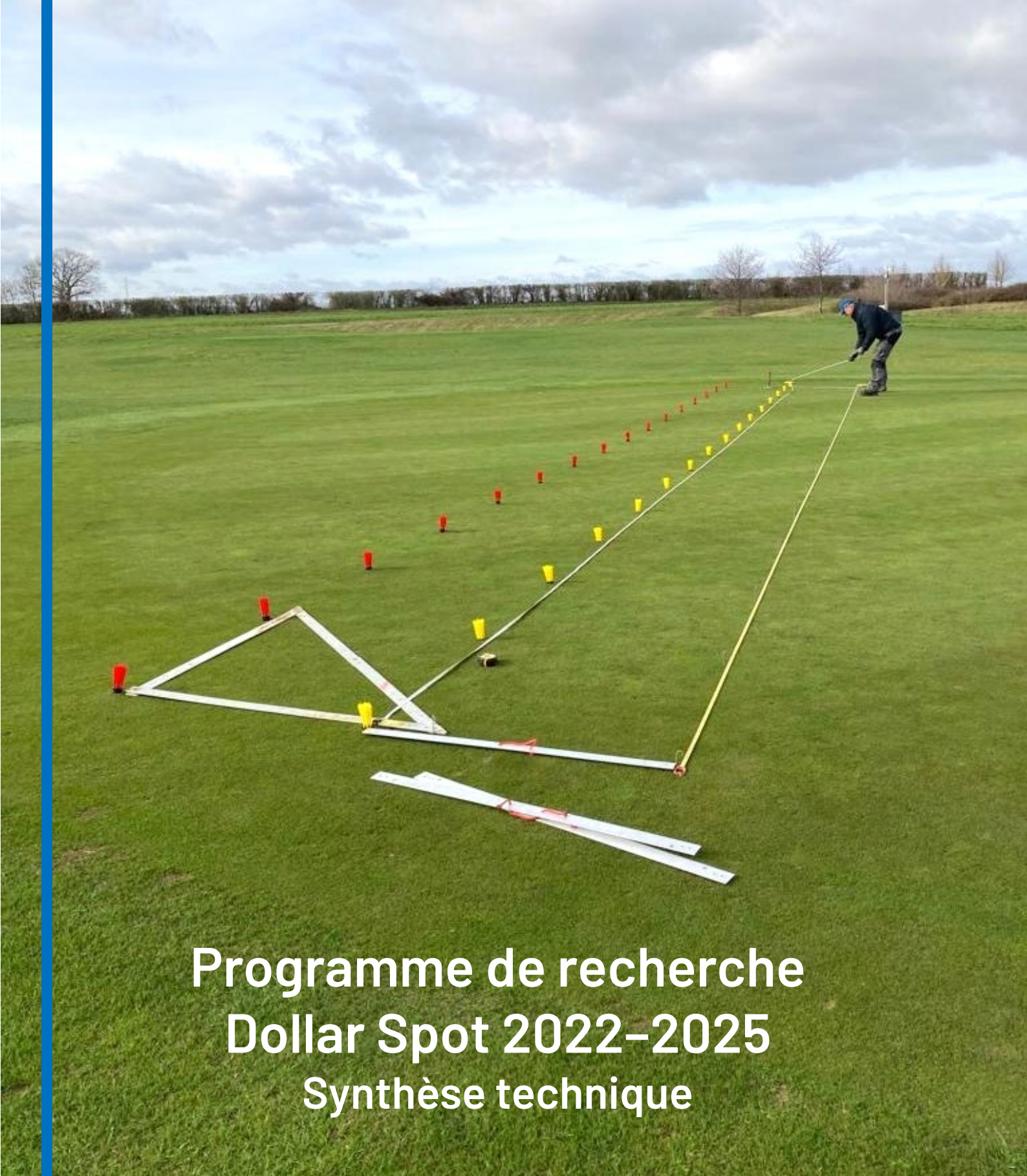




Programme de recherche Dollar Spot 2022–2025 Synthèse technique

Auteurs :
Valentine Godin & Jean-Marc Dokier

Approche IPM soutenue par la modélisation de données afin de renforcer la résistance des graminées au Dollar Spot

Préambule :

Depuis l'entrée en vigueur, en 2018, du décret imposant un zéro phyto total, c'est-à-dire l'interdiction de toute substance phytopharmaceutique, qu'il s'agisse de biofongicides, de substances de base ou de fongicides de synthèse, les clubs de golf wallons se sont retrouvés sans aucune solution efficace pour maîtriser les maladies des greens en pleine saison. Face à la virulence croissante du Dollar spot et à l'absence d'alternatives éprouvées, l'Association Francophone belge de Golf a rapidement décidé d'investir dans un programme de testing rigoureux afin d'identifier des voies de gestion réellement opérationnelles.

Soutenue par le R&A et en collaboration avec SwissGolf, l'AFGolf a conduit, dans huit clubs, une première phase exploratoire montrant que les pratiques culturales et les conditions de sol influencent fortement l'intensité des attaques. Cette hétérogénéité a confirmé la nécessité d'une approche structurée, combinant observation fine du terrain, analyses agronomiques et protocoles reproductibles.

À partir de là, nous avons concentré l'effort sur trois parcours représentatifs, dans lesquels une approche nutritionnelle de précision, associée à un monitoring continu et à une modélisation des dynamiques hydriques et climatiques, a pu être testée de manière systématique. C'est cette démarche progressive, pragmatique, terrain-centrée et fondée sur la mesure, qui structure aujourd'hui le modèle IPM présenté dans ce rapport.

Introduction :

Le présent rapport expose un modèle de gestion intégrée (IPM) du Dollar spot développé spécifiquement pour les conditions pédoclimatiques de notre région, étudié pour une région géographique précise.

Comme pour toute approche agronomique, un degré naturel de variation existe : les résultats dépendent de la géologie locale, de la structure physique et chimique des sols, de la qualité variétale des graminées, de l'historique des greens et du contexte environnemental propre à chaque club.

Malgré ces différences, l'application rigoureuse du protocole sur trois sites distincts a permis de réduire de manière importante la pression de Dollar spot, parfois jusqu'à atteindre une expression extrêmement faible de la maladie lorsque les conditions agronomiques étaient favorables. Ces résultats ne sont ni instantanés ni "miraculeux" : ils reposent sur la précision, la répétition, l'interprétation des données, et l'ajustement continu des pratiques au comportement réel du sol et du climat.

Enfin, ce rapport aborde également les limites observées, notamment l'équilibre délicat entre la gestion estivale du Dollar spot et la gestion hivernale de la fusariose. Cet antagonisme, bien documenté en physiologie des pathogènes, nécessite encore des recherches complémentaires afin d'affiner la transition saisonnière dans un cadre zéro phyto. Les pistes ouvertes dans ce travail constituent les fondations de cette prochaine étape.

1 Introduction de l'approche IPM

La gestion intégrée du Dollar spot présentée dans ce rapport repose sur l'idée que cette maladie ne peut être correctement maîtrisée qu'en tenant compte simultanément de trois dimensions fondamentales : la nutrition, la dynamique hydrique et l'interprétation des données. Ces trois axes ne fonctionnent pas isolément ; leur interaction conditionne la vigueur de la plante, son statut défensif et la pression exercée par l'environnement.

Les travaux menés sur les trois parcours suivis ces quatre dernières années montrent que la combinaison de ces leviers constitue la base d'un modèle IPM efficace en conditions zéro phyto.

1. La nutrition équilibrée et complète

La nutrition doit être régulière et adaptée à la faible capacité d'échange cationique des greens sableux. Ceux-ci présentent un risque élevé de pertes par lessivage, ce qui impose une approche plus fréquente, plus fractionnée et intégrant systématiquement les éléments majeurs et les oligo-éléments. Une nutrition incomplète, irrégulière ou insuffisante crée des « trous de disponibilité » au moment même où la plante doit mobiliser ses défenses.

2. L'humidité et la balance air/eau

L'humidité n'est pas une valeur cible universelle mais un équilibre dynamique propre à chaque sol. La porosité totale, la répartition air/eau, la compaction et la structure conditionnent directement l'oxygénation racinaire et donc la sensibilité au Dollar spot. Une gestion hydrique trop large ou trop basse entraîne des stress physiologiques qui amplifient les attaques.

3. La modélisation et l'aide à la décision

La modélisation des données locales (croissance, climat, humidité, risque de maladie) permet de contextualiser l'observation de terrain. Elle fournit au greenkeeper une lecture anticipée des phases de risque et une meilleure précision dans la planification nutritionnelle. Sans ces outils, les décisions restent correctes mais moins coordonnées et moins réactives.

L'approche IPM qui suit repose donc sur l'ajustement simultané de ces trois facteurs, dans une logique de précision, de répétition, et de compréhension du fonctionnement spécifique de chaque sol

1.1 L'approche :

Depuis de nombreuses années, les stratégies de gestion du Dollar spot ont souvent reposé sur une réduction progressive des apports d'azote. L'objectif légitime était de favoriser les graminées souhaitées, limiter la pression de *Poa annua* et maintenir des vitesses de roue cohérentes avec les attentes sportives.

Cependant, cette course à une normalisation de plus en plus basse des quantités d'azote, lorsqu'elle n'est pas compensée par une gestion fine des autres éléments nutritifs, peut fragiliser la plante. Dans des substrats sableux à très faible CEC, chaque pluie ou arrosage entraîne une perte rapide d'éléments. Une fertilisation trop espacée, qu'elle soit solide ou liquide, ne parvient davantage à couvrir les besoins physiologiques en période de stress.

Ce glissement progressif vers une nutrition minimale a parfois conduit à des déséquilibres :

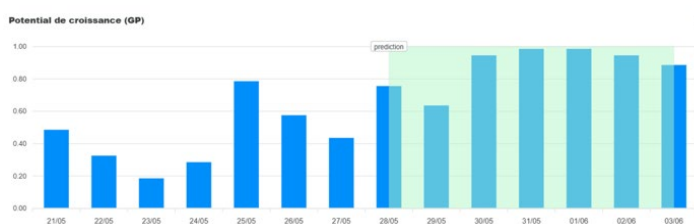
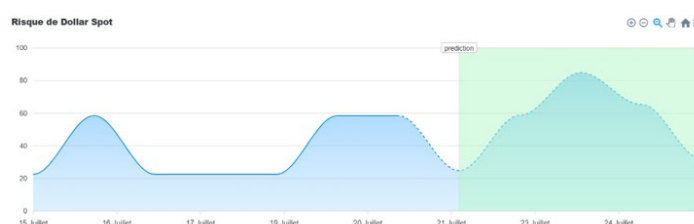
- apports azotés irréguliers ou trop espacés ;

- sous-valorisation du rôle du phosphore, du potassium et des oligo-éléments (Fe, Mg, Mn, Ca, B) ;
- oubli du facteur déterminant qu'est le lessivage dans nos substrats très perméables.

Dans ce contexte, une nutrition mensuelle ou bimensuelle peut fonctionner lorsque la porosité est faible, mais devient insuffisante dès que la macroporosité augmente. Plus le sol est poreux, ce qui est recherché pour des raisons sportives, plus la nutrition doit être fractionnée.

Cette réalité physique n'est pas un avis, mais un principe agronomique. Le choix du substrat impose la cadence des apports : un sol peu rétenteur exige des interventions rapprochées pour éviter les fluctuations brutales du statut nutritif, qui sont précisément celles que le Dollar spot exploite. La nutrition devient alors un pilier de l'IPM, non pas pour « pousser » la plante, mais pour maintenir une disponibilité minimale et stable au moment où la maladie profite des stress.

L'approche IPM intégrée repose donc sur une nutrition de précision, maîtrisée et continue, alliée à une gestion hydrique stable et à une lecture attentive du comportement du sol. C'est cette combinaison qui permet, dans les trois parcours suivis, d'obtenir des résultats reproductibles et significatifs en conditions zéro phyto.



2 Nutrition de précision : potentiel de croissance, volumes de tonte et suivi du lessivage

La nutrition constitue l'un des trois piliers majeurs de la gestion IPM du Dollar Spot en conditions zéro-phyto.

Les essais menés durant les trois dernières années montrent que la rigueur nutritionnelle, combinée à une interprétation dynamique des besoins réels du gazon, représente un levier opérationnel décisif pour réduire la virulence de la maladie.

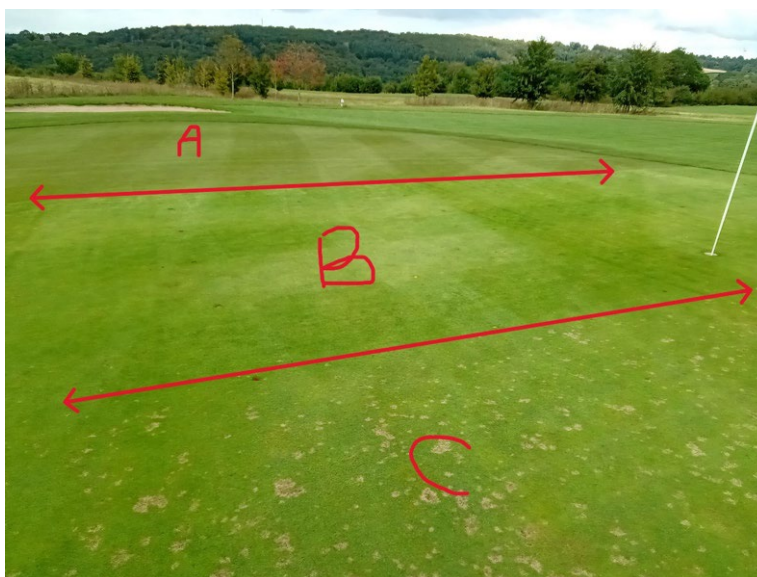
2.1 Principes directeurs

Les pratiques historiques de réduction annuelle des apports d'azote, souvent motivées par l'objectif de favoriser certaines graminées et de limiter le pâturin annuel, ont conduit, dans de nombreux contextes, à un **déséquilibre nutritionnel chronique**.

Les essais montrent clairement trois points :

1. **Une sous-nutrition relative augmente la sensibilité au Dollar Spot**, notamment lorsque l'azote fourni ne suit plus la dynamique réelle de croissance du gazon.
2. Les **sols sableux**, caractérisés par une **CEC faible et une forte porosité**, connaissent un **lessivage accru des nutriments**, particulièrement lors des épisodes pluvieux ou d'irrigation intensive.
3. La disponibilité réelle des éléments (N, P, K, Fe, Mg, Mn, Ca, B) varie fortement, et les apports espacés de plus de 10 jours créent des zones à risque où la plante n'est plus suffisamment armée pour résister à la pression pathogène.

Ces constats rejoignent les observations documentées sur la distribution équilibrée des éléments majeurs et des oligo-éléments dans les essais de 2024-2025.



A : itinéraire de nutrition du golf.
B : différentes solutions nutritives du testing.
C : Témoin en sous nutrition.

2.2 Intégration du Potentiel de Croissance (GP)

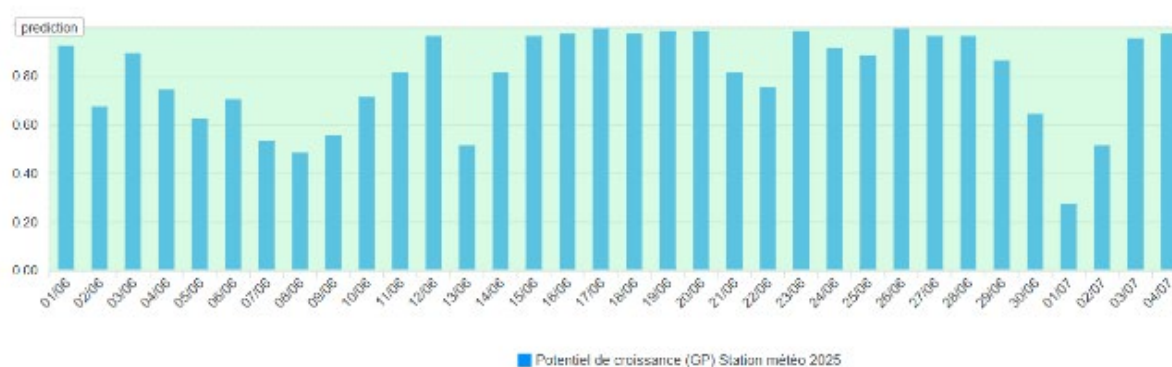
Le **Potentiel de Croissance (Growing Potential, modèle PACE)** offre un cadre robuste pour estimer les besoins théoriques du gazon en fonction de la température et de la saison.

Cependant, dans un contexte zéro-phyto, se baser uniquement sur cette valeur théorique est insuffisant :

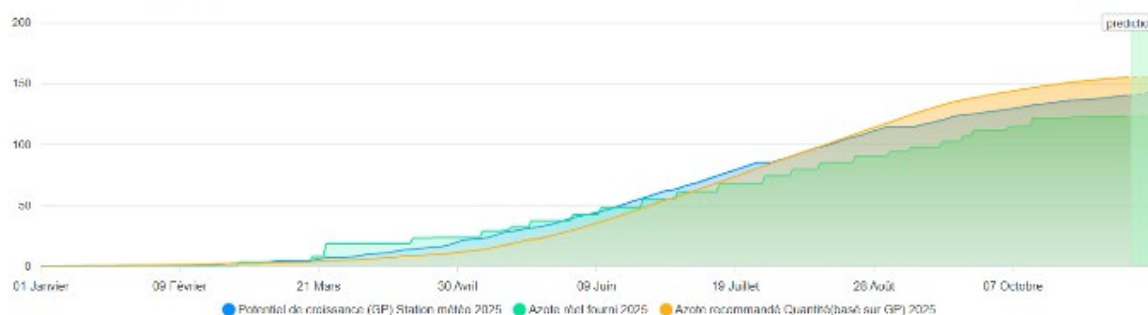
- Le gazon ne convertit pas toujours son potentiel théorique en croissance réelle.
- Les pertes par lessivage et les stress hydriques peuvent créer un **écart entre GP théorique et besoin réel**.
- La nutrition doit donc suivre une **courbe parallèle au GP**, mais adaptée au site, et **corrigée en continu** selon les observations terrain.

Cette logique est explicitée dans le document, qui souligne l'importance de suivre simultanément la courbe idéale, la prévision et la nutrition réellement appliquée via des graphiques comparatifs.

Potentiel de croissance (GP)



Potentiel de croissance (GP) - Cumulé



2.3 Apport du suivi des volumes de tonte

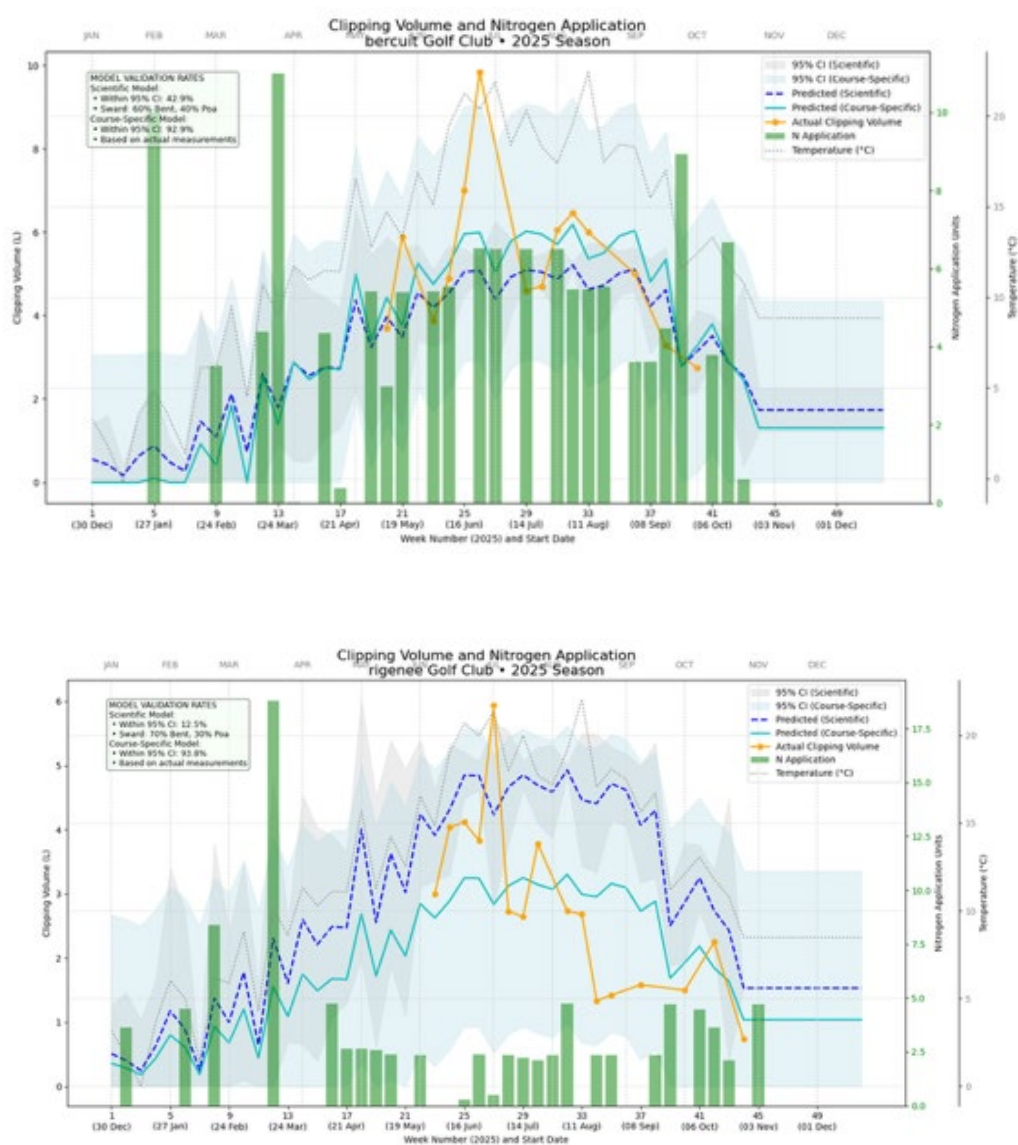
Pour affiner le pilotage nutritionnel, l'intégration des **volumes de tonte** joue un rôle essentiel : elle constitue un indicateur direct de la croissance effective du gazon. En comparant **croissance réelle vs croissance théorique (GP)**, il devient possible d'identifier les situations où la plante ne convertit pas son potentiel en biomasse.

Lorsque le GP théorique indique une croissance élevée mais que les volumes de tonte restent faibles, cela signale un **décalage physiologique**. Celui-ci peut résulter de plusieurs facteurs, dont :

- un **lessivage** partiel ou total des nutriments ;
- un **stress hydrique** ou un déséquilibre air/eau du substrat ;
- une **activité métabolique réduite** (température du sol, stress racinaire, salinité, compaction, hypoxie) ;
- ou encore des **limitations spécifiques au site** (CEC faible, structure instable, compétition entre graminées).

En pratique, le volume de tonte devient un proxy **global de performance physiologique**. Si le GP théorique annonce une croissance élevée mais que le volume de tonte reste faible, cela indique qu'un facteur limitant s'est manifesté, qu'il s'agisse d'un lessivage partiel des nutriments ou, plus largement, d'une réduction de l'activité métabolique de la plante.

Son intérêt est précisément d'offrir une mesure objective de la croissance réelle, permettant d'ajuster les apports nutritionnels de manière plus fine et de détecter les situations où la plante ne réagit pas comme attendu, quelle qu'en soit la cause.



2.4 Fréquence, formulation et timing des apports

Les essais démontrent que :

- Une **nutrition hebdomadaire**, est optimale dans des substrats fortement drainants.
- Une solution nutritive équilibrée, combinant différentes formes d'azote (ammoniacal, uréique, nitrique, organique), permet une disponibilité plus stable dans le temps. Ici, les recherches soutiennent les recommandations du STERF, qui recommande (*précision management IPM*¹) solution d'un équilibre approximatif 2-1-2 est facilement modifiable selon les besoins :
 - 40 kg de 23-6-10+2,7MgO + 0.7B
 - 20 kg de 6-12-36+3MgO + 1B
 - 10 kg de sulfate de manganèse (32%)
 - 5 kg de sulfate de fer (20 %)

10.4N-4.6P-11.2K-1.6MgO-3.2Mn-1Fe-0.5B

10 unités d'azote (1g/m²) dans 1000 litres de H₂O par hectare
- Le **timing des apports** doit intégrer l'analyse prédictive du risque Dollar Spot :
→ appliquer dans les **24 h précédant une fenêtre de risque élevé** donne les meilleurs résultats.

2.5 Conclusion

La nutrition devient un **système dynamique**, où les apports s'ajustent en continu sur la base :

- du GP théorique,
- du volume de tonte réel,
- du suivi du lessivage (via tonte et météo),
- des modèles de risque,
- et de la capacité de rétention propre à chaque sol.

Chaque parcours doit développer une **feuille de route nutritionnelle propre**, dépendante de son type de graminée (fétuque, agrostide, poa), de l'âge du green, et du comportement historique observé.

¹ Beard, *Turfgrass Science* (1973), *Turf Management for Golf Courses* (1994). Beard & Beard (2005), *Environmental Turfgrass Science*. Carrow, Dernoeden, Waddington (2001), *Turfgrass Soil and Water Management*. B. Huang (2011-2022), "Turfgrass root responses to soil oxygen status"

3 Relation entre l'humidité du sol et humectation de surface avec le Dollar spot

Nous connaissons deux relations entre l'humidité et le Dollar spot, la première est l'humidité établie sur le feuillage (seuil d'humectation) et la deuxième l'humidité du sol.

La gestion de ces deux relations est liée afin de contrôler le développement du Dollar spot en zéro phyto.

3.1 La gestion de l'humectation

La gestion de l'humectation est un facteur essentiel à contrôler afin de minimiser les attaques de dollar spot et ceci de manière la plus constante possible.

En effet, aucune attaque de Dollar spot ne sera maîtrisable si l'humectation n'est pas maîtrisée elle-même !

Pour ce faire, nous avons dans les essais, associé un agent mouillant à notre solution nutritive afin de contrôler l'humectation des feuilles, celui-ci doit être utilisé à la même fréquence que les apports nutritifs afin d'obtenir un résultat optimum.

L'application de la solution nutritive associée à un agent mouillant 24 heures avant un seuil de prédiction de risque de Dollar spot est d'autant plus important qu'il permet de maîtriser l'humectation.



Application d'agent mouillant dans la solution nutritive



Effet de l'agent mouillant sur l'humectation de nuit

3.2 Gestion de l'humidité du sol : s'écarter des pourcentages absolus

La gestion de l'humidité du sol est probablement l'un des domaines où circulent les recommandations les plus contradictoires.

Qui n'a jamais entendu :

- « Il faut rester à 15 % »,
- « Il faut être à 20 % »,
- « Il faut viser 30 % ».

Ces valeurs bien que parfois présentées comme des normes universelles. **Elles ont un sens que dans un contexte précis : celui des profils USGA neufs, construits selon des spécifications strictes, homogènes, et encore exempts d'évolution structurelle.**

Dans ce cas, la relation entre humidité volumique, porosité et performance agronomique est relativement prédictible, car les caractéristiques physiques du substrat sont maîtrisées (granulométrie, porosité totale, proportion de macropores, infiltration, capacité au champ, etc.).

Mais nos greens wallons, pour la grande majorité, construits il y a 15 à 40 ans, n'ont plus rien d'un profil théorique USGA. Ils ont vécu contamination progressive en limons et fines, compaction mécanique, accumulation hétérogène de matière organique, variabilité de la porosité, évolution du drainage, réparations successives, et une géologie locale très différente. **Dans ces conditions, un même pourcentage d'humidité n'a plus du tout la même signification physique.**

Prenons un exemple, 20 % d'humidité dans :

- un green USGA jeune = sol encore en majorité aéré,
- un green wallon ancien = sol parfois déjà proche de la saturation de la microporosité et d'un déficit d'oxygène.

C'est pourquoi, dans une gestion zéro phyto et en IPM, les valeurs absolues (% vol.) sont souvent trompeuses.

Elles ne reflètent ni la structure réelle du sol, ni sa porosité (macro + micro), ni sa capacité de rétention, ni son équilibre air/eau, qui sont pourtant les déterminants principaux du risque de dollar spot, notamment via l'oxygénation racinaire, le statut redox du sol, et les stress physiologiques associés.

Autrement dit : **ce n'est pas le pourcentage d'humidité qui compte, mais la fraction d'air qu'il reste dans le sol** lorsqu'on atteint ce pourcentage.

3.3 Le fondement scientifique : porosité et oxygène

Un sol fonctionnel est traditionnellement composé de :

- 50 % de matière solide,
- 25 % d'air,
- 25 % d'eau.

Ces proportions sont une référence théorique. En réalité, chaque sol possède ses propres volumes d'air et d'eau en fonction de sa structure.

Les analyses physiques du sol permettent de déterminer :

- porosité totale,
- porosité non capillaire (air),
- porosité capillaire (eau),
- taux de saturation,
- bulk density,
- capacité au champ.

L'oxygène disponible dans la zone racinaire dépend directement de la porosité air. Lorsque les pores se remplissent d'eau, la fraction air diminue ; lorsque la fraction air diminue, l'oxygène chute ; lorsque l'oxygène chute, les racines entrent en stress hypoxique.

Ce stress hypoxique entraîne :

- baisse de respiration racinaire,
- augmentation des ROS (stress oxydatif),
- affaiblissement des membranes,
- perte de capacité défensive,
- vulnérabilité accrue aux pathogènes nécrotrophes comme *Clavireedia jacksonii*.

Ce n'est donc pas l'humidité en soi qui pose problème, mais le déséquilibre air/eau.

3.4 Exemple pratique basé sur une analyse physique

Prenons un exemple concret.

MIXES ANALYZED (% by Volume)			SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY in/hr	POROSITY (%)			BULK DENSITY g/cm ³	WATER RETENTION AT FIELD CAPACITY %	CHEMICAL	
SOIL	SAND	AMENDMENT		NON- CAPILLARY (air-filled)	CAPILLARY (water-filled)	TOTAL			pH ²	EC mmhos/cm
Existing Greens			11.8	25.1	21.1	41.2	1.40	15.1	5.2	

Selon l'analyse ci-dessus :

- Porosité totale : 41,2 %
- Porosité air : 25,1 % (mais air réellement utilisable $\approx$ 21,6 %*)
- Porosité eau : 21,1 %

*En conditions réelles de jeu, cette porosité air utile est toujours plus faible que la valeur mesurée en laboratoire, en raison de la compaction, du feutrage et de la présence de fines. Une estimation raisonnable situe alors la porosité air fonctionnelle autour de 21-22 %. À partir de là, il est possible de déterminer un seuil hydrique au-delà duquel l'air devient insuffisant.

Dans ce cas précis, ce seuil se situe aux alentours de 19-20 % d'humidité volumique. Ce point correspond au moment où le sol commence à basculer vers un déficit d'oxygène et où la plante entre en stress. La fraction air commence déjà à être insuffisante, le système bascule vers un déficit d'oxygène, le stress physiologique augmente, la plante devient plus vulnérable au dollar spot.

Il est essentiel de souligner qu'il ne s'agit pas d'un seuil universel, mais de la conséquence directe des caractéristiques du sol analysé. Ce seuil n'a aucune valeur absolue, il dépend entièrement de la structure du sol.

3.5 Le vrai indicateur à piloter : la balance air/eau

Le pourcentage d'humidité idéal est donc celui qui permet de conserver la porosité air maximale du sol.

Autrement dit, la question n'est donc plus : « À quel pourcentage d'humidité dois-je être ? », mais plutôt : « À quel niveau d'humidité ma porosité air reste-t-elle suffisante ? ». Le pourcentage idéal est celui qui maintient l'oxygénation minimale nécessaire à une respiration racinaire correcte. La mise en place d'un IPM hydrique consiste alors à stabiliser cette balance air/eau en fonction des limites propres à chaque sol. Cela nécessite de connaître sa porosité réelle, de définir ses seuils d'humidité minimum et maximum, de surveiller la dynamique hydrique en lien avec la météo, et d'ajuster le stress hydrique avec finesse.

En IPM, cela devient une règle simple : la meilleure protection contre le dollar spot consiste à stabiliser la balance air/eau selon les limites propres à chaque sol.

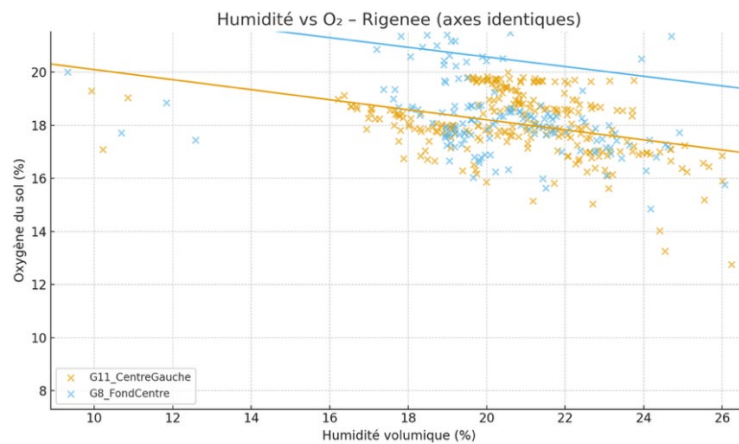
Cela implique :

- de connaître la porosité réelle de son green,
- de définir les seuils minimum/maximum d'humidité ,
- de surveiller la dynamique hydrique en lien avec la météo,
- d'ajuster le stress hydrique avec finesse.

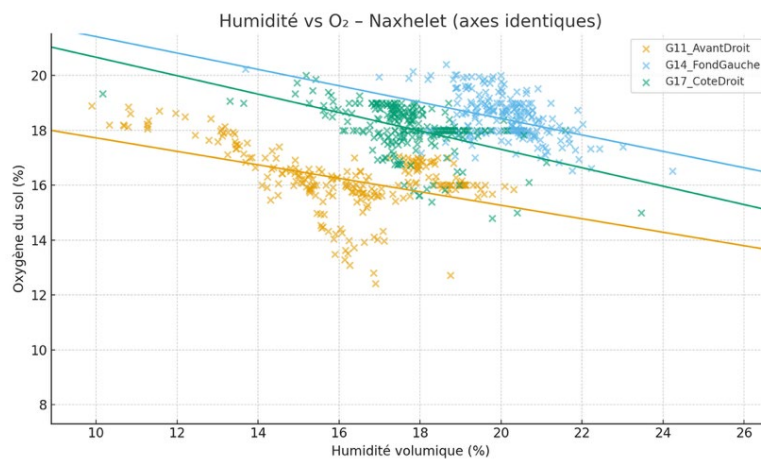
3.6 Analyse des dynamiques mesurées : trois parcours, trois comportements

Les graphiques humidité-O₂ enregistrés en 2025 illustrent parfaitement cette variabilité.

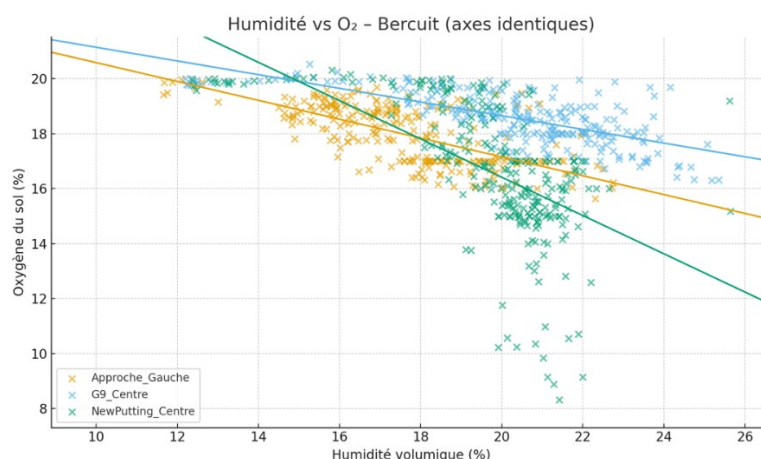
À Rigenée, la relation entre humidité et oxygène est peu inclinée : malgré des humidités élevées (22-25 %), l'oxygène reste stable autour de 18-20 %, signe d'un sol poreux et tolérant.



À Naxhelet, la pente est intermédiaire : l'oxygène diminue progressivement avec l'humidité, et les premiers signes d'hypoxie apparaissent autour de 22-23 %.



Au Bercuit, la pente est nettement plus marquée : dès 20 %, l'oxygène chute rapidement sous les seuils critiques, ce qui reflète un sol plus fragile, probablement compacté ou contaminé en fines, avec une porosité air réduite.



Ces trois courbes démontrent qu'à humidité identique, chaque sol se trouve dans un état physiologique différent. Ce qui varie d'un green à l'autre n'est donc pas le seuil d'oxygène requis par la plante, mais le pourcentage d'humidité auquel chaque sol atteint ce seuil. Autrement dit : le besoin physiologique est fixe, mais la valeur d'humidité qui le compromet dépend entièrement de la structure du sol. La zone de confort hydrique varie ainsi de 17-20 % d'humidité pour

certains greens, à 22-25 % pour d'autres. La valeur absolue ne possède aucune signification universelle : seul compte le niveau d'oxygène associé.

C'est précisément ce que montrent les trois graphiques ci-dessus. Tandis qu'au Bercuit, l'oxygène descend sous 15 % dès 20-21 % d'humidité, signe d'une porosité air plus fragile. À Naxhelet, ce seuil apparaît vers 22-23 %. À Rigenée, il n'est atteint qu'au-delà de 24-25 %.

Les trois parcours illustrent ainsi trois dynamiques hydriques différentes. Le seuil physiologique d'O₂ est constant, mais la relation humidité-oxygène est propre à chaque sol. C'est cette relation, et non un pourcentage d'humidité universel, qui doit guider la gestion hydrique en IPM.

La littérature supporte ces observations et est très claire sur les besoins minimaux en oxygène : en dessous de 10-12 % d'O₂, les racines basculent en hypoxie sévère, avec un effondrement de la respiration. Entre 12-14 %, la plante entre dans une zone critique de stress où les capacités de défense chutent nettement, augmentant la vulnérabilité au dollar spot. La croissance racinaire optimale et un statut redox stable ne sont restaurés qu'au-dessus de 17-18 % d'O₂, seuil généralement considéré comme la "zone de confort".

Ces seuils sont physiologiques et donc universels ; ce qui varie d'un parcours à l'autre est la valeur d'humidité à laquelle chaque sol atteint ces niveaux d'oxygène. C'est précisément cette relation, et non un % d'humidité absolu, qui doit guider la gestion IPM.

3.7 Synthèse

Il n'existe aucun pourcentage d'humidité "correct" ou "universel" pour éviter le dollar spot. Chaque sol possède **son propre seuil optimal**, conditionnée par sa porosité, sa granulométrie, son état structural et son historique. Ce seuil doit être calculé à partir de **l'analyse physique**, pas d'une règle générique.

- Le dollar spot apparaît lorsque la **fraction air diminue** et que le sol bascule vers un **stress hypoxique / redox instable**.
- La gestion la plus efficace consiste donc à maintenir une **balance air/eau stable**, spécifique au site, et régulièrement recalibrée.

4 Modélisation du risque de maladies : vers une épidémiologie sectorielle

La modélisation du risque constitue le troisième pilier de la stratégie IPM. Elle permet non seulement d'identifier les fenêtres favorables aux attaques de Dollar Spot, mais aussi de mieux coordonner nutrition, irrigation et pratiques culturales dans un contexte zéro phyto.

Les essais menés à l'échelle régionale montrent que le modèle Smith-Kerns constitue une base scientifique solide. Toutefois, l'analyse des données met également en évidence que l'avenir de la gestion du risque repose sur une approche **hybride**, combinant :

- la prédiction climatique,
- les données propres au site,
- et l'intelligence collective.

4.1 Le modèle Smith-Kerns comme socle

Le modèle Smith-Kerns, fondé sur la relation entre température, humidité relative et durée du point de rosée, fournit :

- une visualisation claire des phases où les conditions climatiques sont favorables au Dollar Spot,
- une aide au timing des opérations (nutrition, gestion de l'eau, opérations mécaniques),
- un repère objectif pour anticiper les périodes critiques.

Les graphiques issus des essais illustrent sa pertinence : la dynamique journalière du risque suit précisément les cycles météo, ce qui permet aux équipes de préparer leurs interventions pendant les fenêtres les plus sensibles.

Le modèle offre donc un **socle méthodologique robuste**, particulièrement utile pour comprendre la saisonnalité du pathogène et structurer une stratégie préventive.

4.2 Limites d'une modélisation unique

Bien qu'efficace pour décrire les conditions climatiques propices au Dollar Spot, Smith-Kerns reste un modèle **universel**, développé aux États-Unis pour la recommandation des fenêtres d'application fongique, un contexte très différent du zéro phyto.

À ce titre, il doit être interprété avec nuance.

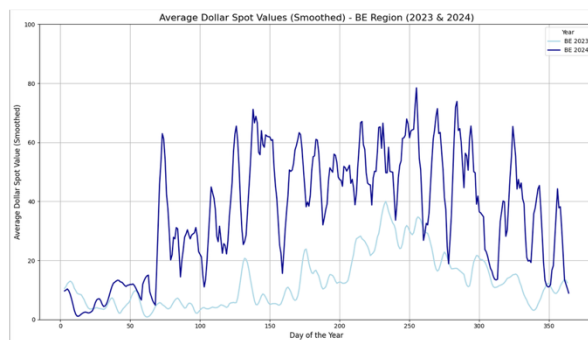
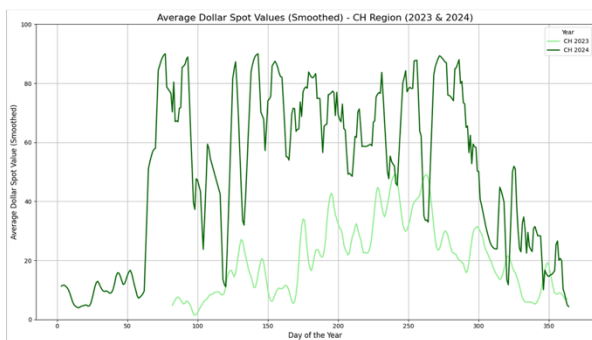
Exemple 2024 : une année à prédiction "élevée continue"

Le graphique régional CH 2023-2024 montre qu'en 2024, le modèle indique un risque élevé **quasi ininterrompu entre juin et septembre**.

Cette lecture est exacte d'un point de vue climatique : l'été 2024 a été chaud, humide, et favorable au pathogène.

Cependant :

- tous les sites n'ont pas connu des attaques sévères ni continues,
- certains n'ont eu que quelques foyers ponctuels,
- d'autres ont réagi différemment selon leurs graminées et leurs pratiques.



Cela rappelle qu'un modèle climatique exprime un **potentiel**, pas une **réalité uniforme**.

4.3 Vers une prédiction contextualisée : cadre régional et réalités propres à chaque site

Dans un cadre zéro phyto, le modèle Smith-Kerns constitue une base climatique indispensable, mais **il n'est pas suffisant pour guider une gestion agronomique précise**. Pour soutenir efficacement une stratégie IPM moderne, la prédiction doit gagner en granularité et refléter les spécificités des clubs.

Dans cette logique, deux dimensions complémentaires deviennent essentielles :

1. **la donnée régionale**, issue de l'intelligence collective,
2. **L'entraînement local**, basé sur les données propres au terrain.

1) La donnée régionale - Intelligence collective et épidémiosurveillance

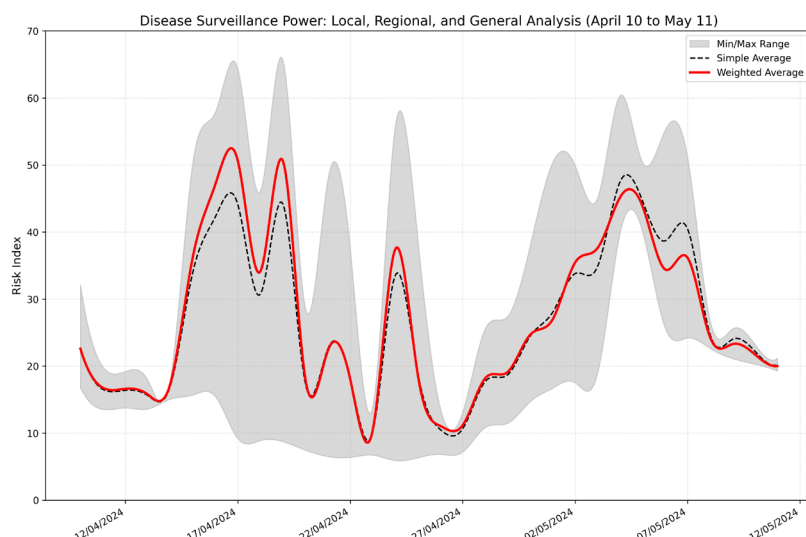
L'intelligence collective désigne ici la capacité d'un réseau de clubs à **partager leurs observations, leurs dynamiques de risque et leurs données climatiques** afin d'obtenir une lecture plus robuste que celle d'un site isolé. Cette approche s'apparente à un système d'**épidémiosurveillance sectorielle**, comparable à ce qui se pratique en agriculture ou en santé des cultures.

D'un point de vue scientifique, ce réseau permet :

- d'identifier **les tendances partagées** à l'échelle d'une région ou d'un cluster comparable,
- de repérer plus rapidement **les anomalies saisonnières**,
- d'établir des seuils d'alerte plus pertinents,
- de stabiliser la prédiction en intégrant une diversité de comportements.

L'intérêt est simple : **le climat est commun, mais les réponses des terrains sont diverses**. En agrégeant ces réponses, on obtient une lecture plus fiable et plus résiliente face aux années atypiques (ex. 2024).

La donnée régionale ne remplace pas l'observation locale, mais **elle fournit un cadre** : une tendance collective qui permet au greenkeeper de situer son site par rapport au réseau.



2) L'entraînement local - Le feedback loop qui ajuste la prédiction à la réalité du site

L'apprentissage local correspond à la capacité d'un modèle à s'ajuster progressivement aux observations de chaque terrain. Il s'agit d'un **boucle de rétroaction naturelle**, comparable à ce qu'un greenkeeper fait déjà dans son suivi quotidien, mais structurée dans un cadre de prédiction.

Cet entraînement local permet de corriger la prédiction afin d'obtenir un modèle réellement adapté au club.

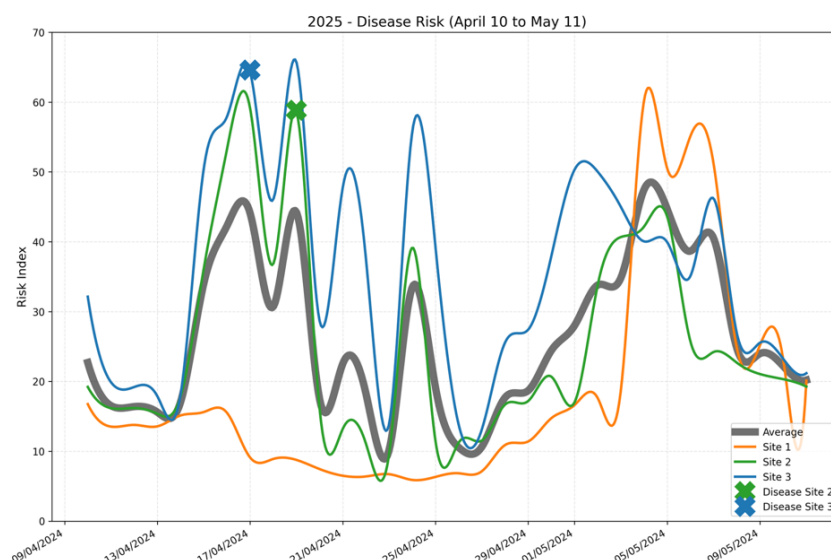
Indirectement, il capture des éléments souvent impossibles à mesurer précisément, mais observables par leurs effets :

- les spécificités variétales (agrostis, fétuque, poa),
- l'absorption nutritionnelle réelle (écart GP / tonte),
- les comportements hydriques du sol (réactivité, drainage, rétention),
- la structure et la porosité du substrat,
- la pression historique du pathogène et les schémas d'IPM passés.

Ces facteurs "imprévisibles" deviennent **capables d'être intégrés**, car le modèle corrige sa trajectoire en fonction de ce qu'il apprend du site (feedback du greenkeeper en temps réel d'apparitions ou non de maladies).

Chaque terrain dispose donc d'une **empreinte agronomique unique**, et c'est cette singularité qui explique pourquoi :

- les courbes des trois sites divergent nettement,
- les pics climatiques ne produisent pas les mêmes effets partout,
- deux clubs sous le même climat peuvent avoir des profils de risque distincts.



4.4 Conclusion

Le cadre zéro phyto exige un niveau de précision plus élevé, car la gestion repose intégralement sur :

- la nutrition,
- l'humidité,
- la compréhension des dynamiques saisonnières,
- et la capacité d'anticiper les phases sensibles.

Dans cette logique :

- La pression climatique et des modèles universelles tels que Smith-Kerns fournit une première fondation théorique solide.
- **La dynamique régionale**, issue de l'intelligence collective, apporte la tendance commune et stabilise l'interprétation.
- **Le comportement local** capture la réalité du terrain : sol, graminée, pratiques, historique.

Ce triptyque, **climat + région + site**, permet d'obtenir une prédiction **pertinente, contextualisée et réellement utile** pour accompagner la gestion IPM dans une transition zéro phyto.

Cette approche intégrée et progressive offre un cadre d'apprentissage continu : **apprendre du passé pour mieux anticiper le futur, et renforcer la résilience agronomique des parcours** sans recours aux produits phytosanitaires.