



DOLLAR SPOT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

ARTICLE

Impact des changements climatiques sur le risque d'apparition des épidémies de dollar spot

Auteur : R. GIRAUD

Cet article tente d'étudier l'impact du changement climatique sur le risque d'apparition d'une des maladies principales du gazon : le dollar spot. L'étude utilise un modèle météorologique récent (modèle Smith-Kerns) et des données fiables des stations SYNOP de Météo France qui mesurent différents paramètres météorologiques depuis 1996 sur l'ensemble du territoire français.

INTRODUCTION

Le dollar spot est une maladie fongique du gazon causée par les champignons du genre *Clariireedia*¹. Dans les zones climatiques tempérées, c'est la maladie la plus impactante sur les surfaces engazonnées²⁻⁴. Sur le territoire français, elle constitue avec la fusariose froide (*Microdochium nivale* et *majus*) la menace la plus importante sur les parcours de golf. La maladie cause en effet des dégâts considérables sur les surfaces à forte maintenance et faibles hauteurs de tonte comme les greens ou fairways^{2,4} (voir figure 1). Elle peut également se développer sur des surfaces engazonnées moins intensives comme les terrains de sports ou pelouses d'agrément^{4,5}. Le champignon pathogène touche aussi bien les graminées de saison froide (*agrostis sp.*, *festuca sp.*, *lolium sp.*, *poa sp.*) que les graminées de saison chaude (*cynodon sp.*, *paspalum vaginatum*, *zoysia sp.*)^{1,5}. Les dégâts occasionnés



Figure 1 : symptômes du dollar spot sur green de golf en Normandie. Photographie : R. GIRAUD

réduisent la qualité esthétique des surfaces touchées mais également leur jouabilité avec un impact économique considérable. Le manque à gagner vient d'une part de la diminution de la qualité de la surface et d'autre part du coût des traitements dont le prix moyen augmente d'année en année. De plus, la résistance du dollar spot à différentes familles chimiques de fongicides a largement été observée⁶⁻¹⁵ jusqu'à la dernière génération de fongicide¹⁶. Dans le cas de résistance avérée, l'efficacité des fongicides est largement diminuée ce qui pousse l'intendant

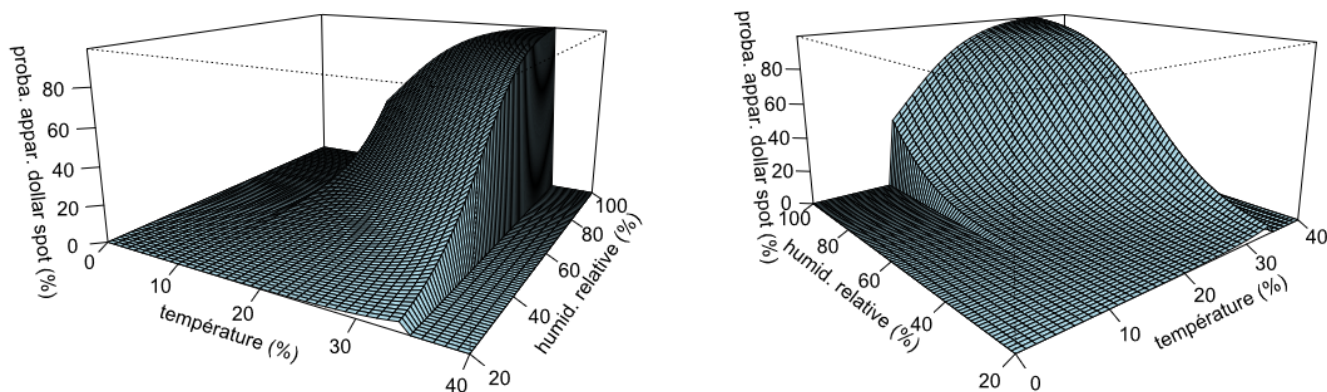


Figure 2 : graphique en trois dimensions du modèle Smith-Kerns : probabilité d'apparition du dollar spot (%) en fonction de la température moyenne de l'air (°C) et de l'humidité relative (%). Source : R. GIRAUD à partir de la publication de Smith et Kerns, 2018

à augmenter la fréquence de traitement ou les doses d'application.

Le dollar spot a été découvert en 1937 par F.T. Bennett¹⁷. Pourtant, la compréhension de sa biologie et de son épidémiologie reste encore peu claire. La large gamme de températures où l'infection est possible (15 à 30°C) et un manque d'efficacité des techniques culturales ont mené à une utilisation quasi-systématique de fongicides pour contrôler efficacement le pathogène^{2,4,18}.

Récemment, plusieurs scientifiques américains ont mis au point un modèle météorologique de probabilité d'apparition du dollar spot¹⁹. Développé à partir d'un monitoring de différents paramètres météorologiques et plus de 7182 observations sur greens et fairways de golfs, il estime par régression logistique la probabilité d'apparition de la maladie. Dans le modèle, deux paramètres sont utilisés : **l'humidité relative et la température de l'air**. Plus précisément, ce sont les moyennes sur 5 jours consécutifs de ces deux paramètres qui sont utilisées. Le modèle a été validé avec succès à partir des données de plusieurs sites aux USA entre 2010 et 2016. Il a permis dans certains cas d'économiser jusqu'à 3 passages de fongicides¹⁹ par rapport à une méthode classique de traitement calendaire impliquant un traitement toutes les 3 semaines lors des périodes d'épidémies.

Le nouveau système consiste à effectuer des applications lorsque le seuil de probabilité d'apparition de la maladie estimé à partir du modèle dépasse 20%. Ce seuil permet en effet d'obtenir une fiabilité statistiquement équivalente aux traitements calendaires tous les 21 jours. Ainsi, ce modèle constitue un excellent outil d'aide à la décision pour les intendants. Il permet également une meilleure compréhension des conditions d'apparition du dollar spot.

Différentes publications étudient les conditions météorologiques propices aux conditions d'apparition de la maladie²⁰⁻²⁴. Il a ainsi été démontré que le risque d'infection augmente avec la température depuis 15°C jusqu'à 35°C avec une forte humidité nécessaire sur un minimum de 2 jours consécutifs²⁰. Une autre étude recommande une application de fongicide lorsque la température de l'air dépasse 25°C et que l'humidité relative est supérieure à 90% pendant 3 jours sur une période de 7 jours²⁴. Dans le nouveau modèle décrit précédemment, le risque d'apparition du dollar spot augmente avec l'humidité et la température avec un risque maximal pour des températures comprises entre 25 et 30°C et des humidités supérieures à 80%¹⁹ (voir figure 2).

Dans un contexte de réchauffement climatique^{25,26}, il est utile à l'échelle du territoire français, d'étudier l'impact de ce

changement sur l'incidence des pathogènes du gazon. Par l'intermédiaire du nouveau modèle de prédiction d'apparition du dollar spot et des données de stations météorologiques françaises sur plus de 20 ans, cet article tente d'identifier l'impact du changement climatique sur le développement de la maladie. A ma connaissance, aucun travail de ce type n'a été réalisé sur le territoire français.

MATERIEL ET METHODE

Météo France propose désormais le téléchargement **sous licence ouverte d'Etalab** des **données du réseau synoptique (SYNOP)** : un réseau mondial de stations fournissant des données complètes mesurées toutes les 3 heures. Le territoire français compte 62 stations installées pour la plupart dans des aérodromes ou aéroports. L'historique des données permet de remonter jusqu'en 1995 soit 23 ans de données météorologiques. Du fait des quantités très importantes de données, il a été choisi de réaliser des scripts sous le logiciel gratuit R (<https://www.r-project.org/>) permettant l'extraction et le traitement rapide du jeu de données. Les scripts d'extraction et de traitement sont téléchargeables sur le site de la clinique du gazon (<http://cliniquedugazon.fr/fichiers/dollarspotmeteol/>). Sur les 62 stations, 21 ont été sélectionnées sur le territoire avec une répartition se voulant représentative de l'ensemble des climats



présents sur le territoire français (voir figure 3).

PROBABILITÉ D'APPARITION DU DOLLAR SPOT SUR 22 ANS DE DONNÉES CLIMATIQUES

Dans le script, des moyennes journalières des températures de l'air et de l'humidité relative sont d'abord calculées de 1997 à 2018 (soit 22 ans de mesures réalisées toutes les 3 heures pour 21 stations). Ensuite, conformément au modèle de *Smith et Kerns*, des moyennes sont calculées sur cinq jours consécutifs¹⁹. Enfin, la probabilité d'apparition du dollar spot est estimée par régression logistique à l'aide de la formule suivante :

$$\pi(\mu) = \frac{e^{\text{logit}(\mu)}}{1 + e^{\text{logit}(\mu)}}$$

Où :

$$\text{logit}(\mu) = -11.404 + 0.089 \times H_{\text{rel.}} + 0.193 \times T_{\text{air}}$$

- $H_{\text{rel.}}$ est l'humidité relative de l'air (en %)
- T_{air} est la température de l'air (en °C)

Ainsi, pour chaque station, la probabilité d'apparition du dollar spot a été calculée depuis 1997 jusqu'à 2018.

Smith et Kerns ont établi un seuil de probabilité à partir duquel un traitement doit être déclenché. Ce seuil permet d'obtenir la même efficacité que des traitements réalisés tous les 21 jours : il a été fixé à 20%. Il a donc été choisi ici de calculer depuis 1997 jusqu'à 2018 le nombre de jours annuels où la probabilité d'apparition du dollar spot dépasse les 20%. Ce nouveau paramètre est plus intéressant qu'une moyenne car il permet la comparaison de l'ensemble des années en ce qui concerne le risque d'épidémies de dollar spot. En effet, une moyenne annuelle lisse trop fortement les données alors qu'une moyenne journalière est trop lourde en termes de



Figure 3 : Localisation des stations utilisées dans l'étude : 21 stations réparties sur l'ensemble du territoire avec des climats contrastés. Crédits : Google Earth Pro.

traitement de données et de visualisation graphique.

AUTRES PARAMÈTRES UTILISÉS POUR LA COMPARAISON DES 22 ANNÉES

Afin de comparer plus finement chaque année, d'autres paramètres et moyennes ont également été calculés pour chaque station :

- Moyenne des températures (°C)
- Nombre de jours où la température moyenne sur 5 jours consécutifs dépasse 20°C
- Moyenne des humidités relatives (%)
- Nombre de jours où l'humidité relative moyenne sur 5 jours consécutifs dépasse 80%
- Nombre de jours où l'humidité relative moyenne et la température moyenne sur 5 jours consécutifs dépassent respectivement 70% et 20°C.

ANALYSE STATISTIQUE DES TENDANCES

Afin de vérifier si des tendances existent depuis 1997 jusqu'à 2018 pour l'ensemble des paramètres décrits précédemment, un test statistique de *Mann-Kendall* a été réalisé à l'aide du package « *Trend* ». Le package est disponible pour le logiciel R (<https://cran.r-project.org/web/packages/trend/index.html>).

Ce test non paramétrique est classiquement utilisé dans les différentes sciences environnementales pour analyser les tendances de séries chronologiques^{27,28}. L'hypothèse H_0 testée est « l'absence de tendance ». Si $p < \alpha$, seuil de significativité choisi, l'hypothèse H_0 est rejetée et on conclut à l'existence d'une tendance significative. Le seuil de significativité utilisé ici est de 0.05%.

Ce test a été réalisé sur l'ensemble des paramètres décrits précédemment.

RÉSULTATS

PROBABILITÉ D'APPARITION DU DOLLAR SPOT SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS

Sur 22 ans, la probabilité d'apparition moyenne de la maladie est variable suivant la localisation géographique (voir figures 4 et 5).

INFLUENCE DE LA LONGITUDE

Il existe un gradient global Est-Ouest assez marqué c'est-à-dire que le risque d'apparition du dollar spot diminue d'Ouest en Est (voir figure 4). La longitude semble donc avoir un impact important sur

l'incidence du dollar spot.

Ceci s'explique par des températures comparables le long de cet axe avec une diminution moyenne de l'humidité relative d'Ouest en Est (voir figure 6). Ce dernier paramètre ayant une forte influence sur l'apparition d'épidémies du champignon pathogène, le risque diminue alors d'Ouest en Est.

INFLUENCE DE LA LATITUDE

Etonnamment et contrairement aux idées reçues, le risque d'apparition de la maladie est moins corrélé à la latitude. Le risque d'apparition

du Nord au Sud est moins marqué, malgré des températures croissantes selon cet axe. Bien évidemment, une tendance existe (risque moyen de 10.3% à Lille contre 15.4% à Nice).

Ceci s'explique par la diminution significative de l'humidité relative du Nord au Sud. Le modèle ayant une plus forte dépendance à l'humidité relative qu'à la température, les effets de l'augmentation de la température dans le Sud sont limités par la diminution de l'humidité. Ainsi, certaines régions du Sud-Est sont moins touchées par le dollar spot que d'autres : le risque à Montélimar par exemple,

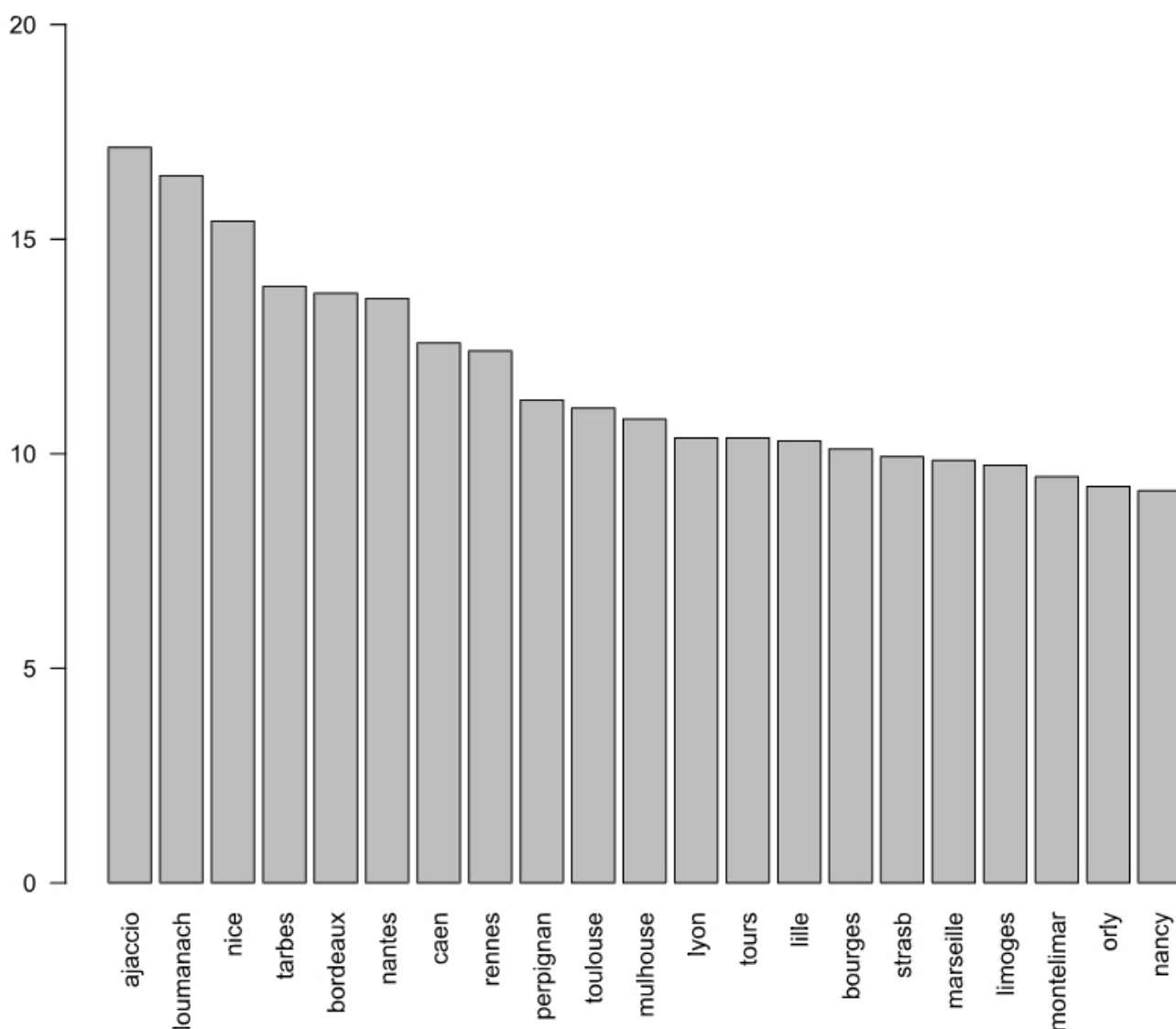


Figure 4 : Histogramme de la probabilité moyenne d'apparition du dollar spot (en %) entre 1997 et 2018 sur les 21 stations sélectionnées. .

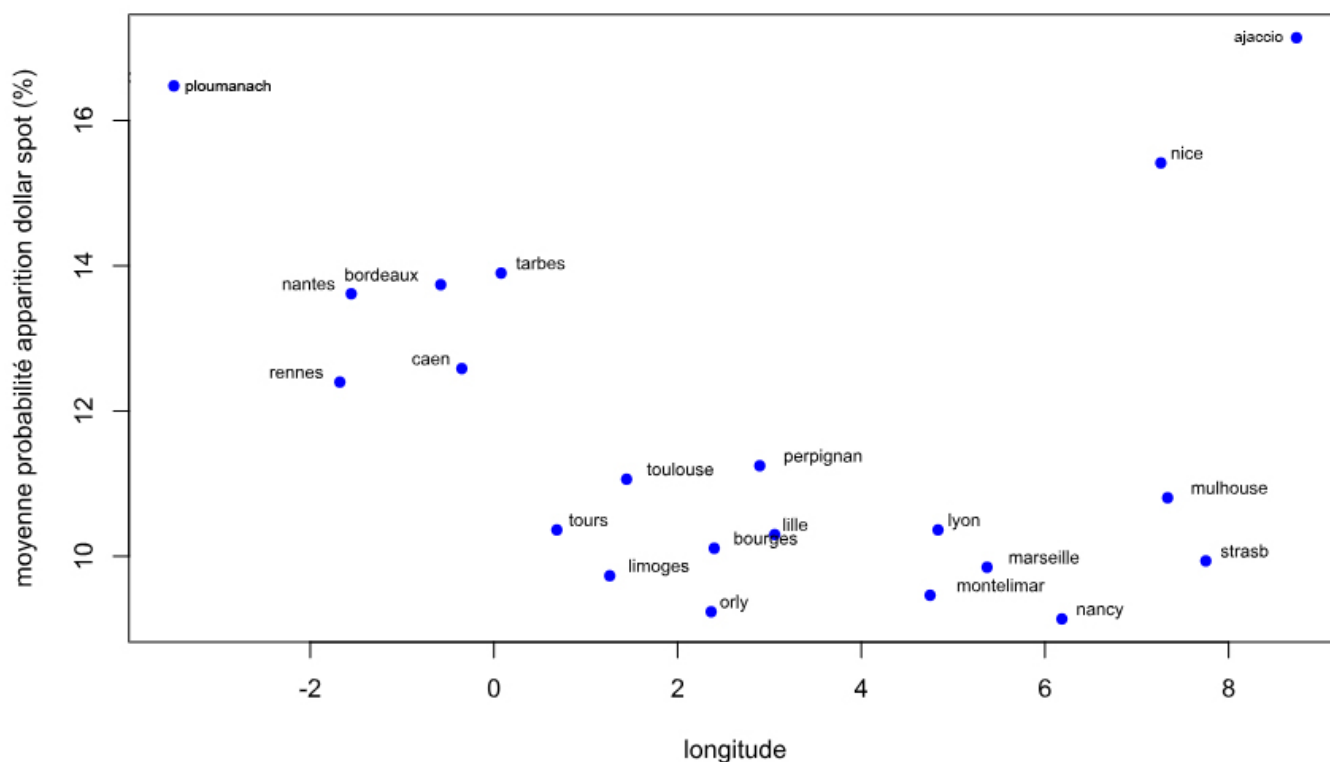


Figure 5 : Moyenne de la probabilité d'apparition du dollar spot entre 1997 et 2018 pour les différentes stations en fonction de la longitude : axe Ouest-Est. Le risque diminue d'Ouest en Est.

est relativement faible par rapport à celui de Nice, il est même comparable à celui de la région parisienne.

MINIMUM ET MAXIMUM

Sur les 21 stations étudiées et selon le modèle, le risque est maximal pour Nice (15%) et Ajaccio (17%) (voir figure 4). Dans ce quart Sud-Est, les températures moyennes sont élevées avec des températures moyennes sur 5 jours consécutifs souvent comprises entre 15 et 25°C. L'humidité relative diminue lors de la période estivale mais reste souvent supérieure à 70%. Le couple humidité relative/température est alors idéal pour des épidémies de dollar spot.

Etonnamment, le modèle calcule une probabilité d'apparition du dollar spot aussi élevée à Ploumanach dans les Côtes-d'Armor (Bretagne) que dans le Sud-Est de la France (voir figure 4). Ceci s'explique par la forte humidité relative présente tout au long de l'année (souvent supérieure à 80%, voir figure 10)

couplée à des températures sur 5 jours consécutifs dépassant régulièrement les 15°C en dehors de l'hiver (voir figure 9). Ainsi, selon le modèle de *Smith et Kerns*, le risque d'apparition du dollar spot dans cette région est comparable à celui du Sud-Est de la France (voir figures 4 et 5).

La probabilité d'apparition de la maladie est faible dans les régions réunissant ces 2 critères :
- la température moyenne sur 5 jours est **rarement supérieure à 20°C**.

- l'humidité relative moyenne sur 5 jours est **rarement supérieure à 80%**.

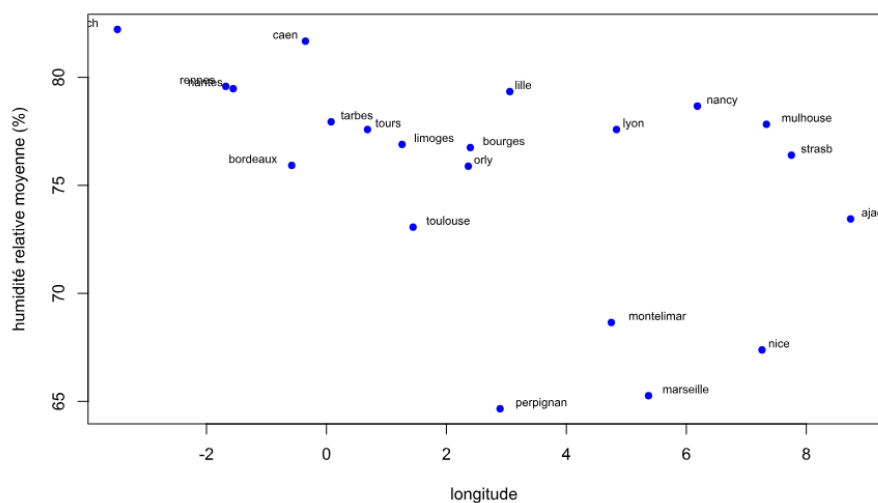


Figure 6 : Moyenne de l'humidité relative entre 1997 et 2018 pour les différentes stations en fonction de la longitude : axe Ouest-Est. L'humidité relative diminue d'Ouest en Est.

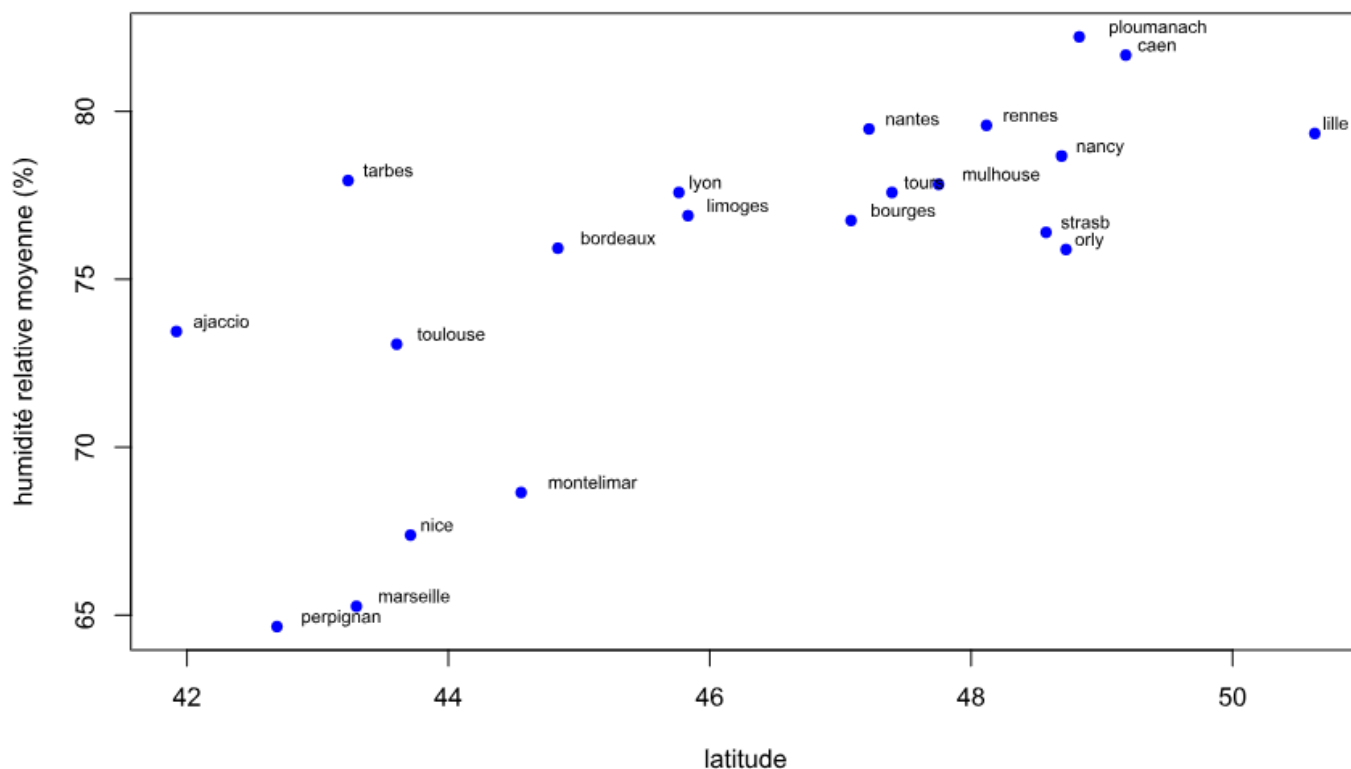


Figure 7 : Moyenne de l'humidité relative entre 1997 et 2018 en fonction de la latitude : axe Nord-Sud. L'humidité relative diminue significativement du Nord au Sud à l'inverse de la température. Leurs effets respectifs s'annulent dans le modèle d'apparition du dollar spot.

Lyon, Lille, Tours, Strasbourg, Bourges, Limoges, la région parisienne et même Marseille semblent peu impactées par dollar spot. A Lyon, la température moyenne sur 5 jours consécutifs peut parfois être élevée (25°C en période estivale par exemple) mais l'humidité relative diminue fortement lors de cette période (aux alentours de 60%). A Nancy, l'humidité relative moyenne est élevée (78%) mais la température moyenne sur 5 jours consécutifs en période estivale est trop faible pour déclencher de fortes épidémies. De même, à Marseille, la température moyenne annuelle sur 5 jours consécutifs est élevée (15.7°C) mais l'humidité relative y est trop faible (65%) avec des minimums en dehors de l'hiver diminuant fortement la probabilité d'apparition du dollar spot (voir annexe 1).

TENDANCE DU RISQUE SUR 22 ANS

Le test de *Mann-Kendall* montre que la probabilité moyenne d'apparition du dollar spot sur le territoire français ne suit aucune

tendance depuis 22 ans : cette probabilité est fluctuante mais n'augmente ou ne diminue pas significativement entre 1997 et 2018 (voir figure 11). Ainsi, il semblerait que l'évolution du climat n'impacte pas significativement la probabilité d'apparition de la maladie.

Le tableau 1 montre les résultats des différents tests de tendance effectués sur les paramètres décrits précédemment. Il existe des tendances mais elles dépendent de la localisation. L'annexe 2 montre l'évolution de la probabilité d'apparition pour différentes stations.

- Dans 20% des stations, **la température moyenne a significativement augmenté en 22 ans** (*Ajaccio, Montélimar, Nice, Strasbourg, Mulhouse*).

- Cette valeur est plus élevée pour l'humidité relative avec **57% des stations dont l'humidité relative a diminué sur la période** (*Lille, Lyon, Montélimar, Nice, Orly, Perpignan, Ploumanach, Tarbes, Toulouse, Tours, Bourges*

et *Mulhouse*)

- Dans 67% des stations, **aucune tendance n'est observée concernant le risque d'apparition du dollar spot**. La probabilité d'apparition du dollar spot n'a donc pas significativement évolué en 22 ans (voir l'annexe 2).

- A l'inverse, **pour 33% des stations, le risque d'apparition du dollar spot a significativement diminué** (*Lille, Montélimar, Nice, Ploumanach, Tarbes, Bourges et Mulhouse*, voir l'évolution de la probabilité pour Lille et Montélimar sur la figure 12).

La diminution de la probabilité d'apparition du dollar spot s'explique par la diminution significative de l'humidité relative moyenne et plus particulièrement hors de la période hivernale.

Les moyennes ne permettent pas de déceler un éventuel étalement des épidémies plus tôt (printemps) ou plus tard (automne) dans la saison. C'est pourquoi le nombre de jours où la probabilité



Probabilité d'apparition de Dollar Spot selon le modèle de Smith/Kerns

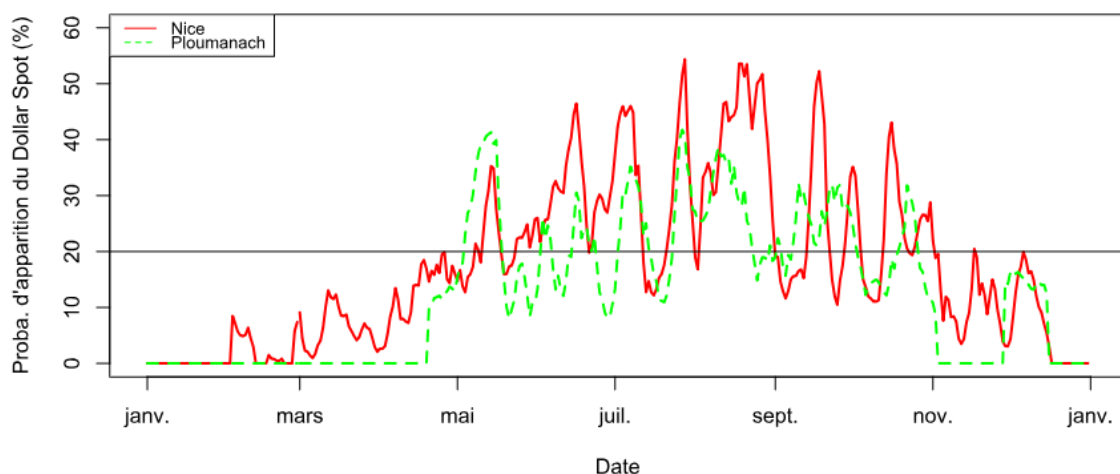


Figure 8 : Evolution de la probabilité de déclencher une épidémie de dollar spot (risque >20%) durant l'année 2000 à Ploumanach (Côtes-d'Armor) et Nice (Alpes-Maritimes). Le seuil de 20% a été choisi pour ce graphique. C'est le seuil de traitement recommandé par le modèle de Smith et Kerns.

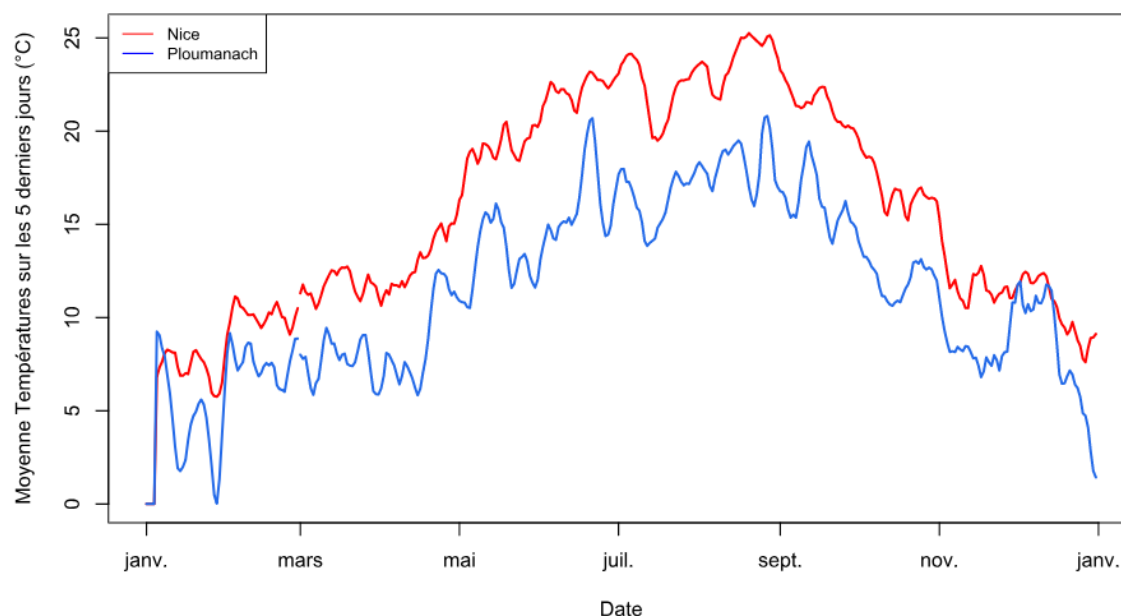


Figure 9 : Evolution de la température moyenne de l'air durant l'année 2000 à Ploumanach (Côtes-d'Armor) et Nice (Alpes-Maritimes). La température est nettement supérieure à Nice tout au long de l'année.

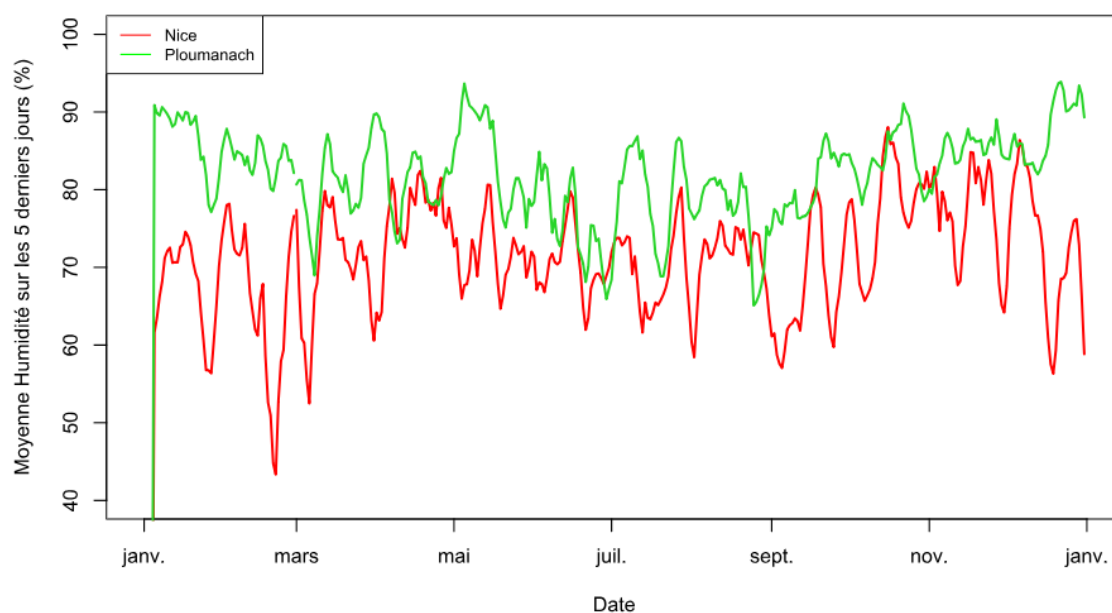


Figure 10 : Evolution de l'humidité relative de l'air durant l'année 2000 à Ploumanach (Côtes-d'Armor) et Nice (Alpes-Maritimes). L'humidité est nettement plus élevée à Ploumanach tout au long de l'année à cause de l'influence océanique.

Ville	Proba. que T > 20°C	T moy. (°C)	Humid. moy. (%)	Nb jours où proba. dollar spot >20%	Proba. apparit. dollar spot	Nb jours où T > 20 °C et h > 70%
Ajaccio		*** augm				
Bordeaux						
Bourges			*** dim	*** dim	*** dim	*** dim
Caen						
Lille			*** dim	*** dim	*** dim	
Limoges						
Lyon			*** dim	*** dim		
Marseille						
Montelimar	*** augm	*** augm	*** dim	*** dim	*** dim	
Mulhouse		*** augm	*** dim	*** dim	*** dim	
Nancy						
Nantes						
Nice		*** augm	*** dim	*** dim	*** dim	*** dim
Orly			*** dim			
Perpignan			*** dim			*** dim
Ploumanach			*** dim	*** dim	*** dim	
Rennes						
Strasbourg	*** augm	*** augm	*** dim			
Tarbes			*** dim		*** dim	
Toulouse			*** dim			
Tours			*** dim	*** dim		

Tableau 1 : Résultats des tests de Mann-Kendall sur les différents paramètres étudiés. *** signifie qu'une tendance significative existe. "augm" implique une augmentation significative du paramètre de 1997 à 2018. "dim" implique une diminution du paramètre de 1997 à 2018. La diminution de l'humidité sur un grand nombre de stations est bien visible. La diminution de la probabilité d'apparition du dollar spot l'est également.

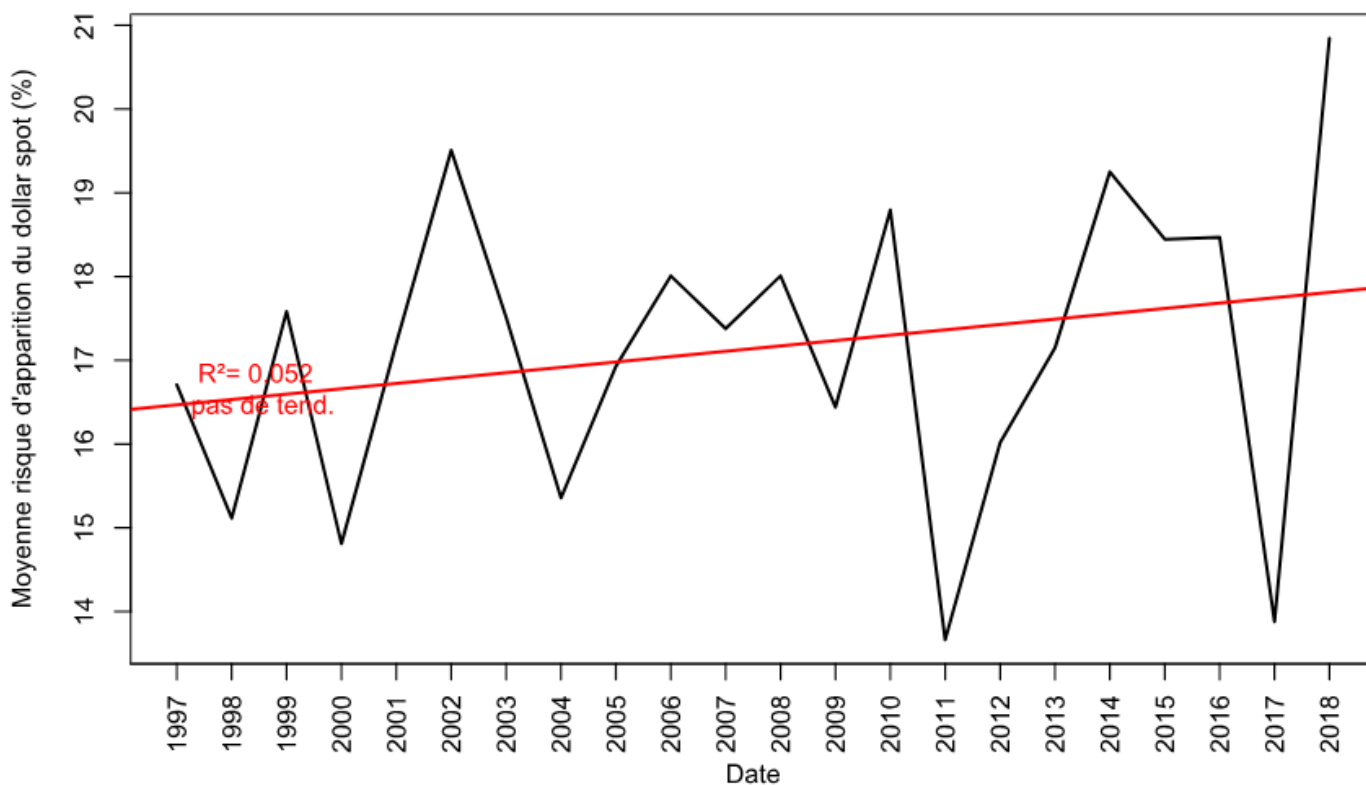


Figure 11 : Evolution de la probabilité d'apparition moyenne sur l'ensemble des stations depuis 1997 à 2018. La droite de régression linéaire semble indiquer une hausse mais elle n'est pas significative suivant le test de Mann-Kendall. Ainsi, le risque fluctue mais n'augmente pas.

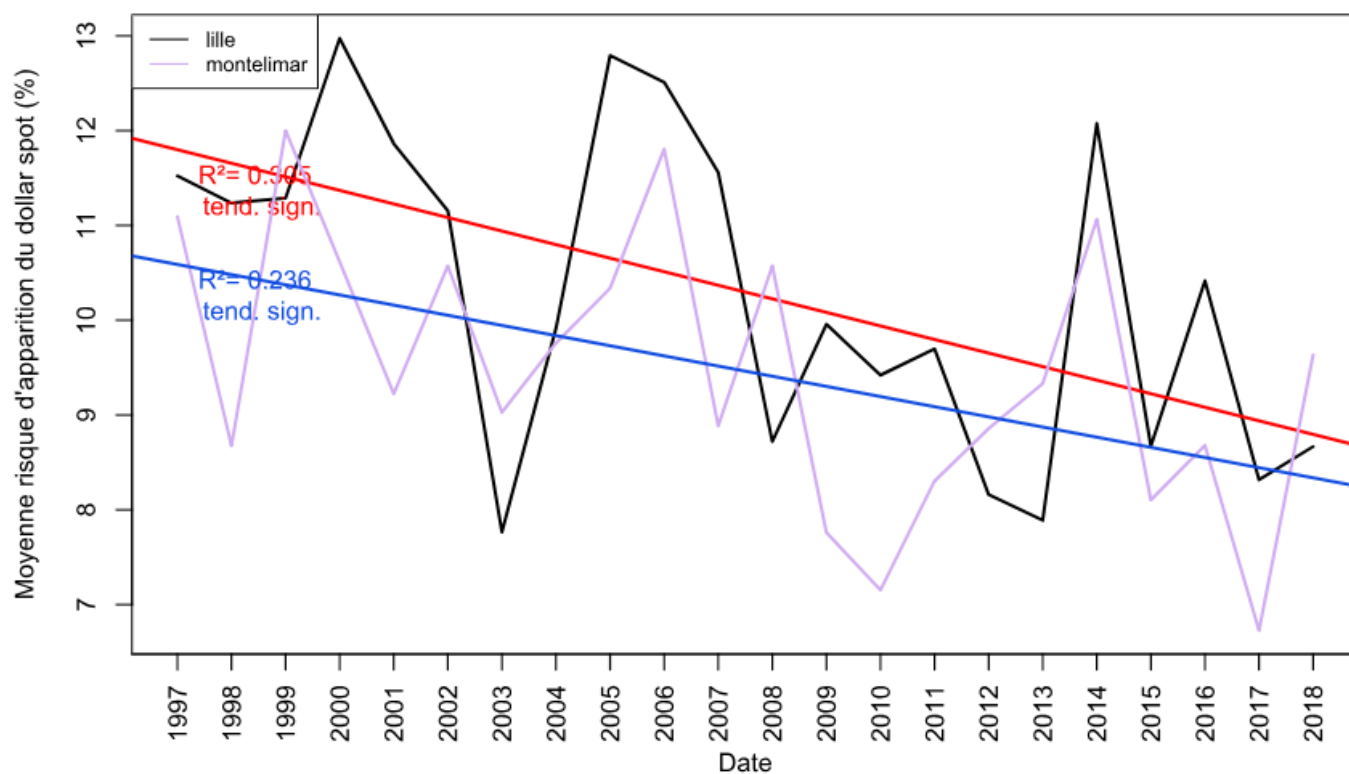


Figure 12 : Exemple de cas où le test de Mann-Kendall indique une diminution significative du risque d'apparition du dollar spot. Pour les stations de Lille et Montelimar, cette diminution de la probabilité d'apparition de la maladie est largement visible à l'aide de ces courbes entre 1997 et 2018.

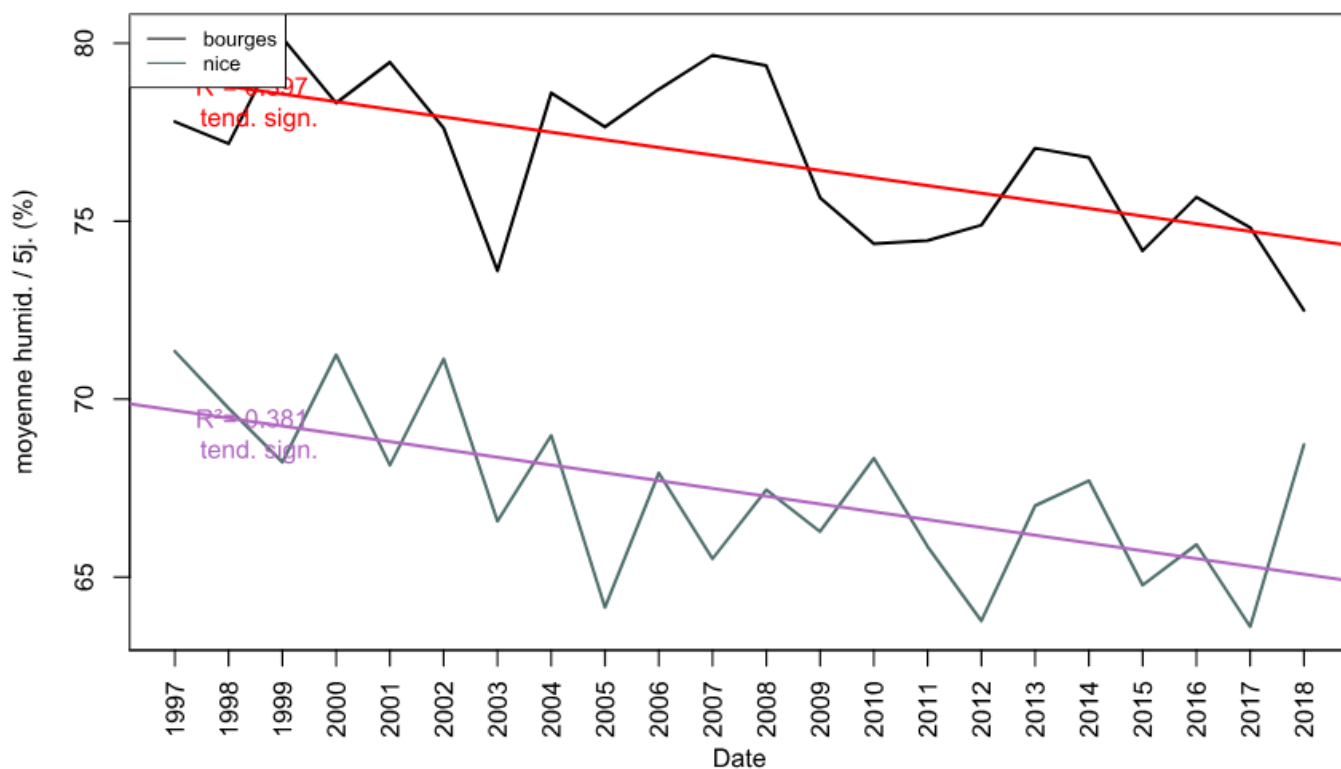


Figure 13 : Exemple de cas où le test de Mann-Kendall indique une diminution significative du risque de l'humidité relative de l'air entre 1997 et 2018. Pour les stations de Bourges et Nice, cette diminution est nettement visible sur ce graphique.

d'apparition du dollar spot est supérieure à 20% est un paramètre additionnel utile. En effet, il renseigne mieux sur l'étalement des épidémies de dollar spot sur chacune des saisons.

Dans 38% des cas, le nombre de jours où le risque est supérieur à 20% est en retrait depuis 1997 avec une tendance significative à la baisse. Ceci s'explique encore une fois par la diminution significative de l'humidité relative, surtout lors des périodes chaudes.

DISCUSSION

Finalement, le jeu de données des stations SYNOP de Météo France confirme un changement climatique avec :

- Une augmentation des températures moyennes
- Une diminution de l'humidité relative moyenne

Il semblerait cependant que l'impact de ces changements sur la probabilité d'apparition du dollar spot ne soit pas significatif. En effet, cette probabilité estimée

à l'aide du modèle de *Smith et Kerns* n'est pas impactée en moyenne par ces changements. Dans 33% des cas, cette probabilité d'apparition a même diminué depuis 1997. Cette observation s'explique par la diminution significative de l'humidité relative dans 57% des stations étudiées.

Cette conclusion contredit les croyances en une augmentation des épidémies de dollar spot à l'échelle du territoire français. Les données utilisées dans cette étude sont issues de mesures de stations météorologiques installées dans des aéroports et aérodromes. A l'échelle du golf, l'augmentation des quantités d'eau d'arrosage en conséquence de l'augmentation des températures pourrait engendrer une humidité relative locale plus élevée.

Ceci impliquerait une hypothétique sous-estimation de la probabilité d'apparition du dollar spot par les données des stations météorologiques. Quoi qu'il en soit, les tendances relevées sont fiables et représentatives des

changements climatiques subis depuis 1997.

De plus, plusieurs décennies d'utilisation des mêmes familles chimiques (*DMIs, dicarboximides* et plus récemment *strobilurines*) ont favorisé la sélection de souches résistantes avec une diminution progressive de l'efficacité des produits⁶⁻¹⁵. Ainsi, cette croyance d'une augmentation des épidémies ne serait-elle pas plutôt liée à l'augmentation du nombre de souches résistantes ? La nouvelle famille des *SDHIs* mise sur le marché du gazon récemment avec deux matières actives différentes (*fluopyram, benzovindiflupyr*) apporte un nouveau souffle au panel de solutions disponibles et une possible efficacité provisoire. Tout l'enjeu résidera alors dans la bonne gestion des rotations pour limiter l'apparition de souches résistantes à cette famille. Ceci représente un réel challenge pour les intendants de terrains de sports, d'autant plus que des cas de résistance sont déjà observés aux Etats-Unis et au Japon¹⁶.

CE QU'IL FAUT RETENIR

- De 1997 à 2018, les températures moyennes de l'air ont augmenté significativement dans 20% des stations étudiées. Les températures maximales estivales sont en moyenne plus élevées. Ce sont des conséquences du réchauffement climatique.
- En même temps, l'humidité relative a diminué dans 57% des stations étudiées.
- L'augmentation des températures moyennes s'accompagne ainsi d'une diminution de l'humidité relative.
- Le modèle météorologique de *Smith et Kerns* calcule une probabilité fiable d'apparition du dollar spot. Ce modèle dépend de 2 paramètres : l'humidité relative moyenne et la température moyenne sur les 5 derniers jours. L'humidité a un impact important quant à la probabilité d'apparition du dollar spot.
- Selon ce modèle et les données des stations de Météo France, le risque d'apparition du dollar spot n'a pas augmenté significativement entre 1997 et 2018.
- La probabilité d'apparition du dollar spot n'a pas augmenté significativement dans 67% des stations. Ce risque a même diminué significativement dans 33% des stations.
- La diminution de l'humidité relative moyenne au cours de cette période explique cette diminution du risque d'apparition de la maladie.
- Ainsi, il semblerait que les changements climatiques n'impactent pas ou impactent négativement le développement du champignon pathogène à l'échelle du territoire français.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Salgado-Salazar, C. et al. (2018).** Clarireedia: A new fungal genus comprising four pathogenic species responsible for dollar spot disease of turfgrass. *Fungal Biology* 122, 761–773 <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.04.004>
2. **Goodman, D. M. (1991).** Biological Control of Dollar Spot Disease of Creeping Bentgrass. *Phytopathology* 81, 1438 <https://doi.org/10.1094/Phyto-81-1438>
3. **Vargas, J. M. (CRC Press, 1993).** Management of Turfgrass Diseases, *Second Edition*.
4. **Walsh, B., Ikeda, S. S. & Boland, G. J. (1999).** Biology and Management of Dollar Spot (*Sclerotinia homoeocarpa*); an Important Disease of Turfgrass. *HortScience* 34, 13–21
5. **Allen, T. W., Martinez, A. & Burpee, L. L. (2005).** Dollar spot of turfgrass. The Plant Health Instructor <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2005-0217-02>
6. **Golembiewski, R. C. (1995).** Detection of Demethylation Inhibitor (DMI) Resistance in *Sclerotinia homoeocarpa* Populations. *Plant Disease* 79, 491 <https://doi.org/10.1094/PD-79-0491>
7. **Detweiler, A. R. (1983).** Resistance of *Sclerotinia homoeocarpa* to Iprodione and Benomyl. *Plant Disease* 67, 627 <https://doi.org/10.1094/PD-67-627>
8. **Burpee, L. L. (1997).** Control of Dollar Spot of Creeping Bentgrass Caused by an Isolate of *Sclerotinia homoeocarpa* Resistant to Benzimidazole and Demethylation-Inhibitor Fungicides. *Plant Disease* 81, 1259–1263 <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.11.1259>
9. **Hsiang, T., Yang, L. & Barton, W. (1997).** Baseline sensitivity and cross-resistance to demethylation-inhibiting fungicides in Ontario isolates of *Sclerotinia homoeocarpa*. *European Journal of Plant Pathology* 103, 409–416 <https://doi.org/10.1023/A:1008671321231>
10. **Hsiang, T., Liao, A. & Benedetto, D. (2007).** Sensitivity of *Sclerotinia homoeocarpa* to demethylation-inhibiting fungicides in Ontario, Canada, after a decade of use. *Plant Pathology* 56, 500–507 <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01573.x>
11. **Mocioni, M., Gullino, M. L. & Garibaldi, A. (2012).** Sensitivity of *Sclerotinia homoeocarpa* isolates from turfgrass in Italy to demethylation-inhibiting (DMI) fungicides and iprodione. *Phytopathologia Mediterranea* 50, 408–413 https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-8836
12. **Jo, Y.-K., Niver, A. L., Rimelspach, J. W. & Boehm, M. J. (2006).** Fungicide Sensitivity of *Sclerotinia homoeocarpa* from Golf Courses in Ohio. *Plant Disease* 90, 807–813 <https://doi.org/10.1094/PD-90-0807>
13. **Baird, P. (2005).** Determining Dollar Spot Fungicide Resistance in Tennessee and Northern Mississippi. *Masters Theses University of Tennessee*,
14. **Jo, Y.-K., Won Chang, S., Boehm, M. & Jung, G. (2008).** Rapid Development of Fungicide Resistance by *Sclerotinia homoeocarpa* on Turfgrass. *Phytopathology* 98, 1297–1304 <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-12-1297>
15. **Popko, J. T., Ok, C.-H., Campbell-Nelson, K. & Jung, G. (2011).** The Association Between In Vitro Propiconazole Sensitivity and Field Efficacy of Five New England *Sclerotinia homoeocarpa* Populations. *Plant Disease* 96, 552–561 <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-11-0524>
16. **Popko, J. T. et al. (2018).** Resistance of *Sclerotinia homoeocarpa* Field Isolates to Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicides. *Plant Disease* 102, 2625–2631 <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-17-2025-RE>
17. **Bennett, F. T. (1937).** DOLLARSPOT DISEASE OF TURF AND ITS CAUSAL ORGANISM, *SCLEROTINIA HOMEOCARPA* N.SP. *Annals of Applied Biology* 24, 236–257 <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1937.tb05032.x>
18. **Smiley, R. W., Dernoeden, P. H. & Clarke, B. B. (Amer Phytopathological Society, 2005).** *Compendium of Turfgrass Diseases*.
19. **Smith, D. L. et al. (2018).** Development and validation of a weather-based warning system to advise fungicide applications to control dollar spot on turfgrass. *PLOS ONE* 13, e0194216 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194216>
20. **Hall, R. (1984).** Relationship Between Weather Factors and Dollar Spot of Creeping Bentgrass. *Can. J. Plant Sci.* 64, 167–174 <https://doi.org/10.4141/cjps84-021>
21. **Endo, R. M. (1963).** Influence of temperature on rate of growth of five fungus pathogens of turfgrass and on rate of disease spread. *Phytopathology* 53, 857–861
22. **Couch, H. B. (Krieger Pub Co, 1995).** *Diseases of Turfgrasses*.
23. **Burpee, L. L. & Goult, L. G. (1986).** Evaluation of Two Dollarspot Forecasting Systems for Creeping Bentgrass. *Can. J. Plant Sci.* 66, 345–351 <https://doi.org/10.4141/cjps86-049>
24. **Mills, G. & Rothwell, J. D. (1982).** Predicting diseases the hygrothermograph. *Greenmaster* 8, 14–15
25. **Cook, J. et al. (2016).**



Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environ. Res. Lett.* 11, 048002 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/048002>

26. GIEC. (2018). Global warming of 1.5°C. *Rapport Special IPCC* 26p. https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf

27. Yue, S. & Pilon, P. (2004). A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection / Une comparaison de la puissance des tests t de Student, de Mann-Kendall et du bootstrap pour la détection de tendance. *Hydrological Sciences Journal* 49, 21–37 <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.21.53996>

28. Yue, S. & Wang, C. (2004). The Mann-Kendall Test Modified by Effective Sample Size to Detect Trend in Serially Correlated Hydrological Series. *Water Resources Management* 18, 201–218 <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>

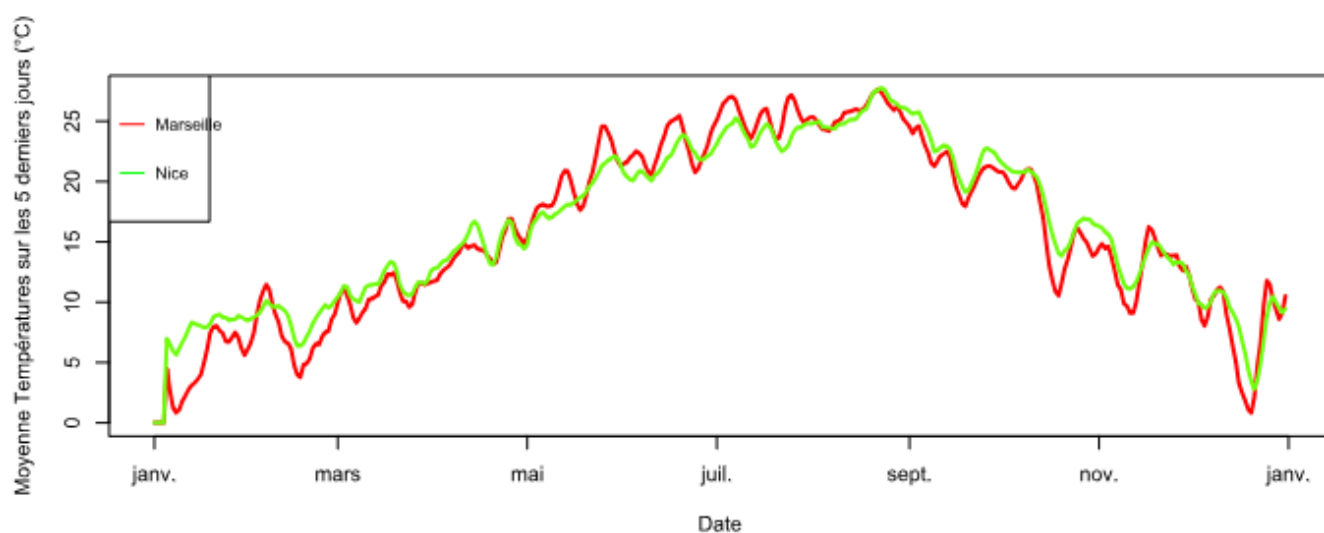
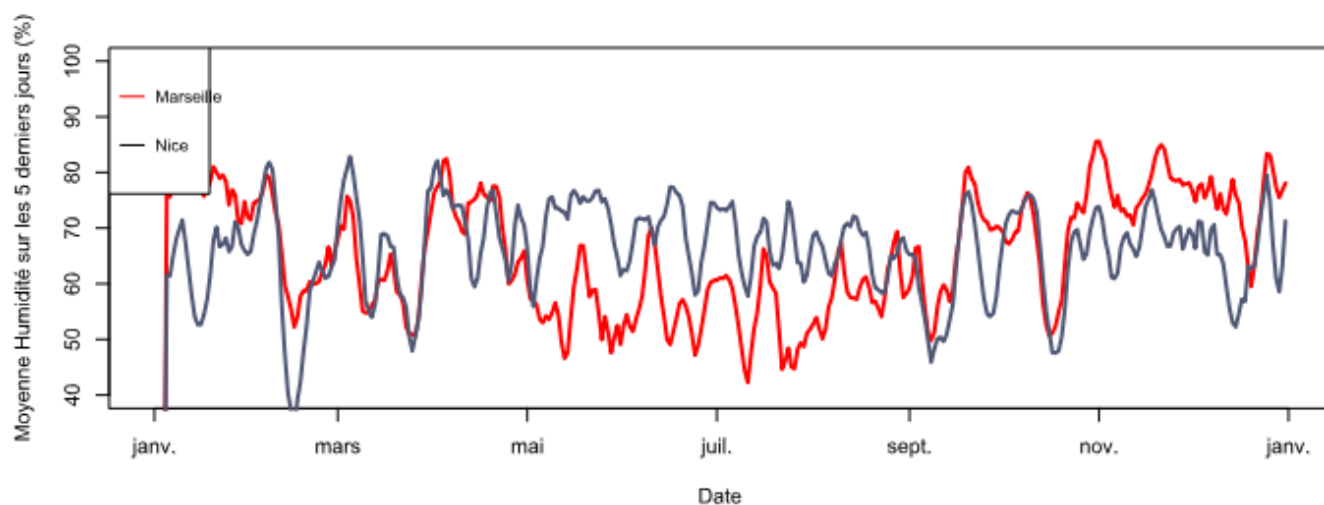
Romain GIRAUD

Agronome & Chargé de recherche chez Natural Grass

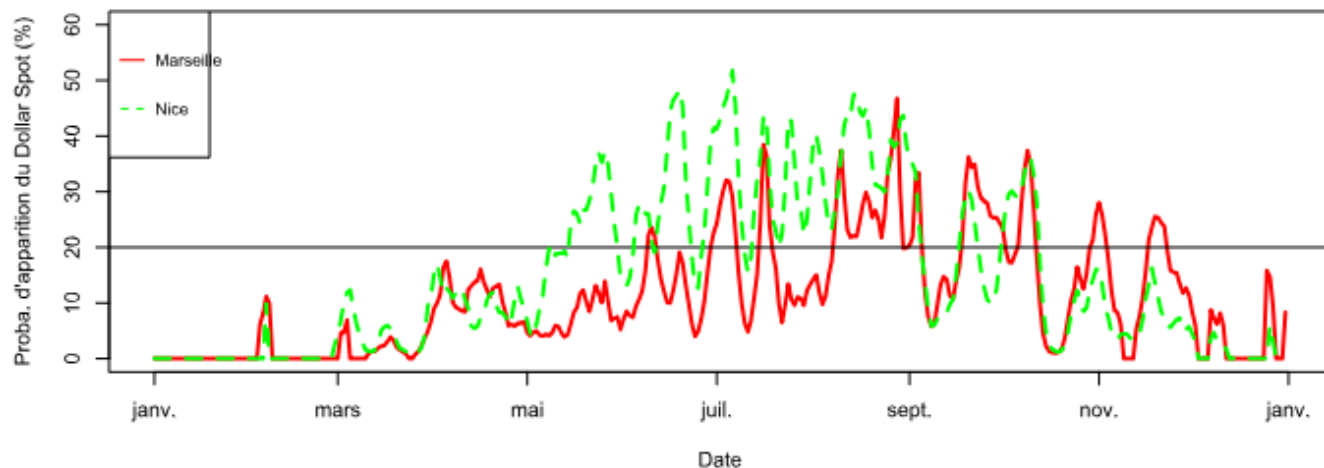
Auteur de la Clinique du Gazon

Clinique du Gazon®. Tous droits réservés

ANNEXE 1 : comparaison de la probabilité d'apparition du dollar spot, de l'humidité relative moyenne journalière et de la température moyenne journalière pour l'année 2009 pour les stations de Nice et Marseille.



Probabilité d'apparition de Dollar Spot selon le modèle de Smith/Kerns



ANNEXE 2 : comparaison de la probabilité d'apparition du dollar spot de 1997 à 2018 dans différentes stations.

Pour les deux graphiques supérieurs, la tendance est significativement à la baisse (Bourges, Lille, Tarbes, Mulhouse).

Pour les deux graphiques inférieurs, il n'y a aucune tendance significative (Ajaccio, Bordeaux, Marseille, Lyon).

