

GC2030



Golf Course 2030

Agronomie Durable

Alternatives de gestion du dollar spot
sur les greens en sable





L'Association Francophone Belge de Golf (AFGOLF) s'engage à superviser et à promouvoir le golf en Wallonie et à Bruxelles, couvrant le jeu récréatif à haut niveau. Ses tâches incluent la supervision de la pratique du golf, le soutien aux clubs, l'amélioration de

l'image du sport, la promotion de l'inclusivité, l'amélioration des compétences des joueurs, la mise en œuvre de pratiques durables et la fourniture d'une formation complète pour tous les acteurs.



Swiss Golf est l'association faitière pour le sport du golf en Suisse. Ses membres incluent 98 parcours de golf en Suisse et dans les pays voisins, ainsi que deux organisations publiques de golf. Elle regroupe plus de 100 000 golfeurs licenciés en Suisse. En 2018, Swiss Golf a initié une transformation culturelle majeure. La durabilité est désormais le pilier de la culture du golf en Suisse.

Le golf, un sport qui favorise les liens sociaux, l'échange intergénérationnel et l'inclusivité, s'épanouit en harmonie avec la nature. Nous assumons la responsabilité de l'utilisation de l'eau et des ressources, y compris les produits de protection des plantes. Le golf peut être un sanctuaire pour les gens, respectant et préservant l'environnement naturel. Des solutions sont développées pour minimiser notre empreinte, en particulier sur les greens.

Projet soutenu par :



1. Introduction	4	8. Analyse statistique	17
2. Contexte de recherche	5	8.1 Observations et traitement des données	18
3. Méthodologie	5	8.2 Modèles ANOVA	19
3.1 Disposition expérimentale	5	8.2.1 Effets du climat	19
3.2 Sélection et application des substances	6	8.2.2 Catégorie de produit et facteur de modification	19
3.3 Calendrier d'application	6	8.2.3 Amendements	19
3.4 Durée et entretien des parcelles	6	8.2.4 Importance et implications	19
3.5 Collecte des données	6	9. Données environnementales : résultats	20
3.6 Analyse des données	7	9.1 Disposition	20
3.7 Replication et robustesse des résultats	7	9.2 Sélection et application des substances	23
4. Mise en place de la recherche	8	9.3 Calendrier d'Application	24
5. Début des tests	11	9.3.1 Durée et entretien des parcelles de test	25
6. Observations météorologiques et des maladies	13	9.3.2 Collecte des données	25
7. Résultats	14	10. Conclusion	26
7.1 Analyse quantitative	15	11. Travaux futurs et recherche	26
7.1.1 Substances actives	15	12. Equipe de recherche et de soutien	27
7.1.2 Analyse des amendements	16	13. Glossaire	28
		14. Annexes	29
		Annexe 1	30
		Annexe 2	32
		Annexe 3	34



1. Introduction

À la recherche de solutions efficaces pour lutter contre les maladies cryptogamiques, en particulier le dollar spot, la recherche présentée dans ce rapport se concentre sur l'évaluation de l'efficacité de diverses substances, y compris les fertilisants, les biocontrôles et les micro-organismes, dans le cadre d'une gestion sans pesticides.

La recherche vise à évaluer l'efficacité de diverses approches sans pesticides contre le dollar spot (*Clariireedia* sp.), en testant des substances naturelles aux côtés d'amendements inorganiques et organiques pour renforcer l'immunologie des plantes et combattre les bio-agresseurs sur les greens en sable maintenus.

Ces substances ont été testées par le biais d'applications régulières sur des greens existants en Belgique et en Suisse. En parallèle, une partie des parcelles a été enrichie avec des amendements minéraux, tels que la zéolite et les argiles, dans le but d'évaluer leur efficacité.

Ce rapport présente les résultats de la recherche, qui a été menée sur huit parcours de golf en Belgique et en Suisse. De plus, l'influence des conditions météorologiques, des apports d'azote et des niveaux d'oxygène dans le sol sur les épidémies de maladies est prise en compte.

2. Contexte de la recherche

Cette recherche a été conçue comme une étude transnationale, englobant la Belgique et la Suisse, avec un total de huit réplicats : cinq en Belgique et trois en Suisse. La recherche visait à étudier l'efficacité de dix substances différentes pour lutter contre les maladies cryptogamiques, notamment le dollar spot.

Chaque parcours de golf participant comportait des greens divisés en 44 parcelles de 1m² chacune, formant une configuration expérimentale structurée.

L'**annexe 1** fournit une documentation visuelle de la conception expérimentale, tandis que l'**annexe 2** offre des informations détaillées sur les substances examinées. La table détaillée des résultats de l'analyse statistique se trouve dans l'**annexe 3**.

3. Méthodologie

3.1 Disposition expérimentale

Chaque substance a été évaluée selon une approche systématique, avec quatre parcelles de test de 1m² attribuées à chacune. Les parcelles étaient disposées en lignes de 2x2, résultant en deux répétitions par green. Au sein de chaque répétition :

- Les deux parcelles recevaient des applications des substances actives
- Une était enrichie avec des amendements de sol minéraux, incluant des céramiques poreuses, des sources de carbone, de la zéolite et des mycorhizes (appelée "enrichie", Ligne B).

De plus, une parcelle de "contrôle" était dédiée sur chaque ligne, culminant à un total de 44 parcelles sur chaque green. Le processus de randomisation a eu lieu au sein de chaque répétition et sur différents greens, garantissant une distribution équilibrée. L'équipe de greenkeeping a respecté la configuration spécifiée, guidée par une formation complète. L'agronome était responsable de superviser la mise en œuvre et d'assurer une méthodologie cohérente tout au long de la période de recherche de six mois.

3.2 Sélection et application des substances

Les tests ont commencé avec une série d'applications de diverses substances sur des parcelles régulières et enrichies. Dix substances ont été sélectionnées pour les tests, classées en quatre catégories distinctes :

- **Micro-organismes du sol**
- **Éliciteurs de défense naturelle**
- **Éléments fertilisants**
- **Substances fongiques naturelles.**

Pour maintenir l'impartialité, l'équipe de greenkeeping ignorait l'identité des produits appliqués. Les produits étaient anonymisés et numérotés de 1 à 10, chaque club partenaire recevant des instructions précises pour le placement des produits sur toutes les parcelles. Les applications des substances étaient effectuées toutes les deux semaines sur toutes les parcelles et les amendements minéraux étaient appliqués sur les parcelles requises toutes les quatre semaines.

3.3 Calendrier d'application

Les substances étaient appliquées à intervalles réguliers :

- **Toutes les deux semaines, chaque parcelle de test recevait une quantité prédéfinie de la substance attribuée**
- **Toutes les six semaines, les parcelles "enrichies" étaient amendées avec des améliorateurs de structure de sol organiques.**

3.4 Durée et entretien des parcelles de test

Pendant cette période, les parcelles de test ont fait l'objet d'un entretien mécanique régulier identique au reste du parcours. En ce qui concerne toutes les pulvérisations, à l'exception des produits fertilisants, aucun pesticide, fongicide, insecticide, biostimulant ou autre substance n'a été appliqué sur les parcelles de recherche. Toutes les activités d'entretien et de pulvérisation ont été scrupuleusement documentées sur une plateforme numérique, l'équipe de greenkeeping fournissant des mises à jour quotidiennes, assurant la précision et la transparence des données.

3.5 Collecte des données

Mesure du niveau d'oxygène

Des mesures régulières des niveaux d'oxygène disponibles sur les greens ont été effectuées sur chaque parcours de golf. Une sonde manuelle d'oxygène a été utilisée pour évaluer le pourcentage d'oxygène dans le substrat à une profondeur d'environ 10-12 cm. Les mesures étaient prises mensuellement.

Stations météorologiques

Des stations météorologiques ont été installées pour capturer la température (de l'air et du sol), l'humidité (de l'air et du sol), les précipitations, le point de rosée, la vitesse du vent, et la radiation solaire. À partir des données, l'évapotranspiration quotidienne (ETP), l'intégrale lumineuse quotidienne (DLI) et les valeurs de risque de déclenchement du dollar spot étaient calculées chaque jour.

Observation des maladies

Les épidémies de maladies, en particulier les attaques de dollar spot, étaient étroitement surveillées et documentées sur chaque parcours de golf. Pendant la période de recherche, l'équipe sur place prenait des photos de chaque parcelle de 1m² toutes les deux semaines. Ces images étaient nommées de manière appropriée, envoyées à l'AFGOLF, examinées, analysées et archivées. En plus de la documentation visuelle, l'équipe de greenkeeping remplissait des fiches d'observation de site pour surveiller toute anomalie et documenter les conditions du site.

Chaque mois, l'agronome effectuait des lectures d'oxygène dans le sol sur chaque parcelle de 1m² lors de leurs visites de routine. Les données collectées étaient stockées, examinées et archivées. Les stations météorologiques et les capteurs de sol, positionnés sur chaque parcours de golf participant, facilitaient la surveillance en temps réel des conditions locales, enrichissant l'ensemble de données.

3.6 Analyse des données

Les données collectées à partir des stations météorologiques, des mesures d'oxygène et des observations des maladies ont été analysées à l'aide de statistiques descriptives et quantitatives. L'influence des conditions météorologiques sur les épidémies de maladies a été explorée par recoupement des données. L'efficacité des différentes substances dans la prévention des épidémies de maladies a été évaluée sur la base des résultats observés.

3.7 Réplication et robustesse des résultats

La réplication stratégique de l'expérience au sein de chaque green, englobant une variété de conditions climatiques et de profils de sol, a assuré la robustesse et la pertinence des résultats aux niveaux régional, national et international. La méthodologie complète, l'exécution rigoureuse et la collecte de données exhaustive ont établi une base solide pour les résultats de la recherche et leurs implications.



Figure 1: Application au Golf Club de Wylihof – 25-05-2023



Figure 2: Enlèvement de la rosée au Golf Club de Rigenée – 18-06-2023

Mise en place de la recherche.

4. Set-up de la recherche

En mars et avril 2023, des parcelles de test ont été installées sur huit parcours de golf en Belgique et en Suisse :

- Naxhelet Golf Club, Golf Club de Rigenée, Royal Bercuit Golf Club, Royal Hainaut Golf Club et Avernas Golf Club en Belgique
- Wylihof Golf Club, Golf Limpachtal and Migros Golfpark Moossee en Suisse.

Chaque parcours de golf participant à la recherche a reçu un kit standardisé contenant des substances, des dosages et un plan de pulvérisation imprimé, garantissant la neutralité dans le processus de test et limitant le risque d'erreurs.



Figure 3: Carte des huit parcours de golf participant à la recherche.



Figure 4: Configuration des parcelles au Golf Club de Naxhelet, Belgique – 01-04-2023



Figure 5: Configuration des parcelles au Golf Club de Naxhelet, Belgique – 01-04-2023

Début des tests.

	1 metre	1 metre	1 metre	1 metre	1 metre	1 metre					
TA	P2A	P1A	P3A	P4A	P9A	P1A+P2A P3A+P4A P5A	P7A	TA	P8A	P1A+P2A P3A+P4A	P10A
TB	P2B	P1B	P3B	P4B	P9B	P1B+P2B P3B+P4B P5B	P7B	TB	P8B	P1B+P2B P3B+P4B	P10B
TC	P3C	P1C	P8C	P4C	P9C	P7C	P10C	P1C+P2C P3C+P4C P5C	P2C	TC	P1C+P2C P3C+P4C
TD	P3D	P1D	P8D	P4D	P9D	P7D	P10D	P1D+P2D P3D+P4D P5D	P2D	TD	P1D+P2D P3D+P4D

Figure 6: Tableau de randomisation fourni à chaque parcours de golf

TA	randomisation 1
TB	randomisation 1 + amendement
TC	randomisation 2
TD	randomisation 2 + amendement



Figure 7 (gauche): Installation d'une station météo connectée et d'un capteur de sol au Wylihof Golf Club, Suisse - 17-03-2023

Figure 8 (droite): Formation sur la méthodologie de recherche au Wylihof Golf Club, Suisse - 17-03-2023

Figure 9 (en bas): Deuxième application au Wylihof Golf Club - 22-05-2023



5. Début des tests

La recherche visait à couvrir une saison de golf complète, d'avril à octobre, soit six mois.

En raison de problèmes d'approvisionnement et de conditions météorologiques exceptionnellement froides fin avril/début mai 2023, les tests ont commencé avec un léger retard par rapport au calendrier, car les bactéries indigènes ne peuvent être appliquées que lorsque la température du sol dépasse 10°C. Ces seuils ont été atteints en mai 2023, les tests se poursuivant jusqu'à la mi-novembre de la même année.

6. Observations météorologiques et des maladies

Les conditions météorologiques du printemps et du début de l'été 2023 se caractérisaient par une faible humidité et une rosée minimale, ce qui a entravé l'établissement des épidémies de dollar spot.

Parmi les huit parcours de golf, seuls trois ont signalé des attaques de dollar spot.

En septembre, tous les parcours avaient connu un certain niveau de dollar spot, mais les dégâts restaient superficiels sur certains sites. En Suisse, tandis qu'un green était affecté dès le début mai, les autres étaient beaucoup moins endommagés et n'ont subi une certaine pression de la maladie qu'à partir de la fin août. En Belgique, une première attaque a été observée sur un site en mai, suivie d'une deuxième attaque sur un deuxième site plus tard en juin. Les trois autres sites de test sont restés exempts de maladies pendant la majeure partie de l'essai ou avec quelques légers dommages observés à partir de la fin août.



Figure 10: Photo prise sur le green de test au début de l'essai - Naxhelet Golf Club - 18-05-2023



Figure 11: Photo prise sur le green de test pendant l'essai (milieu de l'essai) - Naxhelet Golf Club - 10-08-2023



Figure 12: Parcelle de sulfate de fer après une attaque de dollar spot - Naxhelet Golf Club - 10-08-2023



Figure 13: Parcelle de contrôle (sans pulvérisation) après une attaque de dollar spot - Naxhelet Golf Club - 10-08-2023



Figure 14: Parcelle de sulfate de fer après une attaque de dollar spot - Golf Club de Rigenée - 03-09-2023



Figure 15: Parcelle de contrôle (sans pulvérisation) après une attaque de dollar spot - Golf Club de Rigenée - 03-09-2023

Résultats



7. Résultats

Au cours de la période de recherche de 27 semaines, du 3 mai 2023 au 10 novembre 2023, un total de 4293 observations et 1831 observations de "maladies non nulles" ont été collectées sur un total de 384 m² de parcelles de test, y compris 36 m² de parcelles de contrôle.

7.1 Analyse quantitative

7.1.1 Substances actives

Comme illustré à la Figure 16, une analyse comparative initiale des 4293 points de données révèle quelques tendances initiales, avec 9 des 17 substances démontrant une réduction de la gravité de la maladie par rapport aux parcelles de contrôle,

suggérant une certaine efficacité de :

- Bactéries fixatrices d'azote (A)
- Sulfate de fer (B)
- Mélange de bactéries indigènes (C)
- Mélange de bactéries indigènes enrichies en Bacillus (E)
- Bactéries produisant des sidérophores (F)
- Bactéries solubilisant le phosphore (H)
- Mélange de lactobacilles / bactéries Bacillus natto (O)
- Trichoderma atroviride (P)
- Mycorhizes (Q)

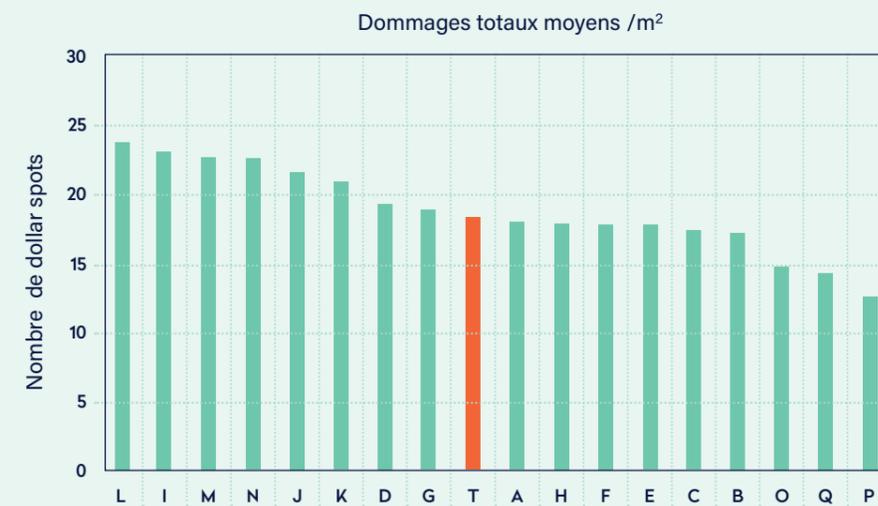


Figure 16: Dommages moyens causés par la maladie (tous les blocs)

Analyse statistique.

7.1.2 Analyse des amendements

En revanche, les résultats pour les amendements (améliorateurs de structure de sol organiques) ont montré que la maladie était plus résistante sur les parcelles amendées dans 40% des cas, suggérant une efficacité mitigée, comme illustré à la Figure 17.

Nombre de dommages moyens causés par le dollar sport /m²
Parcelles amendées vs parcelles non-amendées

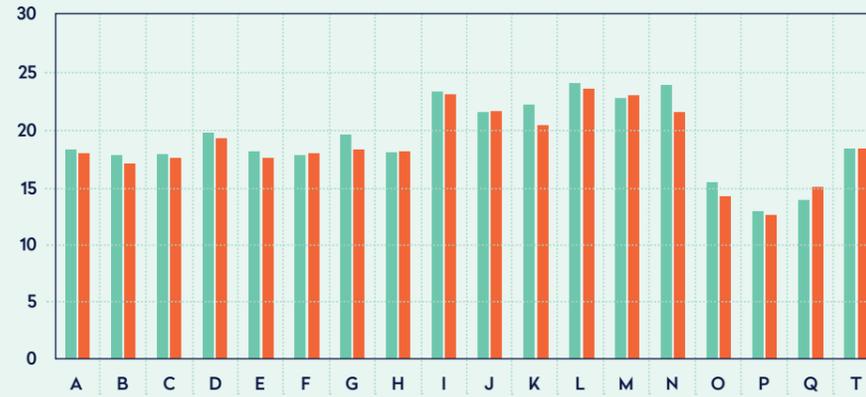


Figure 17: Dommages moyens causés par la maladie – parcelles enrichies vs non enrichies (tous les blocs)

■ Non-amendé
■ Amendé



Figure 18: Configuration des parcelles au Golf Club d'Avernas – 26-04-2024



8. Analyse statistique

8.1 Observations et traitement des données

Une inspection initiale de l'histogramme des données et de sa courbe de densité de données révèle, comme illustré à la Figure 19, la nature bimodale significative des données, probablement due à la longue période sans événements pathologiques pendant l'essai, causant la dispersion des données.

Bien que le test de Shapiro-Wilk¹ suggère un certain degré de normalité, le test d'homogénéité des variances de Levene est violé.

Comme la variance semble être proportionnelle à la moyenne, comme montré à la Figure 20, une transformation en racine carrée a été appliquée pour stabiliser la variance.

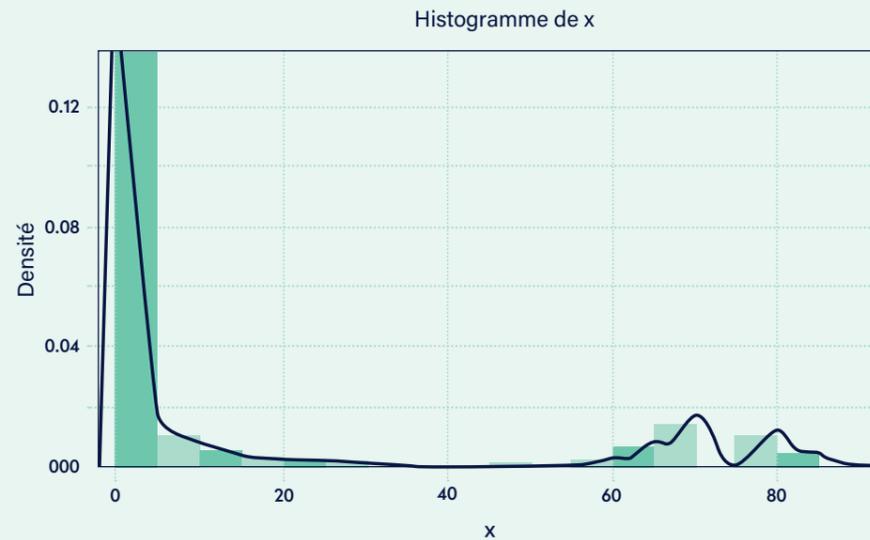


Figure 19: Histogramme de la densité des données brutes

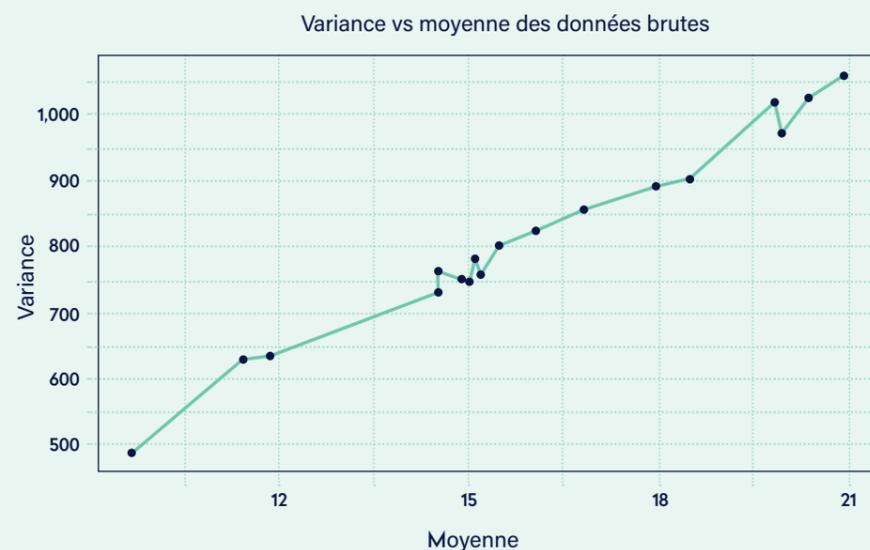


Figure 20: Variance par rapport à la moyenne des données brutes

Des tests de Shapiro-Wilk subséquents sur les données transformées en racine carrée indiquent une conformité avec la normalité et permettent une stabilité de la variance avec des résultats satisfaisants du test de Levene².

Pour comparaison, une transformation logarithmique a également été appliquée. La transformation en racine carrée a été jugée plus appropriée étant donné l'ajustement amélioré obtenu par rapport à la transformation logarithmique, qui ne capturerait pas aussi clairement les tendances et la variabilité sous-jacentes des données.

Avec un intervalle minimum de deux semaines entre tous les points de données, les observations ont été traitées comme des événements indépendants.

¹ Le test de Shapiro-Wilk est un test statistique qui évalue la normalité d'un ensemble de données. Il teste l'hypothèse nulle selon laquelle les données proviennent d'une population normalement distribuée. Un résultat de test significatif suggère que les données dévient de la normalité, ce qui peut affecter la validité des tests statistiques qui supposent une distribution normale.

² Le test de Levene examine l'homogénéité des variances entre les groupes. Il teste si différents échantillons ont des variances égales, une hypothèse requise pour divers tests statistiques tels que l'ANOVA. La violation de cette hypothèse peut conduire à des conclusions incorrectes, rendant le test de Levene crucial pour valider les conditions pour une analyse plus approfondie.

8.2 Modèles ANOVA

Un modèle ANOVA (Analyse de la variance), appliqué aux données originales et transformées, a été utilisé pour évaluer les effets du temps (période), des pratiques de gestion (application des amendements) et du type de substance (catégorie de produit) sur la résistance des plantes au dollar spot.

8.2.1 Effets du climat

Sans surprise, les modèles ont mis en évidence l'impact significatif du temps sur tous les ensembles de données, soulignant l'effet saisonnier clair de l'apparition du dollar spot.

8.2.2 Catégorie de produit et facteur de modification

Bien que la plupart des catégories de produits n'aient pas montré d'effet statistiquement significatif, les catégories de produits A, B, C, E, F et H ont systématiquement montré un nombre inférieur de maladies par rapport au contrôle. Un effet négatif statistiquement significatif a été trouvé dans l'analyse par paires des données transformées en racine carrée pour les catégories de produits B et C. Cela indique le potentiel de ces substances pour réduire efficacement l'incidence de la maladie et correspond, respectivement, au sulfate de fer et au mélange de bactéries indigènes.

La comparaison par paires, souvent effectuée après un test ANOVA, est une méthode statistique utilisée pour déterminer si les différences entre les moyennes de deux groupes sont statistiquement significatives. L'annexe 3 comprend la table détaillée des résultats.

Il est important de noter que l'absence de signification statistique dans les autres catégories est probablement due à la nature asymétrique des données et à la prédominance des occurrences de "non-événement" masquant tout effet potentiel.

8.2.3 Amendements

Selon l'analyse ANOVA, les amendements (améliorateurs de structure de sol organiques) n'ont montré aucun impact significatif, suggérant que ce facteur peut ne pas influencer l'apparition de la maladie ou que les données n'ont pas suffisamment capturé leurs effets potentiels.

8.2.4 Importance et implications

L'importance des effets négatifs des produits B et C est une découverte cruciale suggérant que ces substances pourraient être bénéfiques dans la gestion du dollar spot. Cependant, il est également important de noter les limitations imposées par l'asymétrie et la surdispersion des données causées par la prévalence de points de données "non-événement" suite à la saison relativement sèche, qui n'était pas très propice au dollar spot.

9. Résultats de l'analyse des données environnementales

Une inspection plus approfondie des données suggère l'importance du contexte environnemental dans lequel la parcelle existe pour déterminer son sort. Trois domaines d'influence majeurs ont été identifiés, comme suit.

9.1 Réserve nutritionnelle et apport en azote

Une analyse plus détaillée des différents plans de nutrition pour les divers clubs et parcours de golf met en évidence la pertinence du programme d'apport en azote en termes de résistance des plantes aux maladies.

En observant la Figure 21 et en considérant les trois sites les moins et les trois sites les plus touchés par la maladie, nous pouvons voir que la courbe de nutrition des sites les plus endommagés montre une baisse systématique ou un désalignement par rapport à la courbe de croissance. En comparaison, les sites les moins atteints semblaient avoir maintenu, dans l'ensemble, une réserve d'azote plus grande et plus constante au cours de la saison, évitant ainsi de tomber dans une zone de déficit azoté.

Une comparaison plus détaillée du bilan azoté des différents sites peut être trouvée dans l'annexe 2.

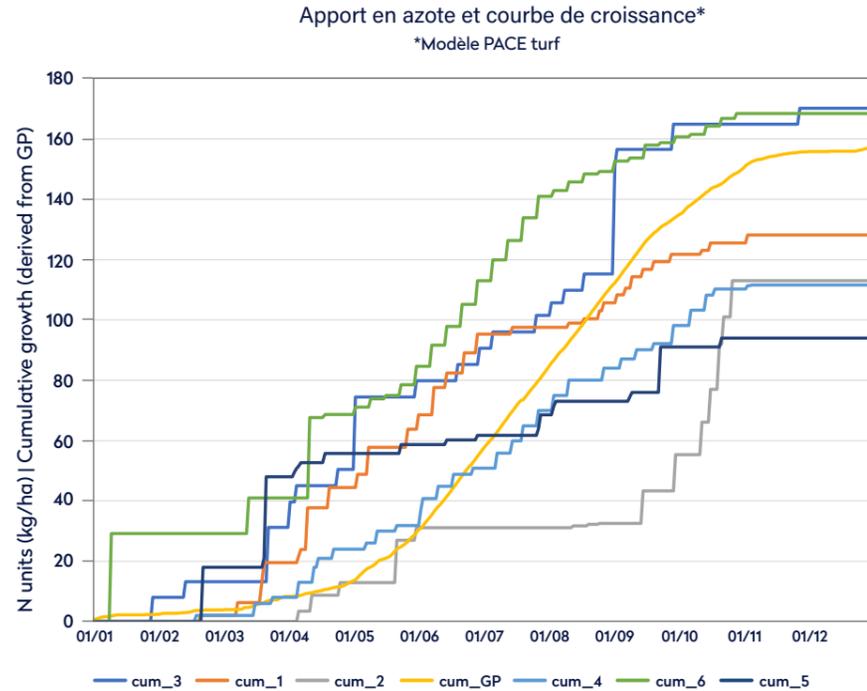


Figure 21: Apport cumulé en azote et courbe de croissance cumulée basée sur le modèle de croissance

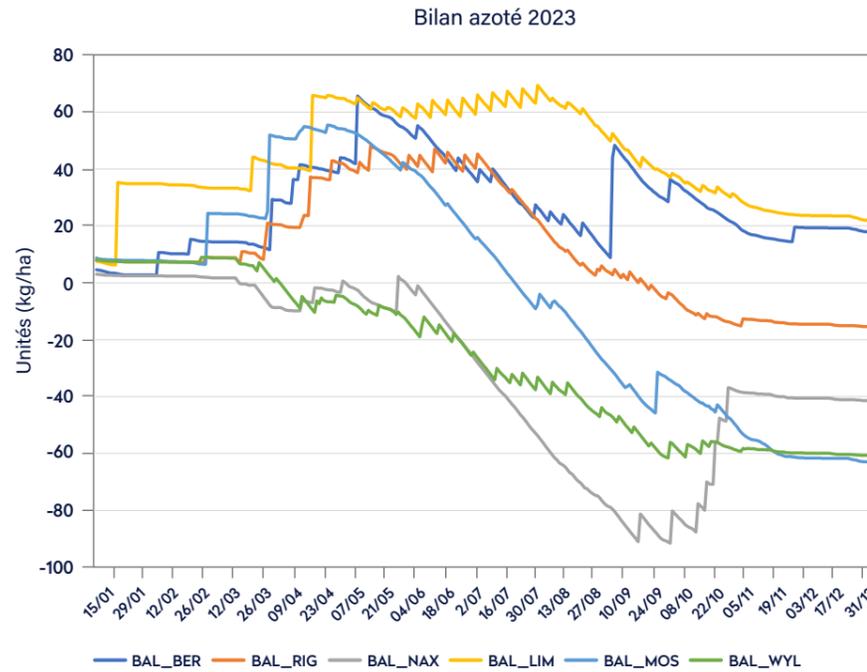


Figure 22: Bilan azoté au cours de la saison d'après le modèle de croissance du gazon PACE

Une comparaison des taux de pression du dollar spot en utilisant le modèle Smith-Kerns appuie ces observations. Bien que les épidémies de maladies diffèrent considérablement entre les sites, les différences de pression cryptogamique varient peu entre les différents blocs.

En plus de fournir à la plante un soutien adéquat et un environnement de vie via le sol, deux facteurs semblent décisifs ici.

Premièrement, il semble essentiel de s'assurer que les réserves de la plante sont maintenues à un niveau suffisant. Deuxièmement, il est important d'ajuster l'apport en nutriments pour s'adapter à la condition locale du parcours en termes de couverture herbeuse, de composition du gazon et de structure du substrat, et de prendre en compte l'exposition au vent et à l'ombre, qui auront une influence majeure sur la feuille et son activité de croissance par l'influence de la température.

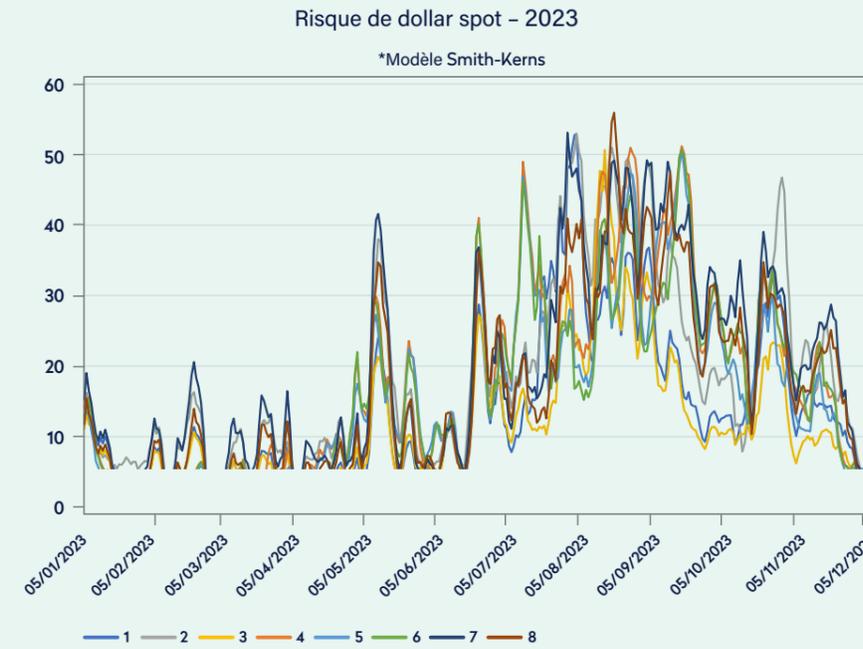


Figure 23: Risque de dollar spot selon le modèle Smith-Kerns pour les huit différents sites

Bien que partageant des courbes de croissance extrêmement similaires, les blocs 1, 4 et 5 montrent des courbes de bilan azoté distinctes et pourtant démontrent une très bonne résistance à la maladie en maintenant, chacun à leur manière,

un bilan azoté positif, évitant ainsi de tomber dans une zone de déficit azoté et respectant leur courbe de croissance locale. En comparaison, dans les blocs 2, 3 et 6, une baisse de la courbe de nutrition est systématiquement observée

à un moment donné de la saison et les dommages causés par la maladie semblent suivre systématiquement peu de temps après.

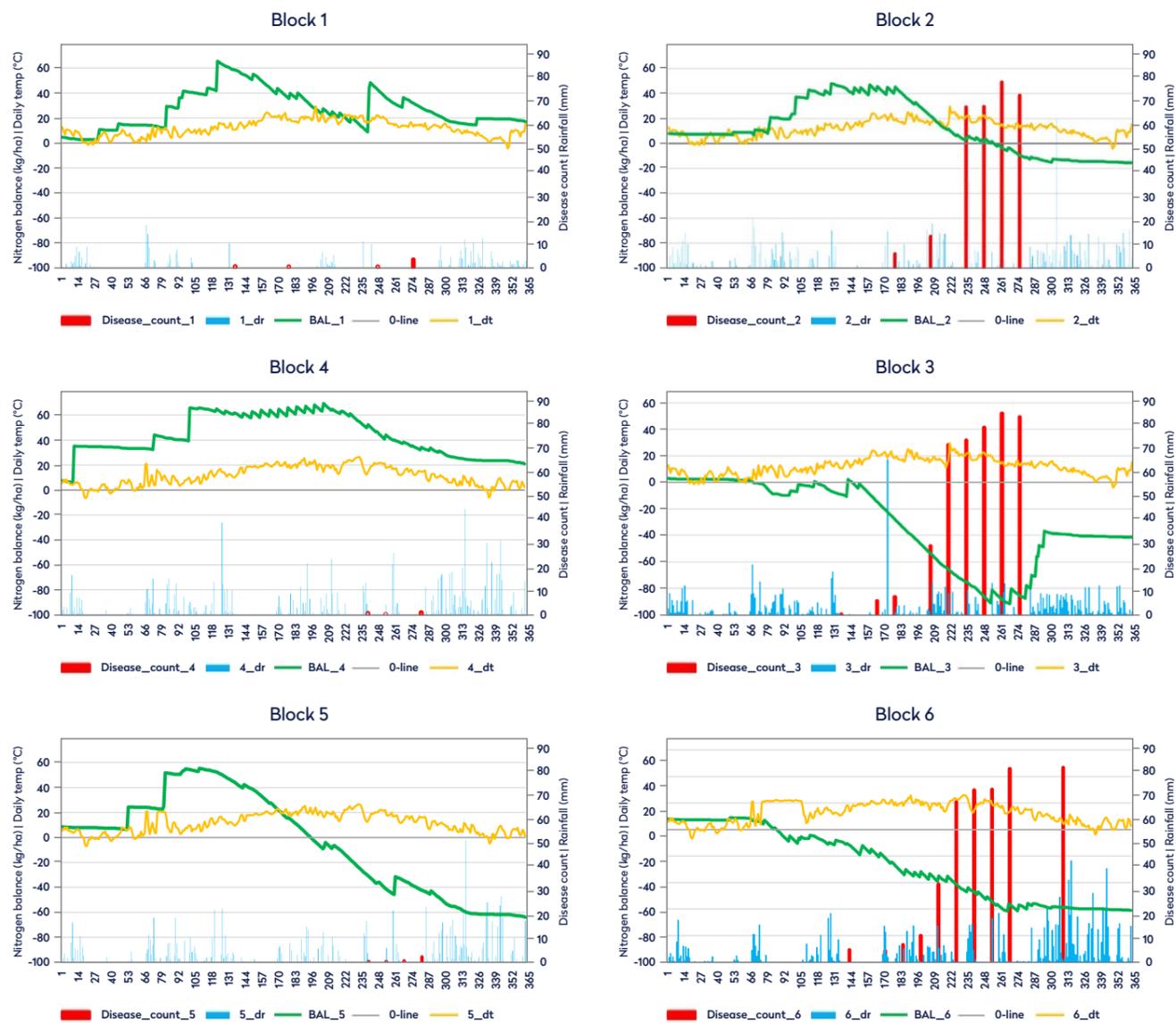


Figure 24: Courbe de bilan azoté avec intensité de la maladie, température de l'air et précipitations quotidiennes

9.2 L'importance du sol

Une analyse plus approfondie des données des sites les plus lourdement endommagés met en évidence une hétérogénéité importante dans l'efficacité des produits parmi les sites et suggère l'influence significative de la santé du sol sur l'efficacité des substances.

Bien que sur certains blocs l'efficacité des substances atteigne plus de 60%, dans d'autres cas, l'efficacité disparaît complètement. Comme montré à la Figure 25, bien que les blocs 1, 2 et 6 montrent une bonne efficacité des substances, dans le bloc 3, aucune différence ne semble être observée entre les parcelles.

Les sites présentent une composition de gazon, une analyse du sol et des profils racinaires extrêmement similaires. Bien que cette tendance ne puisse être expliquée par aucune différence de composition du gazon, qui est comparable entre les 3 blocs, l'analyse du sol et les profils racinaires révèlent une différence significative entre les blocs, en particulier en termes de CEC (capacité d'échange cationique) et de niveau de MO (matière organique). Alors que les blocs R et W partagent des niveaux de CEC entre 25 et 40 et des niveaux de matière organique entre 1,3 et 2%, l'analyse du bloc C rapporte une CEC inférieure à 20 et un niveau de matière organique inférieur à 1%. Les valeurs exactes peuvent être vues dans le Tableau 1.

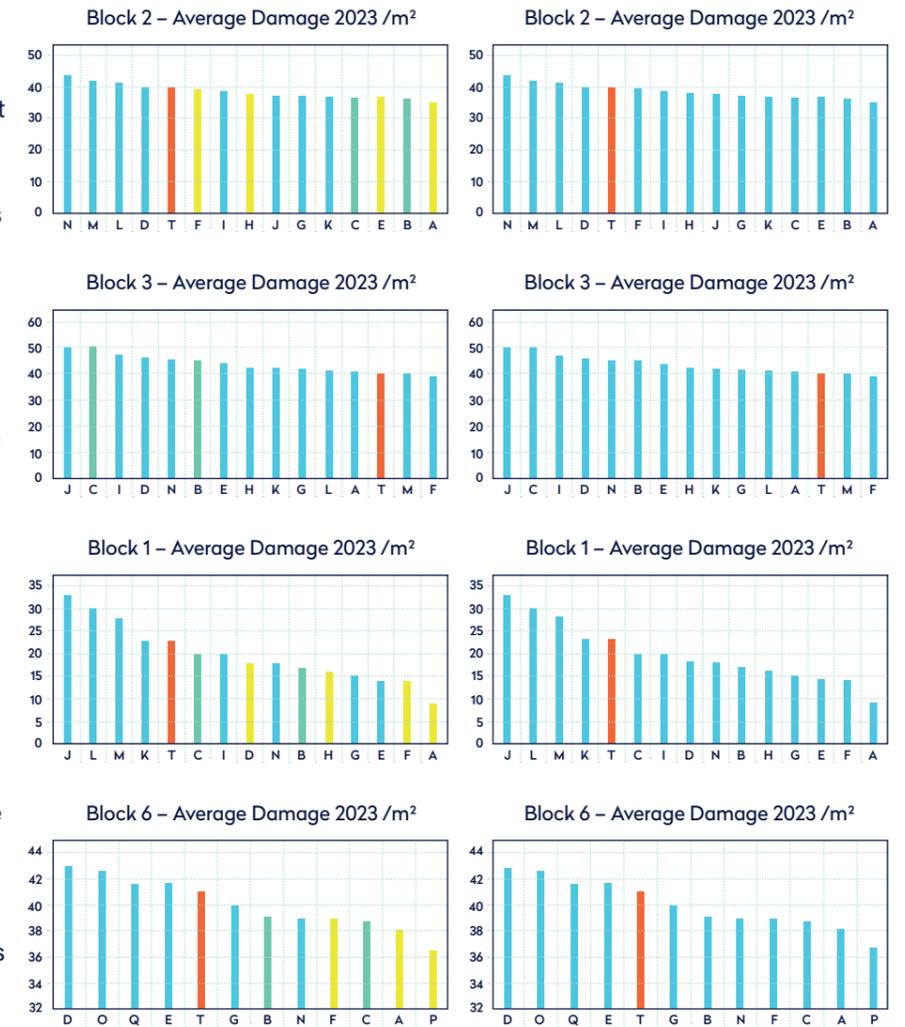


Figure 25: Substances efficacy within different blocks

Block	CEC (meq/kg)	OM (%)
2	38	1.92
3	16	0.76
1	27	1.35
6	29	1.64

Table 1: Niveau de CEC et de MO pour les blocs 1, 2, 3 et 6

9.3 Redox, air, eau et porosité totale du sol

Enfin, la saison souligne l'importance de l'équilibre du sol non seulement au niveau chimique mais aussi au niveau physique, capturé par l'équilibre air/eau présent dans le sol.

En collectant plus de 350 points de données sur 36 greens différents et en évaluant la résistance de chaque green à la maladie sur une échelle de 1 à 3, l'équilibre air/eau des substrats a été observé.

En moyenne, cinq mesures ont été prises sur chaque green sur les premiers 10 cm du substrat, les observations initiales suggérant une forte corrélation et indiquant une zone de confort au sein de la structure du sol en termes de rapport air/eau lorsqu'il s'agit d'une bonne résistance aux maladies, comme le montre la figure 26.

Les observations présentées dans le graphique peuvent suggérer que le maintien d'un certain volume d'air dans le sol est plus important pour la résistance aux maladies que la quantité totale de porosité.

En fait, pour des porosités totales plus petites, la résistance peut être tout aussi bonne voire meilleure, tant que la plante reçoit un approvisionnement adéquat en oxygène.

Une comparaison de ces résultats avec les blocs de répliques soutient cette hypothèse, où aucune corrélation directe n'est observée entre la porosité totale et la résistance aux maladies. Cependant, la notion d'équilibre et le rapport entre les niveaux d'eau et d'oxygène semblent jouer un rôle majeur et une enquête plus approfondie devrait être menée pour confirmer cette première hypothèse.

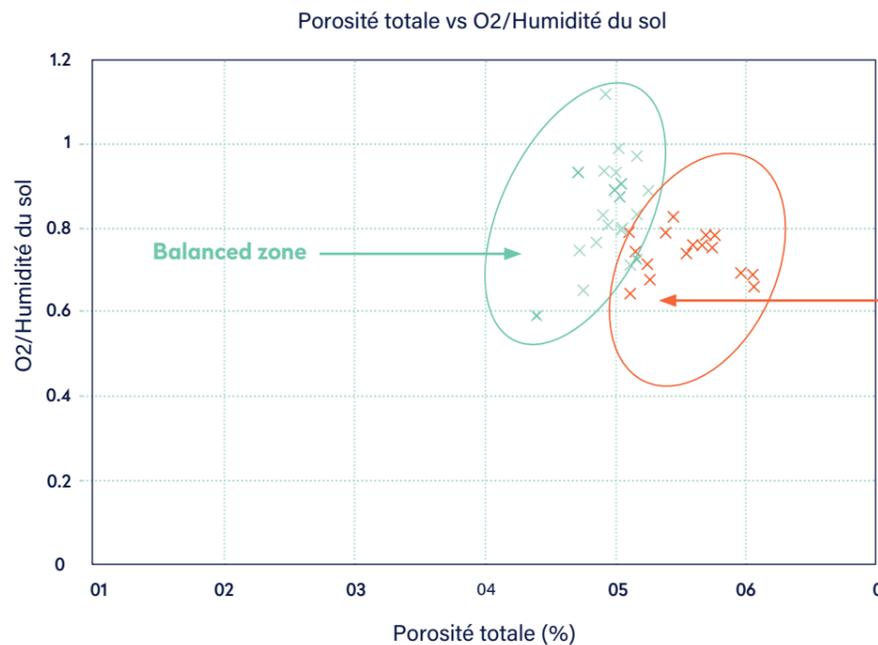


Figure 26: Diagramme de dispersion de la porosité totale mesurée en fonction du rapport O2/humidité du sol

- × Forte résistance aux maladies
- × Faible résistance aux maladies

Unbalanced zone

9.3.1 Effets du climat

Porosité totale

La porosité totale fait référence à la fraction du volume du sol qui n'est pas occupée par des particules solides, c'est-à-dire les espaces interstitiels qui peuvent être remplis d'air ou d'eau. Dans les sols sablonneux, la porosité est généralement élevée en raison de la grande taille des particules de sable et de la faible capacité de rétention d'eau.

Équilibre air/eau

L'équilibre entre l'air et l'eau dans le sol est essentiel pour la santé des racines et la croissance des plantes. Les racines nécessitent de l'oxygène pour la respiration, et un sol bien aéré fournit un apport adéquat. L'eau est nécessaire pour transporter les nutriments, mais un excès d'eau peut entraîner un manque d'oxygène, provoquant des conditions anaérobies qui peuvent favoriser certains agents pathogènes et maladies des racines.

9.3.2 Compréhension des résultats de la recherche et hypothèse

Un rapport air/eau optimal dans le sol assure une disponibilité adéquate de l'oxygène pour les racines. Si le sol est trop saturé en eau (en raison d'une faible porosité d'air), cela peut limiter l'apport d'oxygène, conduisant à une respiration anaérobie et à la production de ROS (espèces réactives de l'oxygène).

À l'inverse, un excès d'oxygène peut également augmenter la production de ROS au niveau des racines, et la sur-oxydation de la plante, ce qui encouragerait le développement de pathogènes nuisibles en poussant la plante dans une zone d'oxydation.

Il est également important de noter que le stress hydrique, qu'il soit dû à un excès d'eau (engorgement) ou à un manque d'eau (sécheresse), peut induire un stress oxydatif. Les ROS sont générées en réponse au stress, et si la plante ne peut pas les éliminer efficacement, cela peut entraîner des dommages et réduire la capacité de la plante à se défendre contre les envahisseurs et les maladies. La matière organique (MO) agit comme un tampon en cas de stress oxydatif.



Figures 27 & 28: Mesure du niveau d'oxygène dans le sol (oxymètre de sol, Eijkelpamp) au Golf Club de Rigenee, mai 2023

10. Conclusion

La recherche souligne ici l'efficacité de sept substances, en particulier le sulfate de fer et les bactéries indigènes, dans le soutien de l'immunité de la plante et la réduction naturelle de la sévérité des attaques de dollar spot. Elle met en évidence le rôle crucial d'un microbiote de sol robuste pour assurer le succès à long terme des stratégies de gestion intégrée des ravageurs (IPM), affirmant que sans un environnement microbien sain, de tels traitements pourraient s'avérer inefficaces ou n'apporter que des effets à court terme.

En outre, l'étude décrit trois influences clés sur la résistance des plantes aux maladies de dollar spot. Premièrement, elle souligne la pertinence d'une gestion nutritionnelle précise pour contrôler la progression et la gravité de la maladie. Deuxièmement, elle souligne également l'importance d'atteindre un rapport air/eau optimal dans le sol, qui devrait être finement ajusté selon les caractéristiques de porosité totale spécifiques de l'emplacement pour améliorer la résistance aux maladies. De plus, les résultats suggèrent que les sols plus riches en contenu agronomique peuvent offrir une résistance plus forte aux maladies.

Cependant, il est crucial de trouver un équilibre entre ce bénéfice et la nécessité de maintenir la jouabilité satisfaisante des greens, en veillant à ce que les améliorations de la santé du gazon se traduisent efficacement par la qualité du parcours de golf et ne compromettent pas l'expérience de golf.

Les stratégies futures devraient intégrer ces insights, en promouvant des pratiques de gestion durable qui s'alignent sur les exigences écologiques et récréatives.

11. Travaux et Recherches Futurs

Des recherches supplémentaires devraient explorer les effets à long terme des substances et des amendements identifiés comme efficaces dans différentes conditions environnementales pour valider et affiner les résultats.

L'exploration de substances alternatives et de pratiques de gestion intégrée pourrait également offrir de nouvelles perspectives sur les stratégies de gestion durable des maladies.

Les futures études pourraient également examiner les interactions entre la diversité du microbiote du sol et la santé des plantes, offrant une approche holistique pour comprendre la dynamique des maladies.



12. Equipe de recherche et de soutien

Belgique



Royal Bercuit Golf Club
Greenkeeper:
Jean-Marc Dokier



Naxhelet Golf Club
Greenkeeper:
Marc Thiebaut



Rigenée Golf Club
Greenkeepers:
Christophe Descampe
& Lucas Mercelis



Avernas Golf Club
Greenkeeper:
Alexandre Dochen



Royal Golf Club du Hainaut
Greenkeeper:
Xavier Denicourt

Suisse



Limpachtal Golf Club
Greenkeeper:
Gabriel Diederich



Migros Golfpark Moossee
Greenkeeper:
Pascal Guyot



Wylihof Golf Club
Greenkeeper:
Michael Burren

Lead Research Team



Valentine Godin (AFGOLF)
Sustainability officer and project coordinator
+44 74 93 02 06 36
sustainability@afgolf.be



Jean-Marc Dokier (AFGOLF)
Agronomy Consultant
+32 477 87 81 57
environnement@afgolf.be



Dirk Kauter (Swiss Golf)
Agronomy consultant
+41 76 220 12 50
info@swissgolf.ch

Special thanks to

Alicia Moulin, Sustainability Manager at Swiss Golf
Alain Stevens, Project technical assistant and practitioner at Royal Bercuit Golf Club
Emilie Geury, General Secretary at AFGOLF
Alexia Penasse, Communications and Sports coordinator at AFGOLF
Jean-Luc Gavroye, AFGOLF President
All greenkeepers and their greenkeeping team

13. Glossaire

ANOVA (Analyse de Variance)

Méthode statistique utilisée pour comparer les moyennes de trois échantillons ou plus afin de comprendre si au moins une moyenne d'échantillon est différente des autres.

Agents de biocontrôle

Organismes, tels que certaines bactéries et champignons, utilisés pour contrôler les populations de ravageurs et les maladies.

Dollar spot

Maladie courante du gazon causée par le champignon *Sclerotinia homoeocarpa*, caractérisée par de petites taches rondes enfoncées sur les feuilles de l'herbe.

Éliciteurs

Substances qui stimulent les mécanismes de défense naturels de la plante contre les pathogènes.

Homogénéité des variances

Hypothèse en statistique selon laquelle les variances entre les groupes sont égales.

Test de Levene

Test statistique utilisé pour évaluer l'égalité des variances pour une variable calculée pour deux groupes ou plus.

Mycorhizes

Champignons qui ont une relation symbiotique ou une association avec les racines de nombreuses plantes.

Fixation de l'azote

Processus par lequel l'azote relativement non réactif de l'atmosphère terrestre est converti dans le sol en ammoniac ou autres composés azotés disponibles pour l'absorption par les plantes.

Randomisation

Processus d'attribution aléatoire de sujets ou de traitements à des groupes dans une expérience pour réduire les biais.

Test de Shapiro-Wilk

Test qui évalue si un échantillon provient d'une population normalement distribuée.

Modèle Smith-Kerns

Modèle de prédiction du dollar spot basé sur la logistique, utilisant une moyenne mobile de 5 jours de l'humidité relative quotidienne et de la température moyenne quotidienne pour créer une probabilité d'occurrence du dollar spot un jour donné.

Significativité statistique

Probabilité que la relation entre deux variables ou plus soit causée par autre chose que le hasard.

Variance

Mesure de la dispersion d'un ensemble de points de données autour de leur valeur moyenne.



14. Annexes

Annexe 1

Overview of the research plots



HETEROGENEITY PEDOCLIMATIC

BLOC 1 (GOLF 1)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
	P5	P7	P1	P2	P10	P4	P3	P12	P8	P9	P11	P6
	P5	P7	P1	P2	P10	P4	P3	P12	P8	P9	P11	P6
BLOC 2 (GOLF 2)	P6	P11	P9	P8	P12	P3	P4	P10	P2	P1	P7	P5
	P6	P11	P9	P8	P12	P3	P4	P10	P2	P1	P7	P5
	P2	P1	P3	P8	P10	P9	P2	P11	P12	P5	P6	P7
BLOC 2 (GOLF 2)	P2	P1	P3	P8	P10	P9	P2	P11	P12	P5	P6	P7
	P2	P1	P3	P8	P10	P9	P2	P11	P12	P5	P6	P7
	P2	P1	P3	P8	P10	P9	P2	P11	P12	P5	P6	P7
BLOC 3 (GOLF 3)	P2	P1	P3	P4	P9	P6	P11	P7	P12	P8	P5	P10
	P2	P1	P3	P4	P9	P6	P11	P7	P12	P8	P5	P10
	P3	P11	P8	P4	P9	P7	P1	P10	P6	P2	P12	P5
	P3	P11	P8	P4	P9	P7	P1	P10	P6	P2	P12	P5
BLOC 3 (GOLF 4)	P7	P6	P5	P12	P11	P2	P9	P10	P8	P3	P1	P2
	P7	P6	P5	P12	P11	P2	P9	P10	P8	P3	P1	P2
	P10	P7	P8	P12	P7	P11	P6	P9	P4	P3	P1	P2
	P10	P7	P8	P12	P7	P11	P6	P9	P4	P3	P1	P2
BLOC 5 (GOLF 5)	P5	P12	P2	P6	P10	P1	P7	P9	P4	P8	P11	P3
	P5	P12	P2	P6	P10	P1	P7	P9	P4	P8	P11	P3
	P1	P9	P8	P6	P11	P7	P8	P10	P8	P12	P2	P5
	P1	P9	P8	P6	P11	P7	P8	P10	P8	P12	P2	P5



HETEROGENEITY PEDOCLIMATIC

BLOC 6 (GOLF 1)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
	P5	P7	P1	P2	P10	P4	P3	P12	P8	P9	P11	P6
	P5	P7	P1	P2	P10	P4	P3	P12	P8	P9	P11	P6
BLOC 7 (GOLF 2)	P6	P11	P9	P8	P12	P3	P4	P10	P2	P1	P7	P5
	P6	P11	P9	P8	P12	P3	P4	P10	P2	P1	P7	P5
	P2	P1	P3	P8	P10	P9	P2	P11	P12	P5	P6	P7
	P2	P1	P3	P8	P10	P9	P2	P11	P12	P5	P6	P7
BLOC 8 (GOLF 3)	P2	P1	P3	P4	P9	P6	P11	P7	P12	P8	P5	P10
	P2	P1	P3	P4	P9	P6	P11	P7	P12	P8	P5	P10
	P3	P11	P8	P4	P9	P7	P1	P10	P6	P2	P12	P5
	P3	P11	P8	P4	P9	P7	P1	P10	P6	P2	P12	P5

Detailed view of one plot

	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m	1m
A	P1A	P6A	TA	P1+P2 P3+P4 A	P7A	P2A	P10A	P12A	P1+P2 P3+P4 P5A	P11A	P3A	P13A	P9A	P8A	P4A
B	P1B	P6B	TB	P1+P2 P3+P4 B	P7B	P2B	P10B	P12B	P1+P2 P3+P4 P5B	P11B	P3B	P13B	P9B	P8B	P4B
C	P9C	P4C	P11C	P1C	P6C	P3C	P8C	P1+P2 P3+P4 C	P10C	P2C	TC	P12C	P13C	P7C	P1+P2 P3+P4 P5C
D	P9D	P4D	P11D	P1D	P6D	P3D	P8D	P1+P2 P3+P4 D	P10D	P2D	TD	P12D	P13D	P7D	P1+P2 P3+P4 P5D

	Enriched line, mineral amendments applied (mix of zeolite, porous ceramic, diatomaceous earth, plant organic matter and mycorrhizae)
	No mineral amendments applied

Annexe 2

Details of the substances researched

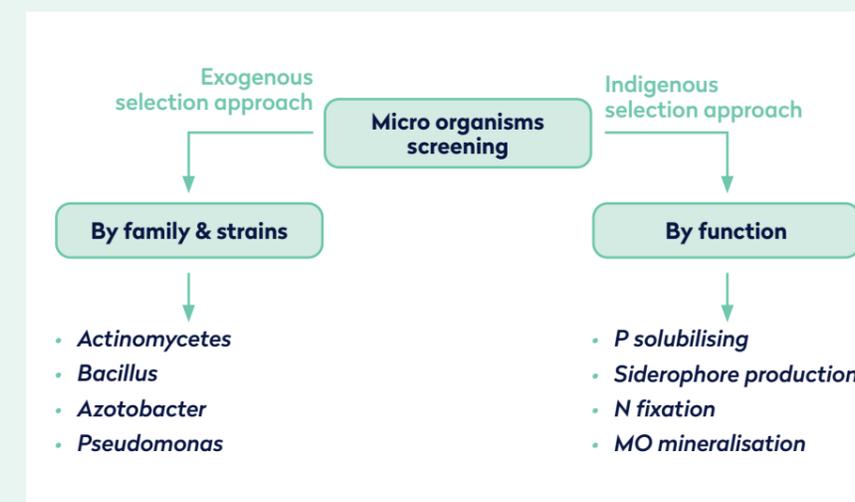
Switzerland variants		Belgium variants	
G	Sulphate ammonium	G	Sulphate ammonium
B	Iron sulphate	B	Iron sulphate
H	P solubilising bacteria (B1)	H	P solubilising bacteria (B1)
D	MO mineralising bacteria (B2)	D	MO mineralising bacteria (B2)
F	Siderophore producing bacteria (B3)	F	Siderophore producing bacteria (B3)
A	Nitrogen fixating bacteria (B4)	A	Nitrogen fixating bacteria (B4)
C	Mix bacteria (B1+B2+B3+B4)	C	Mix bacteria (B1+B2+B3+B4)
E	Mix bacteria with Bacillus spp (B1+B2+B3+B4 + Bac)	E	Mix bacteria with Bacillus spp (B1+B2+B3+B4 + Bac)
O	Lactobacillus – Bacillus natto – yeast fungus	I	Chitosan
P	Trichoderma spp. (atrobrunneum)	K	Coniothyrium Minitans
Q	Mychoryzea	N	Sulphur and manganese
		J	Amino acids (BE only variant)
		M	Willow bark infusion (BE only variant)
		L	Iron EDDHA (BE only variant)

Testing for microorganisms

In terms of testing for microorganisms, the research approach followed the principle of soil bioaugmentation most used in organic agriculture (Kumar et al., 2015) and soil regenerative agriculture.

Rather than choosing a specific exogenous strain of microorganisms to introduce into the soil, this method involves the isolation of naturally occurring bacteria already present in the soil and can perform determined desired functions. This is achieved through a

meticulous process of identification, selection and cultivation within a controlled laboratory environment. By recognising the distinctiveness of each soil ecosystem, this approach enables each soil ecosystem the precise isolation of the strains that exhibit the desired functions within the specific soil environment under observation. Ultimately, the method involves reintroducing these isolated native bacteria back into the original site, encouraging the promotion and restoration of a healthy soil ecosystems.



Four functions were focused on: phosphorous solubilisation, siderophore production, fixation of nitrogen and organic matter mineralisation. For each soil sample collected on each site, the bacteria carrying out the function locally were isolated, multiplied and sprayed on to the soil at two-week intervals throughout the research.

In addition to each being pulverised individually, these same strains of bacteria were sprayed together and together with the addition of Bacillus.

An additional parcel was also sprayed with a mix of Trichoderma spp. (atrobrunneum) and another

with lactobacillus (these later two were only tested in Switzerland).

A total of eight microorganisms tests were carried out: six with native soil bacteria and two with pre-selected strains.

Natural Plant Defence Elicitors

For the elicitors part, three types of substance were tested: chitosan (for its chitin content), willow bark infusion (for its salicylic acid content) and Coniothyrium Minitans (Didymellaceae family) within the Ascomycota phylum of fungi. These variants were only tested on the Belgian sites.

Nutrients

Considering the effect of fertilising agents, ammonium sulphate and iron sulphate were tested. In addition, in Switzerland, the effect of mychoryzea was also tested and in Belgium, the use of sulphur and manganese as fertiliser agents was also evaluated as local variants.

Reference

Kumar BL, Gopal DV. *Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment*. 3 *Biotech*. 2015 Dec;5(6):867-876. doi: 10.1007/s13205-015-0293-6. Epub 2015 Apr 4. PMID: 28324402; PMCID: PMC4624139.

Annexe 3

Statistical Analysis Results

Product	Cat	rep	Analyse ANOVA						Data inspection (non statistical) Observed effects?
			Original Data	p-value	Log transform	p-value	Sqrt transform	p-value	
N solubilising bacteria	A	36	-0.37	0.94	0.00	1.00	-0.07	0.79	1
Iron sulphate	B	36	-1.02	0.09	0.00	1.00	-0.15	0.0581*	1
Mix of indigeneous bacteria	C	36	-1.02	0.09	-0.01	0.99	-0.16	0.0252*	1
MO mineralising bacteria	D	36	1.30	0.01	0.01	0.99	0.12	0.20	0
Mix of indigenous bacteria + Bacillus spp	E	36	-0.53	0.77	0.00	1.00	-0.06	0.89	1
Siderophore producing bacteria	F	36	-0.74	0.42	0.00	1.00	-0.10	0.38	1
Ammonium sulphate	G	36	0.73	0.43	0.01	1.00	0.06	0.85	0
P solubilising bacteria	H	36	-0.47	0.86	-0.01	1.00	-0.09	0.59	1
Chitosan	I	24	2.19	<.0001	0.04	0.79	0.20	0.01	0
Amino acids	J	24	0.20	1.00	0.04	0.81	0.03	1.00	0
Coniothyrium Minitans	K	24	-0.28	0.99	0.03	0.94	-0.04	0.98	0
Iron EDDHA	L	24	2.62	<.0001	0.05	0.58	0.29	<.0001	0
Willow bark infusion	M	24	1.64	0.00	0.05	0.49	0.21	0.01	0
Sulphur and manganese	N	24	1.59	0.01	0.03	0.88	0.13	0.24	0
Lactobacillus – Bacillus natto – Yeast fungus	O	12	0.65	0.86	-0.04	0.78	0.01	1.00	1
Trichoderma spp. atrobrunneum	P	12	-1.35	0.12	-0.05	0.61	-0.18	0.14	1
Mychoryzea	Q	12	0.29	1.00	-0.05	0.64	-0.06	0.98	1

	Bioaugmentation (indigeneous bacteria)
	Statistically significant
	"Negative" effect in comparisons of control



The R&A group of companies was formed in 2004 to take on The Royal and Ancient Golf Club of St Andrews' responsibilities for governing the Rules of Golf, staging The Open, golf's original championship, and developing the sport. The World Golf Museum in St Andrews is part of The R&A group.

Together The R&A and the USGA govern the sport of golf worldwide, operating in separate jurisdictions with a commitment to a single code for the Rules of Golf, Rules of Amateur Status and Equipment Standards. The R&A, through R&A Rules Ltd, governs the sport worldwide, outside of the United States and Mexico, on behalf of over 41 million golfers in 144 countries and with the consent of 159 organisations from amateur and professional golf.

The R&A has responsibility for running a series of world class amateur events and international matches in women's and girls' as well as men's and boys' golf. The R&A stages the AIG Women's Open and works with the DP World Tour to stage the Senior Open presented by Rolex.

The R&A is committed to investing £200 million over ten years in developing golf and supports the growth of the sport internationally, including the development and management of sustainable golf facilities. For more information, visit www.randa.org.



Randa.org



**GOLF
COURSE
2030**

