Rapport Annexe 4 :

L'effet de l'humidité et le type de sol sur la fructification de sclérotes de *Sclerotinia sclerotiorum*

Durée du projet : Un an (débuté en avril 2024)

Introduction

La sclérotiniose est une des maladies les plus importantes pour la culture du soya mondialement, responsable à elle seule de pertes annuelles de 20 millions de dollars en Ontario uniquement. Depuis 2018, le CÉROM et le RAP travaillent sur la surveillance de l'apparition des apothécies afin de réduire les applications de fongicides non justifiées. Des modèles prévisionnels pour la prédiction de l'apparition des apothécies ont été développés aux États-Unis (Willbur et al. 2018) et par la suite recalibrés pour les conditions agroenvironnementales québécoises (Copley 2022). Bien que ces modèles fonctionnent relativement bien (exactitude de 75 % à 80 % selon l'année), les prédictions dans certaines régions sont plus ou moins aléatoires. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces mauvaises prédictions, incluant le type de sol ou des stations météorologiques trop éloignées. Pour le moment, la base de données n'a pas assez de sites-années pour tester si une recalibration des modèles est nécessaire pour améliorer les prédictions dans les régions touchées, ce qui nous permettrait de savoir si la mauvaise prédiction est due à une mauvaise prédiction climatique (stations météorologiques éloignées) ou à d'autres facteurs.

Deux facteurs principaux affectent la germination carpogénique des sclérotes, soit la température du sol et l'humidité du sol. Plusieurs études ont documenté qu'une température inférieure à 25 °C est optimale pour la fructification des sclérotes (Matheron et Porchas 2005, Morrall 1977, Nepal et del Rio Mendoza 2021, Wu et Subbarao 2008). L'humidité du sol a aussi un effet important, et plusieurs études ont démontré qu'un sol trop saturé ou trop sec empêche la fructification de sclérotes (Morrall 1977, Nepal et del Rio Mendoza 2012, Wu et Subbarao 2008). Par contre, les études examinant l'effet de l'humidité du sol sont souvent incomplètes, car elles utilisent un type de sol limitant la compréhension de l'effet du type de sol sur le taux de germination de sclérotes. Au meilleur de notre connaissance, seulement une étude a comparé l'effet du type de sol et l'humidité du sol sur le taux de fructification des sclérotes (Morrall 1977), alors qu'une autre a documenté l'effet de l'humidité relative sur le taux de germination dans deux types de sols (Nepal et del Rio Mendoza 2012).

Ce projet propose d'examiner l'effet de l'humidité du sol sur le taux de germination carpogénique des sclérotes dans un minimum de trois types de sol, soit un sol argileux, un sol limoneux et un sol loam-sablonneux afin d'évaluer l'effet de l'humidité du sol et le type de sol sur la germination de sclérotes.

Méthodologie

Des sclérotes préconditionnés avec un taux de fructification de >75 % ont été stérilisés et pré-saturés avec de l'eau. Les sclérotes ont été placés dans des godets contenant différents types de sols (argile, loam ou loam-sablonneux) à différents taux d'humidité de sol selon leur capacité de rétention d'eau. Un total de dix sclérotes ont été placés dans chaque godet, et les taux d'humidité variaient de 0 à 110 % de la capacité de rétention d'eau de chaque type de sol. À chaque semaine, le taux de germination a été évalué pour un maximum de 8 semaines. Le poids des godets a été noté à chaque semaine pour s'assurer que la capacité de rétention d'eau est constante (désormais appelé taux d'humidité du sol). Les godets ont été gardés à

des températures variant entre 15°C et 20°C avec un éclairage de 12 heures afin de favoriser la germination carpogénique (d'apothécies). Le sol a été passé au tamis et stérilisé à l'autoclave avant de faire les essais. Trois godets de 10 sclérotes par traitement ont été évalués.

Résultats

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 1**). 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 2**). 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 1**). 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 1**). 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 2**). 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 3**). 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 1. 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 2. 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

* $P < 0,05$

** $P < 0,01$

*** $P < 0,001$

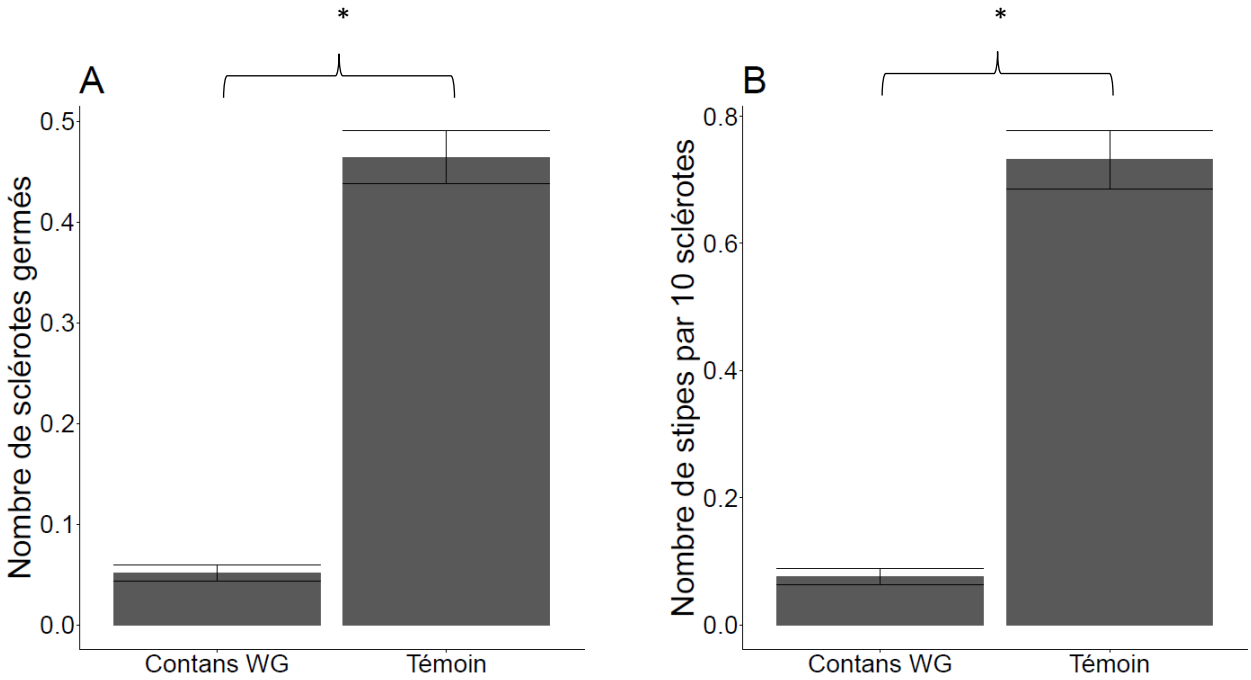


Figure 1. Effet du Contans WG® sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B). * $P < 0,05$

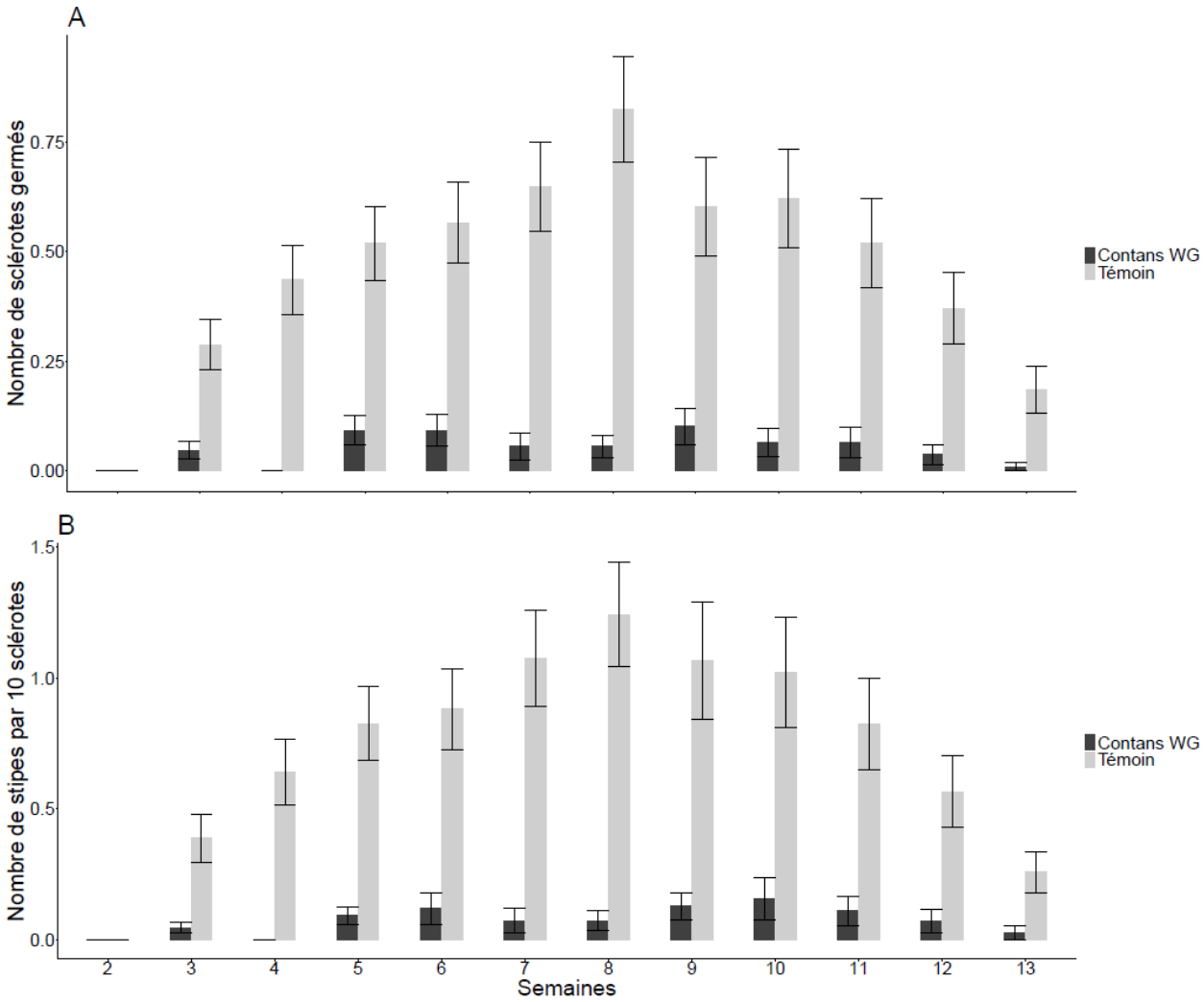


Figure 2. L'effet du temps depuis la mise en place des essais sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B).

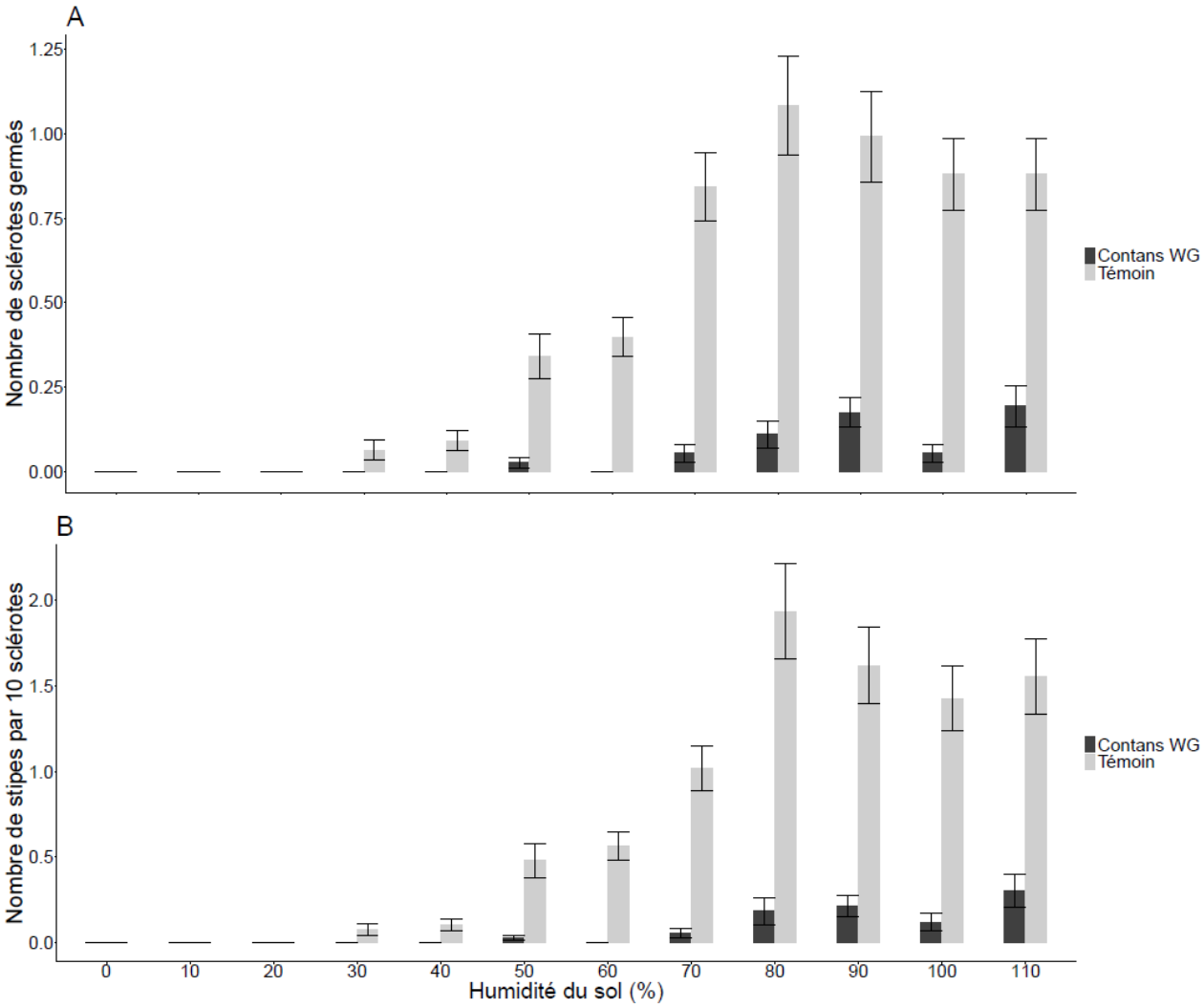


Figure 3. Effet de l'humidité du sol sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B).

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 4**). 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 5**). 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 6**).

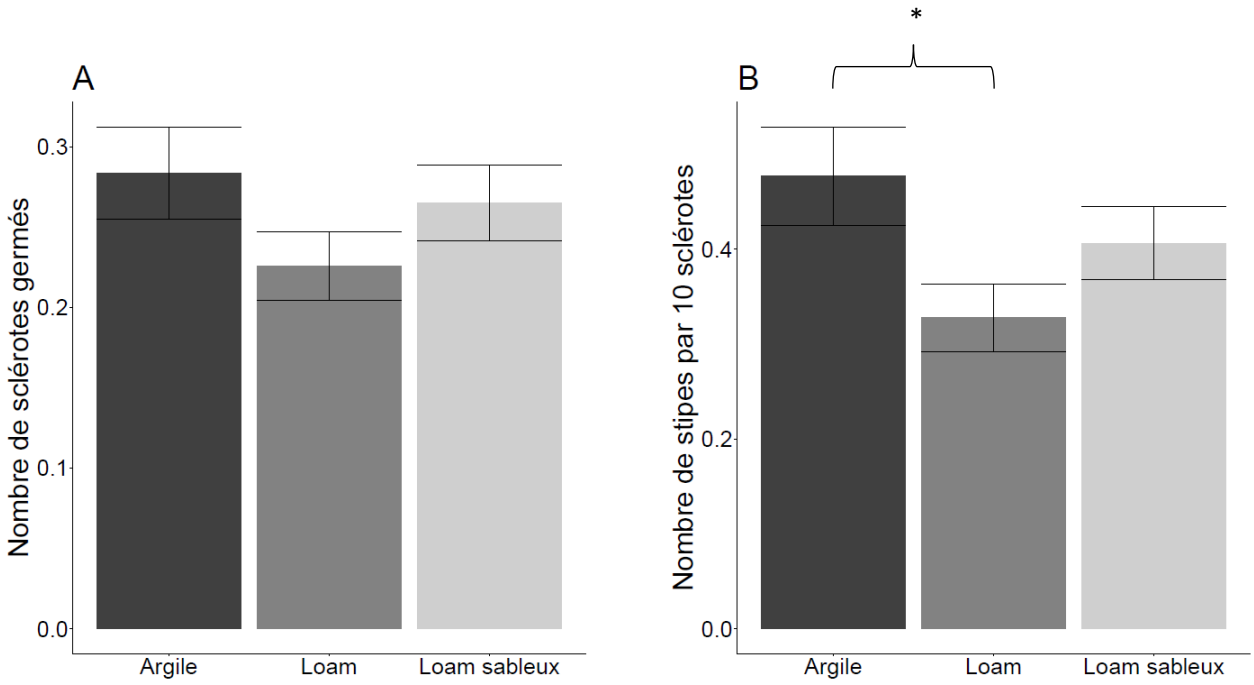


Figure 4. L'effet du type de sol sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B). * $P < 0,05$

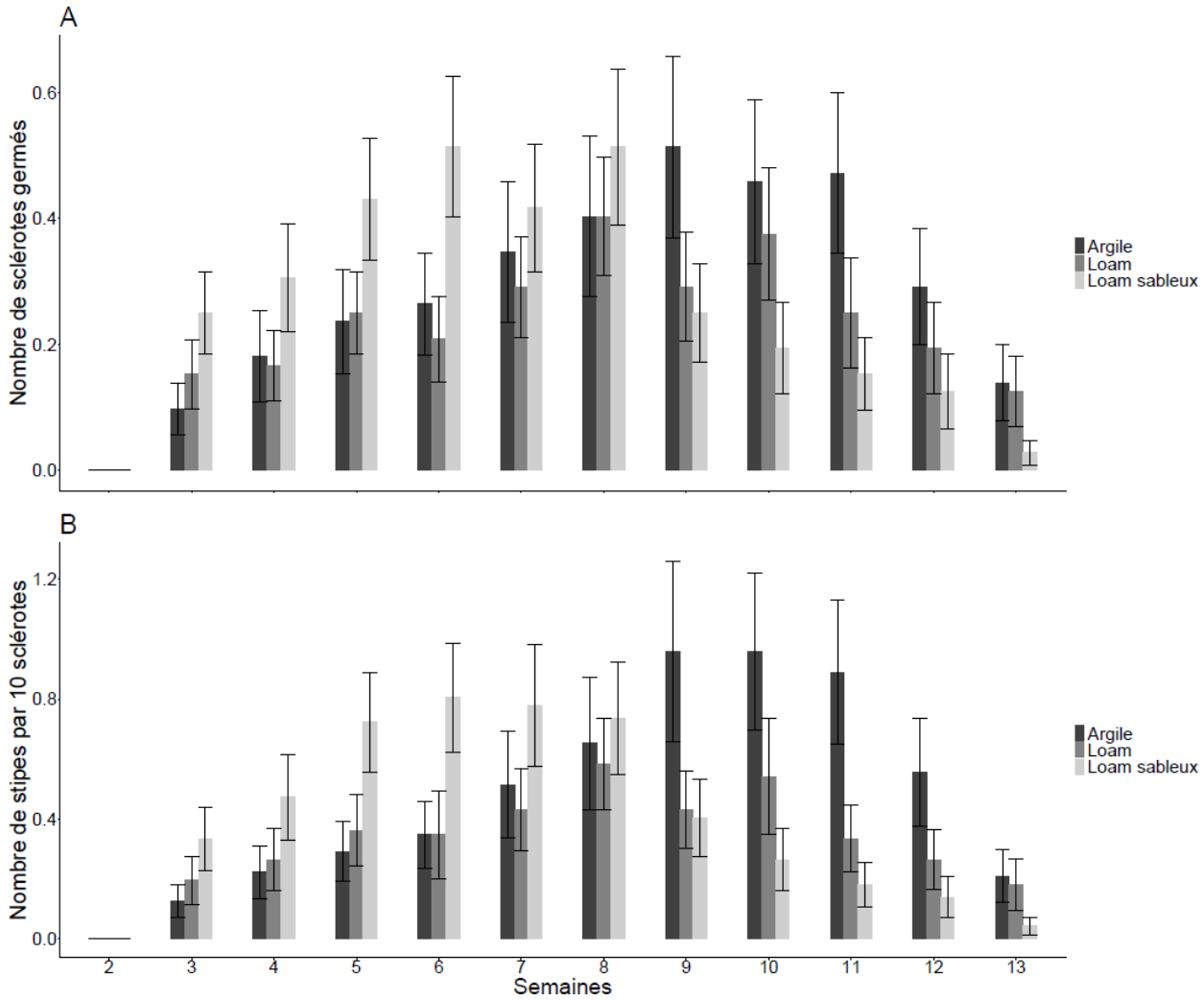


Figure 5. L'effet du type de sol et le temps depuis la mise en place des essais sur le nombre de sclérotes germés (A) et la quantité de stipes par dix sclérotes (B).

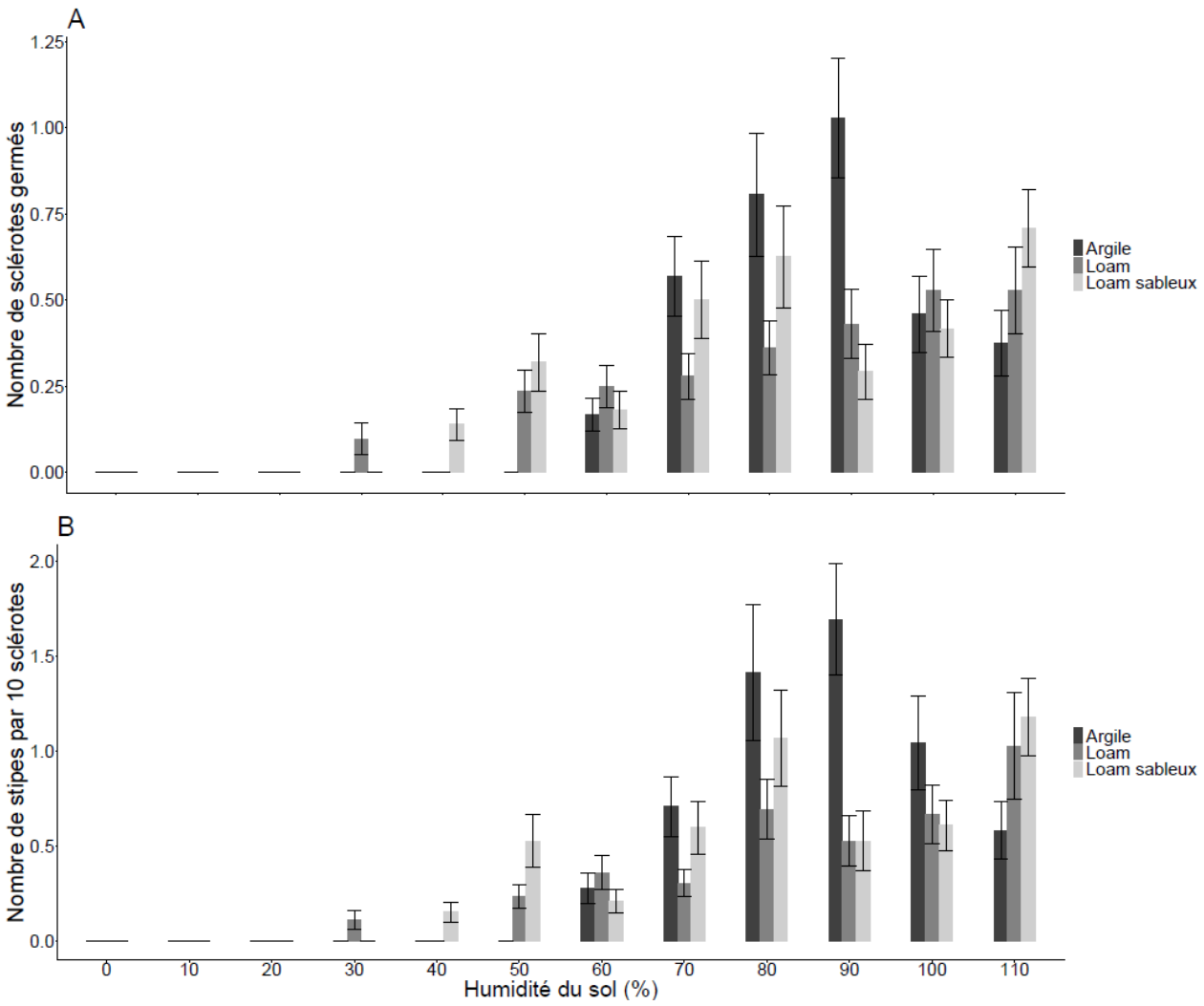


Figure 6. L'effet du type de sol et l'humidité du sol sur la germination de sclérotes (A) et le nombre de stipes par dix sclérotes (B)

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.

Références :

Matheron, ME et 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 influence of water potential on sclerotium germination in *Sclerotinia sclerotiorum. Canadian Journal of Botany* 55:8-11

Nepal, A et de Rio Mendoza, LE (2012). Effect of sclerotial water content on carpogenic germination of *Sclerotinia sclerotioru. Plant Disease* 96:1315-1322

Wu, BM et Subbarao, KV (2008). Effects of soil temperature, moisture, and burial depths on carpogenic germination of *Sclerotinia sclerotiorum* and *S. minor. Phytopathology* 98:1144-1152