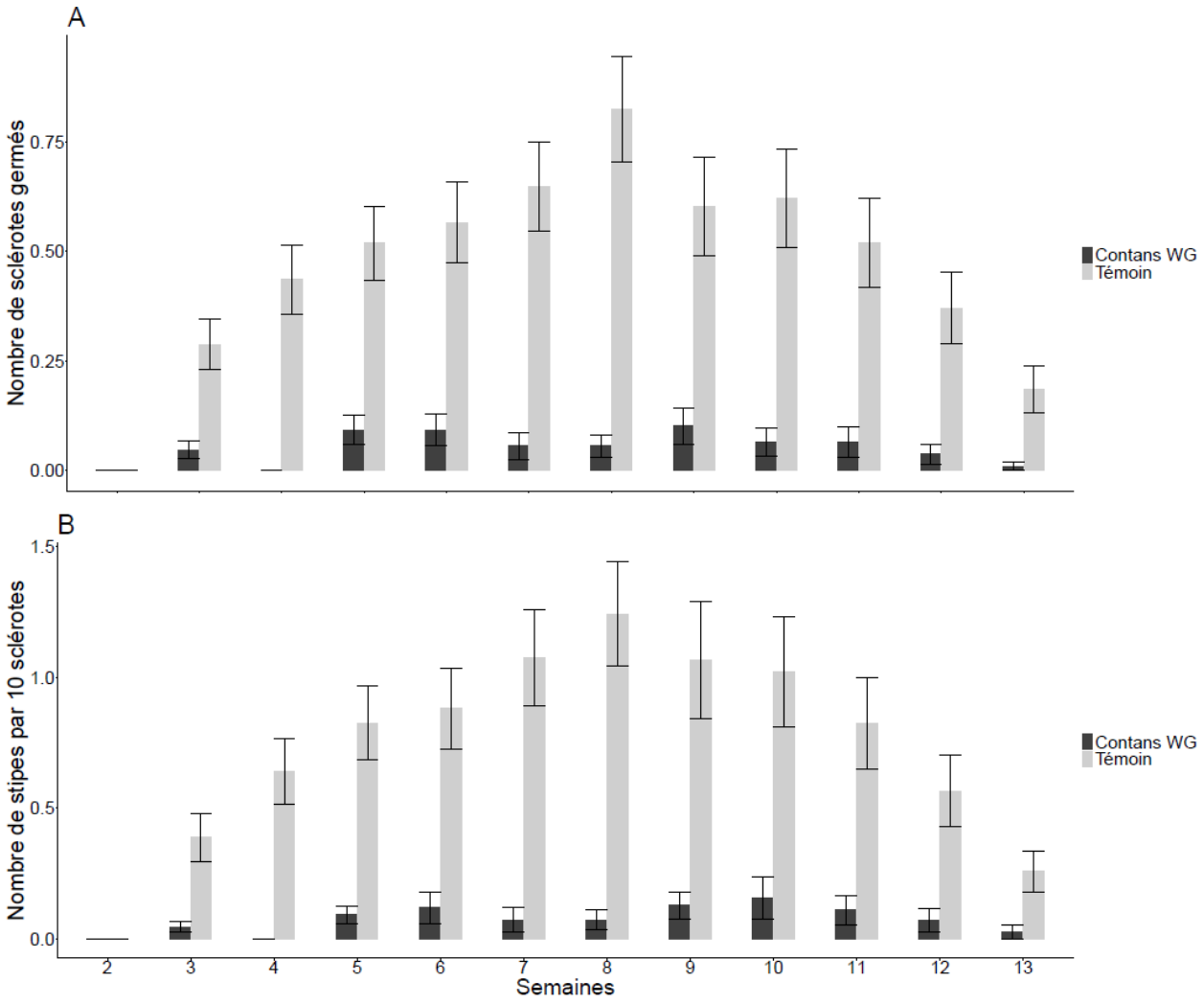


Figure 4. L'effet du temps depuis la mise en place des essais sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B).

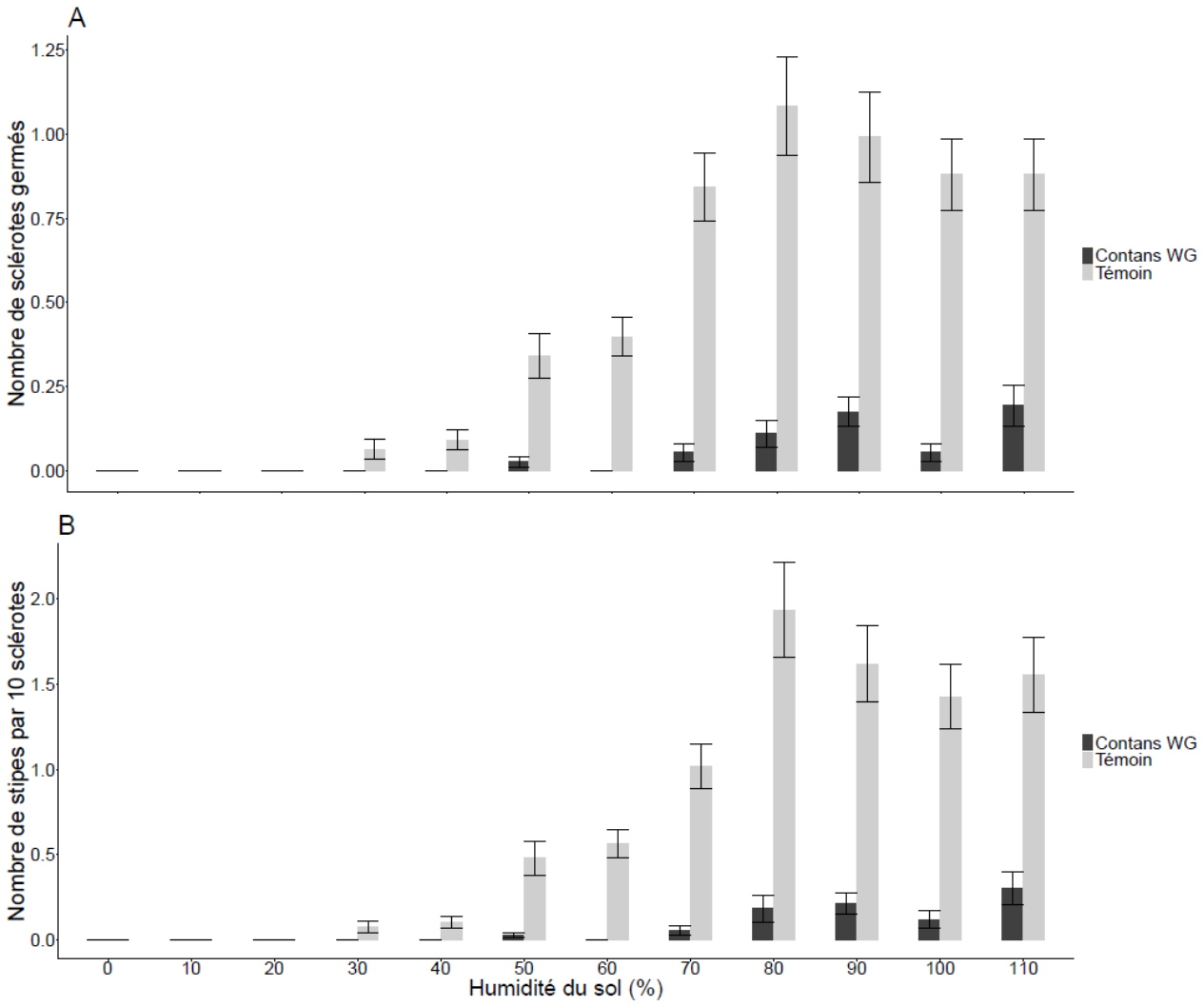


Figure 5. Effet de l'humidité du sol sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B).

Le type de sol avait un effet uniquement sur la quantité de stipes par dix sclérotes, mais pas sur le nombre de sclérotes germés (**Figure 6**). L'interaction entre l'humidité du sol et le type de sol a démontré une plus grande quantité de sclérotes germés et de stipes par dix sclérotes dans le loam sablonneux de trois à six semaines après la mise en place de l'essai, suivi par une augmentation de sclérotes germés et de stipes dans le sol argileux (**Figure 7**). Au niveau de l'interaction entre l'humidité du sol et le type de sol, une plus grande quantité de sclérotes germés et de stipes par dix sclérotes dans le loam sablonneux a de plus faibles taux d'humidité, suivi par une augmentation de sclérotes germés et de stipes dans le sol argileux à des taux d'humidité plus élevés (**Figure 8**).

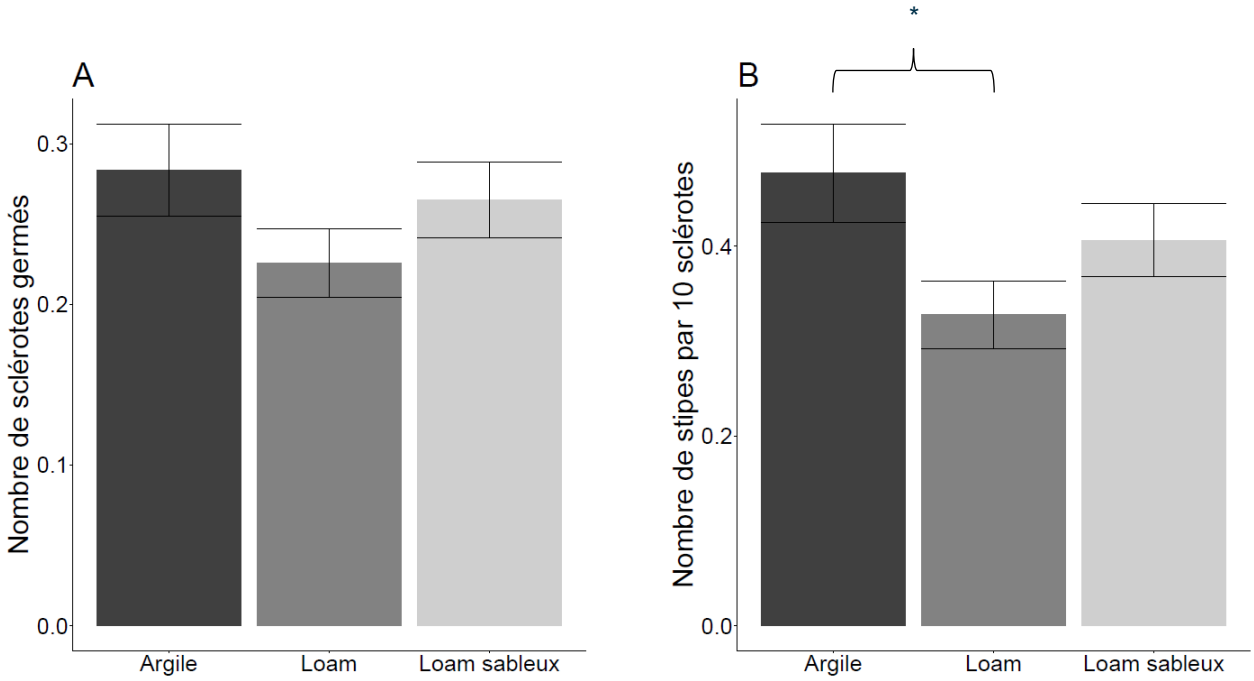


Figure 6. L'effet du type de sol sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B). * $P < 0,05$

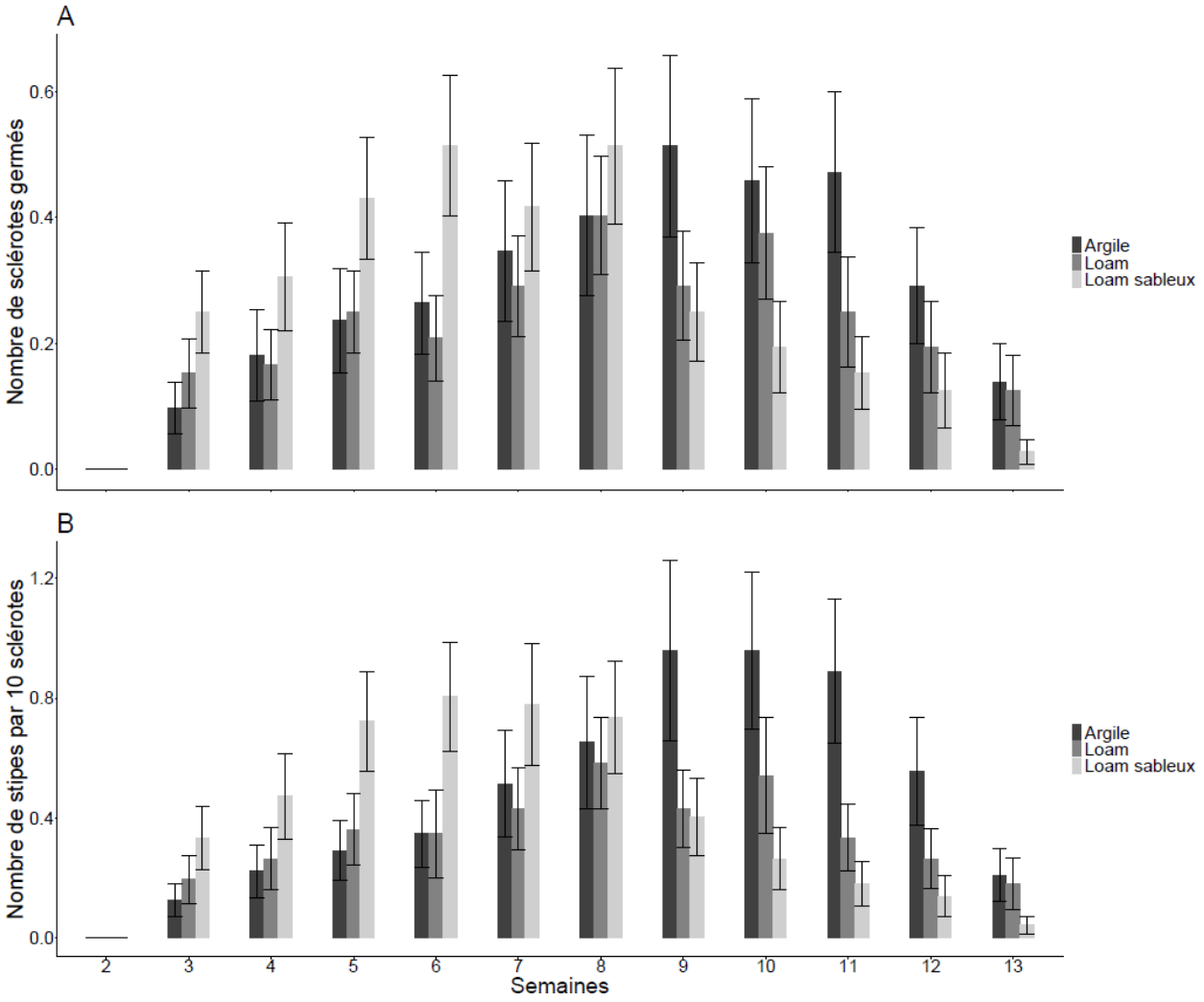


Figure 7. L'effet du type de sol et le temps depuis la mise en place des essais sur le nombre de sclérotes germés (A) et la quantité de stipes par dix sclérotes (B).

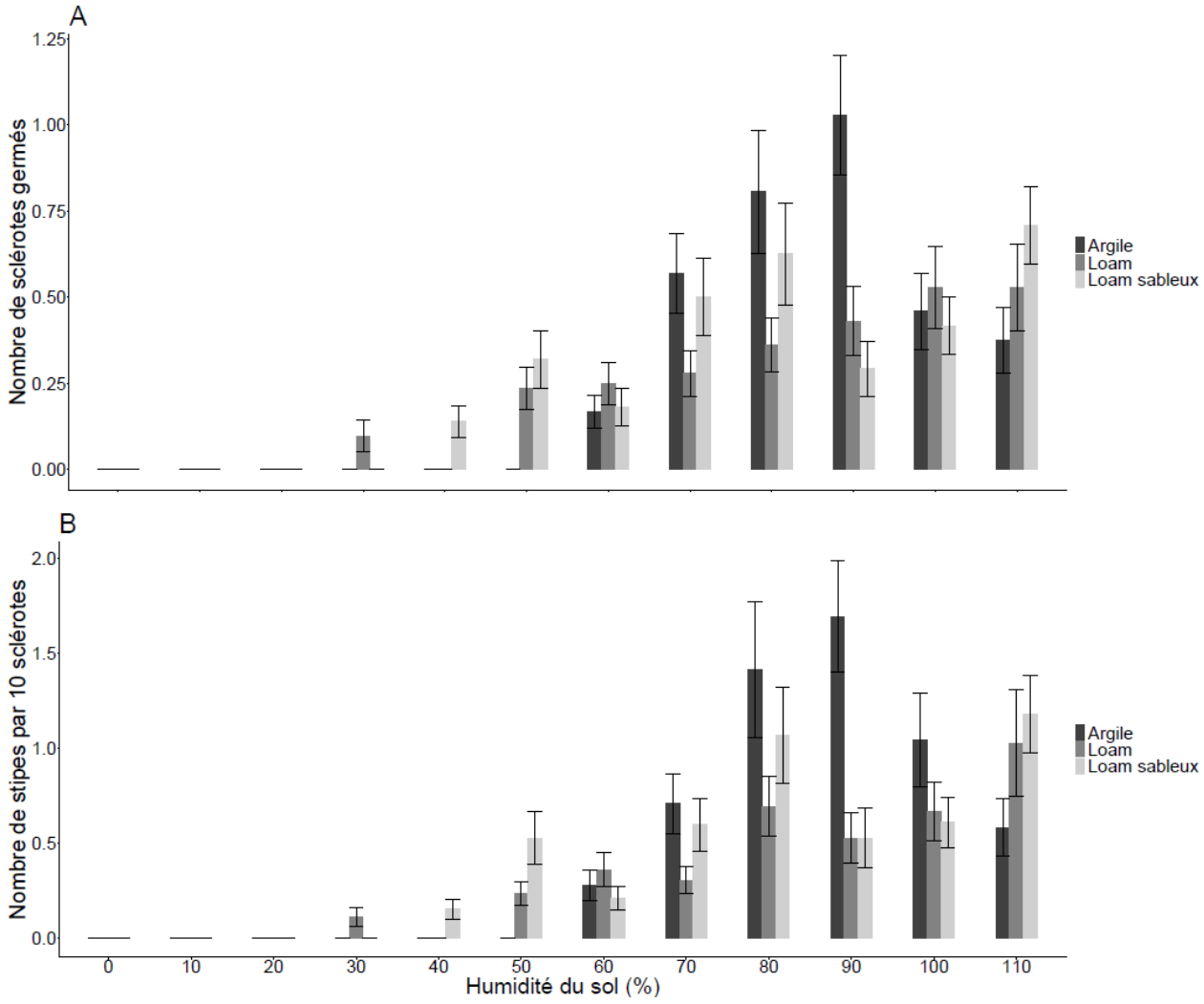


Figure 8. L'effet du type de sol et l'humidité du sol sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B)

Les résultats démontrent que le Contans WG® réduit significativement le nombre de sclérotes produisant des stipes, ainsi que la quantité totale de stipes formés. Cette efficacité se maintient indépendamment du type de sol ou du taux d'humidité, confirmant que le produit est aussi performant en sol argileux qu'en sol sablonneux. L'étude révèle toutefois une différence cruciale dans la germination de sclérotes : les sclérotes fructifient plus rapidement et produisent davantage de stipes dans un loam sableux que dans un sol argileux. Ce résultat pourrait entraîner des conséquences importantes pour les producteurs en sols sablonneux, que ça soit pour la gestion de la sclérotiniose du soya et pour le moment d'application du Contans WG® au printemps. Afin de maximiser le nombre de sclérotes atteints par *C. minitans* dans un sol sablonneux, il faudrait appliquer le produit plus tôt en saison pour réduire le nombre de sclérotes germés et la quantité de stipes au champ. Également, ces résultats suggèrent que des adaptations aux modèles prévisionnels de l'apparition des apothécies sont nécessaires afin d'améliorer la prédiction des apothécies dans des sols sablonneux. Les observations du RAP-Grandes cultures confirment cette tendance : depuis quelques années, les apothécies apparaissent plus tôt que ne le prévoient les modèles prévisionnels actuels. Cette disparité s'explique par le fait que les modèles prévisionnels initiaux ont été développés principalement à partir de données issues de sols argileux et limoneux, avec une sous-représentation de sols sablonneux. Il est impératif d'adapter les modèles prévisionnels en intégrant les spécificités des sols sablonneux. Le développement de modèles dédiés ou ajustés est essentiel pour offrir des outils de prédiction fiables à l'ensemble des producteurs, peu importe leur type de sol.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Les résultats seront diffusés au moyen d'une fiche synthèse partagée sur le site web du CÉROM et d'Agri-Réseau. Les résultats ont été présentés en format d'affiche scientifique lors du 4^{ième} Congrès RQRAD du 11 au 13 février 2025 et lors d'une journée avec des producteurs et conseils, soit le 'Retour 2025- Regard 2026' avec le CCAE Proconseil le 12 février 2026.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Les résultats de ce projet démontrent que le Contans WG® peut détruire les sclérotes, réduire la quantité de sclérotes qui germent, et réduire la quantité de stipes produit par sclérote. Les résultats suggèrent aussi que *C. minitans,* l'agent actif de Contans WG®, peut survivre l'hiver au Québec, rendant le produit potentiellement efficace sur plusieurs saisons. Le Contans WG® représente donc une alternative à

l'utilisation de fongicides foliaires pour le contrôle de la pourriture à sclérotes et présente un bon moyen de lutte pour les producteurs en régie biologique. Le manque d'effet du travail du sol sur l'efficacité du produit suggère que le produit peut être utilisé tant en travail de sol conventionnel qu'en semis direct. Le produit fonctionnerait de façon plus efficace au printemps, mais les applications printanières n'offrent pas assez de temps pour réduire le taux d'inoculum (nombre de sclérotes viables) au champ avant les stades sensibles à l'infection, soit les stades de floraison (R1 à R3). Une alternative serait d'appliquer le produit au printemps lorsqu'une culture non-hôte est au champ. Puisque les sclérotes en surface étaient atteints à un niveau plus élevé que les sclérotes en profondeur, une application immédiatement après la récolte du soya (ou tout hôte susceptible) et avant le travail du sol qui enterrera les sclérotes, pourrait s'avérer une option permettant d'atteindre le plus de sclérotes possibles. Par contre, selon l'hiver, un faible taux de survie hivernale est possible, rendant le produit moins efficace l'année suivante. Les données révèlent également que l'utilisation du produit permettrait une certaine flexibilité quant au moment de son application et son potentiel de survivre l'hiver suggère que le produit pourrait continuer à détruire les sclérotes pendant plusieurs saisons. L'utilisation du biofongicide Contans WG® est une bonne alternative aux fongicides foliaires et aidera à réduire les effets négatifs reliés à l'utilisation de fongicides chimiques.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Tanya Copley, PhD, chercheuse en phytopathologie
Centre de recherche sur les grains (CÉROM) inc.
740 chemin Trudeau
Saint Mathieu de Beloeil, J3G 0E2
Tel : +1 (450) 464 - 2715 poste 219
Courriel : tanya.copley@cerom.qc.ca

RÉFÉRENCES

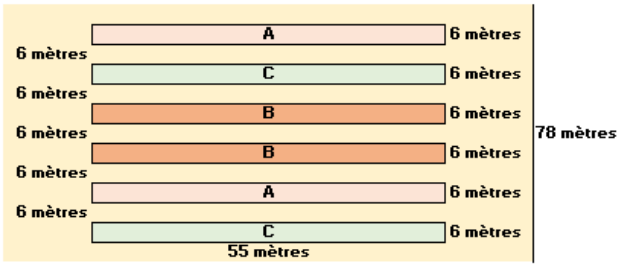
Matheron, ME, Porchas M. (2005). Influence of soil temperature and moisture on eruptive germination and viability of sclerotia of *Sclerotinia minor* and *S. sclerotiorum. Plant Disease* 89:50-54

Morrall, RAA (1977). A preliminary study of the incluence of water potential on sclerotium germination in *Sclerotinia sclerotiorum. Canadian Journal of Botany* 55: 8-11

ANNEXES

Annexe 1. Exemple de randomisation de bandes de traitements chez les producteurs

Champ 1- années 2022 et 2024



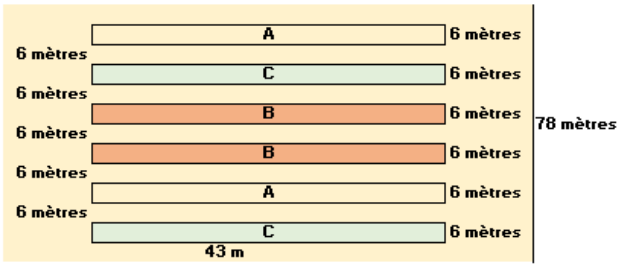
Traitements champ 1, année 2022

A	Application au printemps 2022
B	Application à l'automne 2022 (après la récolte du soya)
C	Témoin sans application

Traitements champ 1, année 2024

A	Application au printemps 2022 et printemps 2024
B	Application à l'automne 2022 (après la récolte du soya) et automne 2023
C	Témoin sans application

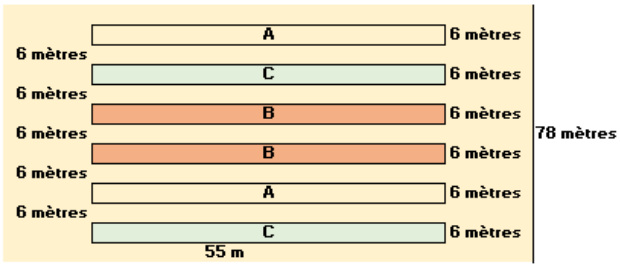
Champ 2- année 2023



Traitements

A	Application au printemps 2023
B	Application à l'automne 2022
C	Témoin sans application

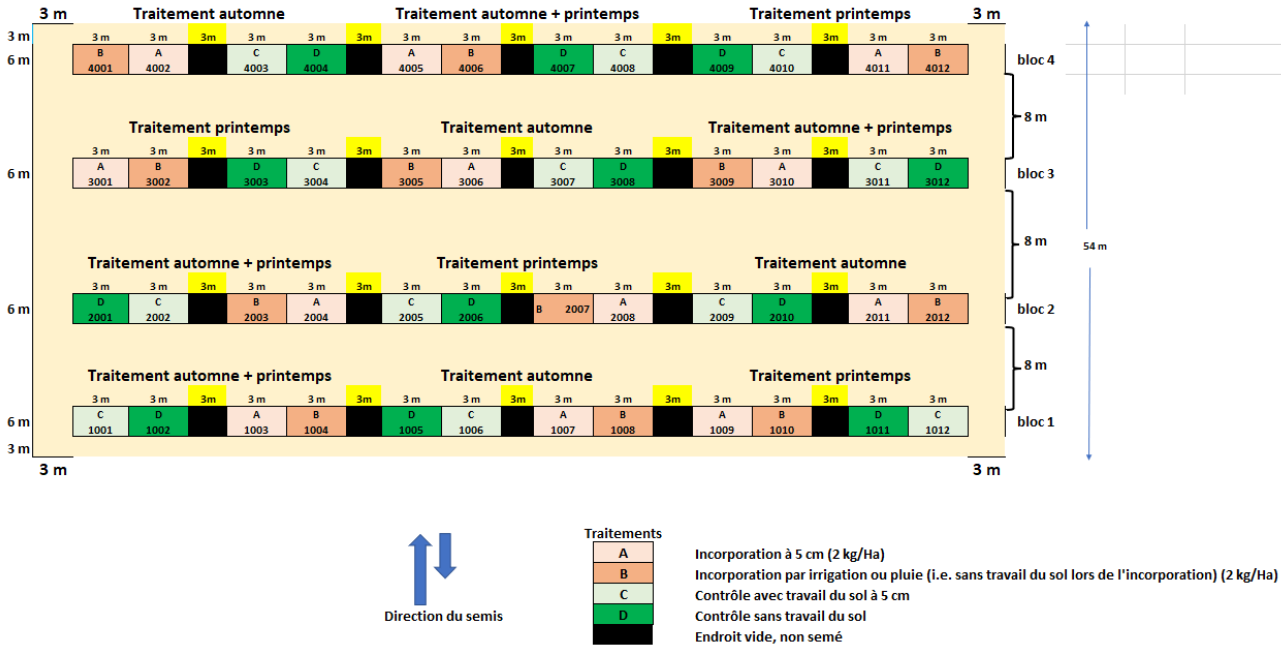
Champ 3- année 2024



Traitements

A	Application au printemps 2024
B	Application à l'automne 2023
C	Témoin sans application

Annexe 2. Exemple de randomisation de parcelles au CÉROM



Annexe 3. Textures de sols pour les essais *in vitro*

Sol	% Argile	% Loam	% Sable	Rétention d'eau maximale*
Argile	66,14	29,98	3,88	0,37
Loam sablonneux argileux	22,36	23,91	53,73	0,20
Loam sablonneux	15,40	18,60	66,00	0,17

*La rétention d'eau maximale représente la quantité d'eau maximale (en grammes) par quantité de sol (en grammes) que le sol est capable de retenir.

Annexe 4. Températures hivernales des saisons 2022-2023 et 2023-2024

	Moyenne	Maximum	Minimum
2022-2023	-4,4 °C	10,3 °C	-29,9 °C
2023-2024	-3,9 °C	15,3 °C	-20,6 °C

Températures hivernales (décembre à février) selon une station météorologique située au CÉROM à Saint-Mathieu-de-Beloeil.