

FICHE

**Prévisions climatiques saisonnières et
analyse de la probabilité et de la
temporalité de présence des pucerons**

SOMMAIRE

1. DESCRIPTION DE LA METHODE	2
1.1. Sources de données climatiques.....	2
1.1.1. <i>Système de prévision de Météo-France</i>	2
1.1.2. <i>Système de prévision COPERNICUS</i>	3
1.2. Prédiction du risque « jaunisse ».....	3
2. RESULTATS DES ANALYSES	4
2.1. Résultats des projections Copernicus.....	4
2.2. Résultats des projections sur le modèle de Météo-France	1
2.3. Prévission des dates d'arrivée des pucerons (ou date des premiers vols)	2
3. CONCLUSION	4

L'objectif de cette fiche est d'analyser les informations issues des prévisions climatiques saisonnières et les éléments issus des simulations. Ceci doit nous renseigner d'une part sur le risque d'occurrence de pucerons, vecteurs des viroses de la betterave et d'autre part sur la temporalité de la présence des pucerons puisque les arrivées précoces, sur des betteraves jeunes, sont plus susceptibles d'engendrer des symptômes de viroses marqués et d'entraîner des jaunissements de feuilles, conduisant à une diminution de l'activité photosynthétique et donc à des baisses de rendement racines et de rendement sucres, avec les incidences sur l'économie des exploitations et des industries sucrières.

L'analyse des données doit plus précisément porter sur la possibilité que nous avons d'écarter un risque significatif d'occurrence précoce, en absence de mesure prophylactique et/ou curative actionnable à grande échelle en 2022.

La méthode retenue l'an dernier s'appuyait sur une analyse des modèles de prévisions climatiques saisonnières.

Ces dernières fournissent les grandes tendances de certains paramètres météorologiques, comme les températures, pour les mois à venir, à l'échelle de vastes régions (au moins 1000 km sur 1000 km). À ces échéances, les variations de la température, de la salinité et des courants des océans, notamment tropicaux, ont des influences significatives sur l'évolution de l'atmosphère. Les variations de la glace de mer et des surfaces continentales (humidité du sol, couverture de neige) jouent aussi un rôle dans l'évolution de l'atmosphère. Pour produire les prévisions saisonnières, on utilise donc des modèles climatiques globaux qui simulent l'évolution de l'atmosphère, des océans, des glaces de mer et leurs interactions. Les prévisions saisonnières sont des prévisions probabilistes et leur niveau de performance qui dépend notamment de la zone géographique, est limité en Europe pour les températures hivernales. Météo-France produit chaque mois un bulletin expertisé pour les tendances saisonnières à trois mois sur l'Europe analysant le contexte climatique et les prévisions des modèles climatiques.

Les températures moyennes en automne et en hiver sont pertinentes à deux titres pour le risque de jaunisse sur la betterave.

Tout d'abord, elles donnent une indication sur la capacité de survie des pucerons pendant l'hiver, et, plus largement, sur la persistance de l'ensemble de la chaîne trophique intégrant pucerons et auxiliaires.

Par ailleurs, elles informent sur la date d'occurrence des premiers vols de pucerons virulifères, ce point étant largement et efficacement décrit par la relation entre la température moyenne au cours des mois de janvier-février et la date des premiers vols de pucerons. Le modèle utilisé mobilise la température sur la période 01/01-14/02.

Cependant, des conditions climatiques moyennes favorables peuvent être contrecarrées par des épisodes de gel intense, défavorables au développement de la maladie. Par ailleurs, le climat ne détermine pas à lui seul le risque de maladie. Bien d'autres facteurs entrent en ligne de compte comme les virus disponibles dans l'environnement, l'état des réservoirs initiaux, l'environnement paysager. Ces limitations sont à prendre en compte dans l'analyse de la valeur prédictive des résultats.

1. Description de la méthode

Sont décrites dans cette partie les problématiques de sources de données et de méthodes utilisées pour prédire la date d'arrivée des pucerons en 2022.

1.1. Sources de données climatiques

Les analyses ont été réalisées en utilisant deux sources d'informations suivantes :

- ◆ les prévisions débiaisées réalisées par le système de prévisions saisonnières de Météo-France ajusté aux observations passées qui permet une analyse numérique détaillée, en particulier des probabilités de dates d'arrivée de pucerons ;
- ◆ les prévisions brutes disponibles sur le service européen C3S (*Copernicus Climate Change Service*) qui regroupe les prévisions saisonnières de plusieurs agences météorologiques de par le monde ; elles sont disponibles sous forme de synthèses cartographiques par trimestres à l'échelle européenne¹.

Les deux sources de données qui ont été utilisées diffèrent par leurs niveaux de corrections et de post-traitement consécutifs aux simulations climatiques. Celles-ci présentent des biais qu'il est nécessaire de corriger pour réaliser des interprétations quantitatives des prévisions. Ces biais ont pour origine la physique des modèles qui n'est qu'une représentation imparfaite de la réalité du fonctionnement climatique tant au niveau des processus que de la prise en compte des hétérogénéités spatiales (classiquement, les modèles utilisent des mailles de calculs de plusieurs dizaines de kilomètres). Les prévisions sont initialisées au premier jour de chaque mois.

1.1.1. Système de prévision de Météo-France

Pour le système de prévision de Météo-France, les prévisions saisonnières sont réalisées à partir de 51 simulations (appelées « membres »). Chacune d'elles correspond à une initialisation différente du modèle et produit une réalisation climatique cohérente pour les sept mois suivants. Ces simulations diffèrent en général l'une par rapport à l'autre et la prévision saisonnière est effectuée en analysant l'ensemble des simulations de manière probabiliste en recherchant les tendances futures. Dans le cas des températures, l'analyse porte sur la probabilité d'avoir une tendance chaude (Q3, tercile haut), froide (Q1, tercile bas) ou « normale » (ou « moyenne ») (Q2).

Les données élaborées par Météo-France ont été « débiaisées ». Les biais, qui ne sont pas constants dans l'espace, ni dans le temps, ont été déterminés en comparant les simulations du modèle de prévision sur la période 1993-2016 aux observations météorologiques. Dans un second temps, ces biais sont utilisés pour corriger les simulations des prévisions saisonnières. Les données sont finalement fournies à une résolution spatiale de 8 km par 8 km².

¹ Site des données Copernicus :

https://climate.copernicus.eu/charts/c3s_seasonal/?facets=Parameters,T2m&time=2021110100,720,2021120100&type=terc_lo&rea=area01

² La page <https://meteofrance.fr/actualite/publications/les-publications-de-meteo-france/les-dernieres-previsions-saisonnières>, présente une analyse finalisée des prévisions saisonnières.

1.1.2. Système de prévision COPERNICUS

Les données COPERNICUS proviennent des systèmes de prévisions saisonnières de différentes agences météorologiques :

- ◆ DWD (Deutscher Wetterdienst, Allemagne) ;
- ◆ CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italie) ;
- ◆ NCEP (National Centers for Environmental Prediction, Etats-Unis) ;
- ◆ JMA (Japan Meteorological Agency, Japon) ;
- ◆ ECCC (Environment and Climate Change Canada) ;
- ◆ MF (Météo-France)
- ◆ Met Office (Grande-Bretagne) ;
- ◆ ECMWF (centre européen de prévision à moyen terme).

La prévision dénommée « *C3S multisystem* » combine les prévisions de ces différents centres.

Les données COPERNICUS sont à basse résolution spatiale et directement issues des simulations par les modèles climatiques respectifs de chaque agence, donc non débiaisées. De ce fait, elles ne peuvent pas être utilisées pour des analyses quantitatives. Elles fournissent néanmoins des informations qualitatives très intéressantes qui permettent de renforcer l'analyse de la variabilité des résultats entre les différentes simulations. Cette variabilité peut être importante, exprimant la plus ou moins grande fiabilité des prévisions. La comparaison du modèle de Météo-France au multi-modèle « C3S » permet de qualifier la confiance que l'on peut accorder au jeu de données quantitatif basé sur ce seul modèle.

Il est précisé que le « débiaisage » de ces modèles nécessiterait la mise en place d'une chaîne de calcul qui n'existe pas actuellement et prendrait plusieurs mois, et ne permettrait pas l'instruction de la présente demande.

1.2. Prédiction du risque « jaunisse »

Le risque jaunisse dépend de la date d'inoculation des virus par les pucerons. Plus les betteraves sont contaminées à un stade jeune, plus l'impact sur la croissance et le rendement racine et sucre sera important. Les travaux de Qi et al. (2004) ont montré qu'il existe une corrélation entre la moyenne de la température entre le 1^{er} janvier et le 14 février et la date des premières captures de pucerons. Cette corrélation a été confirmée par Dewar et Qi en 2021 en tenant compte des années récentes dans l'analyse. Des dates d'arrivée de pucerons sont calculées en appliquant l'équation de Qi aux simulations climatiques de Météo-France. Les 51 simulations climatiques permettent ainsi de calculer une probabilité d'arrivée avant une date donnée. Cette probabilité peut être considérée comme un premier indicateur du risque de jaunisse.

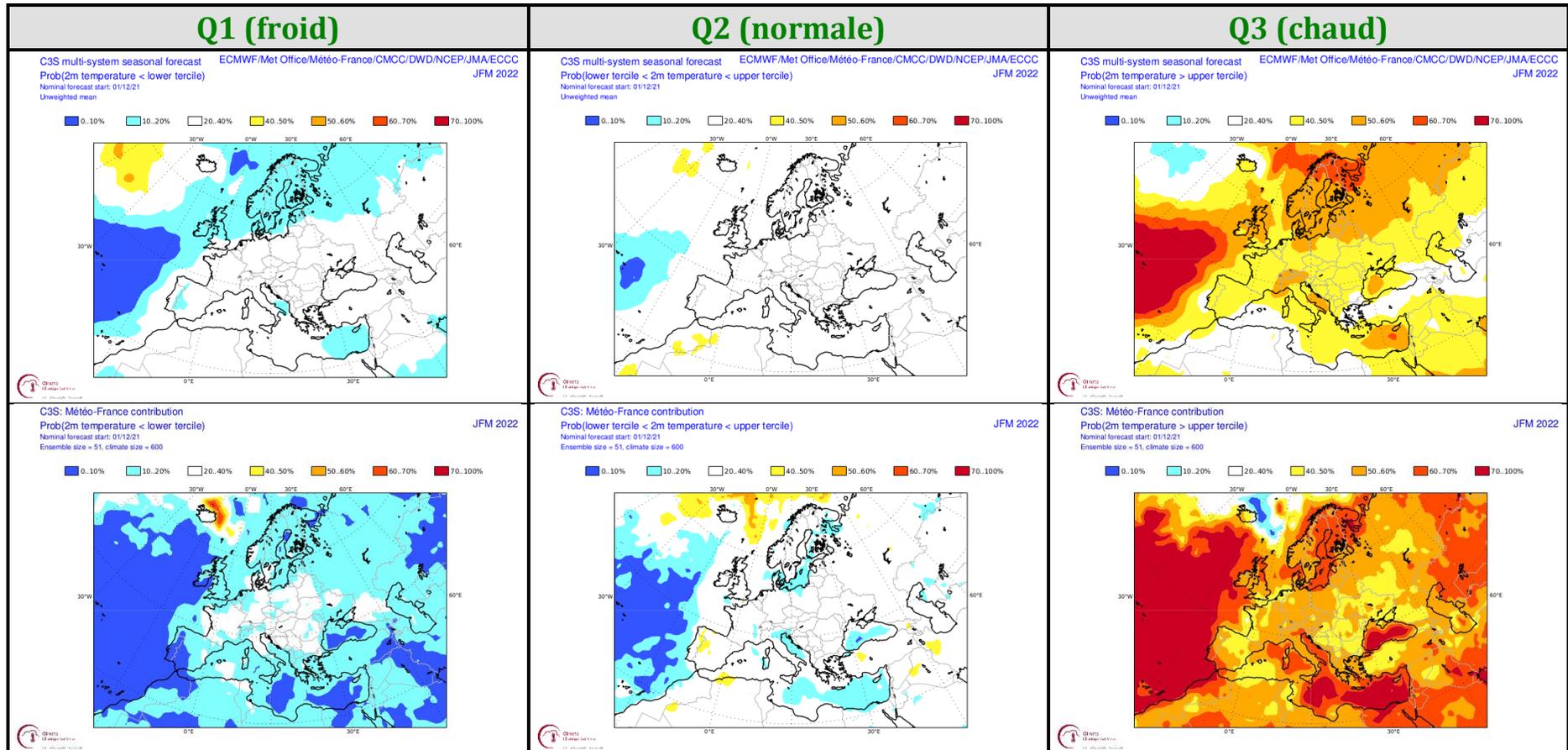
Par ailleurs, les plantes adultes sont naturellement plus résistantes aux pucerons et à la transmission virale. Ce stade est atteint au plus tôt au 1^{er} juin pour les années les plus précoces, à un stade proche de 10-12 feuilles. Le 1^{er} juin a donc été défini comme la date à partir de laquelle la sensibilité des betteraves à la jaunisse diminue fortement pour calculer un second indicateur : la probabilité moyenne d'une arrivée de pucerons avant cette date.

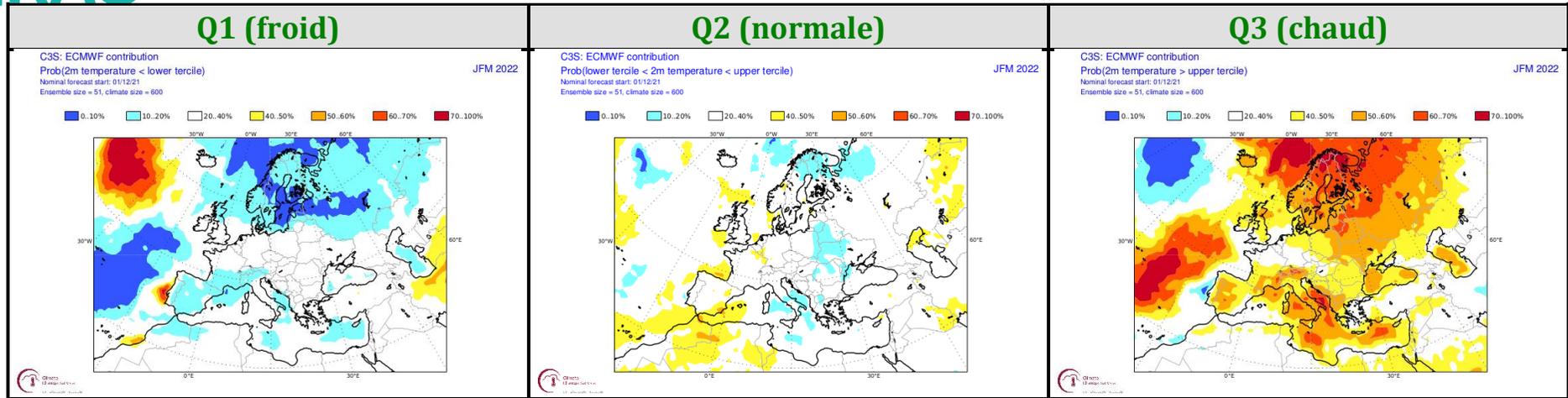
2. Résultats des analyses

2.1. Résultats des projections Copernicus

Les figures et les tableaux ci-dessous présentent les prévisions de la température de l'air (T2m) en termes probabilistes. Ils présentent les probabilités d'appartenance des températures aux trois terciles, Q1 (froid), Q2 (normale) et Q3 (chaud) sur le trimestre janvier-février-mars 2022 pour les différents systèmes de prévisions initialisés au 1^{er} décembre 2021. Les figures présentent, à titre d'exemples, les trois systèmes de prévisions, Météo-France, ECMWF (Centre Européen) et C3S (Prévision multi-système COPERNICUS). Les tableaux présentent de manière synthétique les prévisions de l'ensemble des systèmes disponibles sur COPERNICUS pour les initialisations du 1^{er} novembre et du 1^{er} décembre.

Illustration 1 : Cartes COPERNICUS

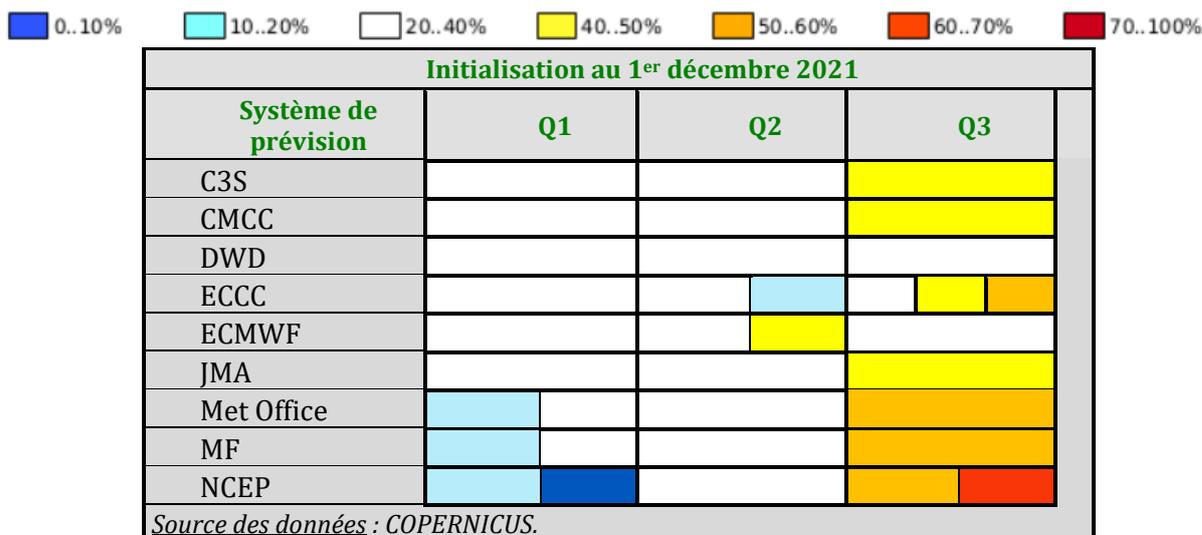
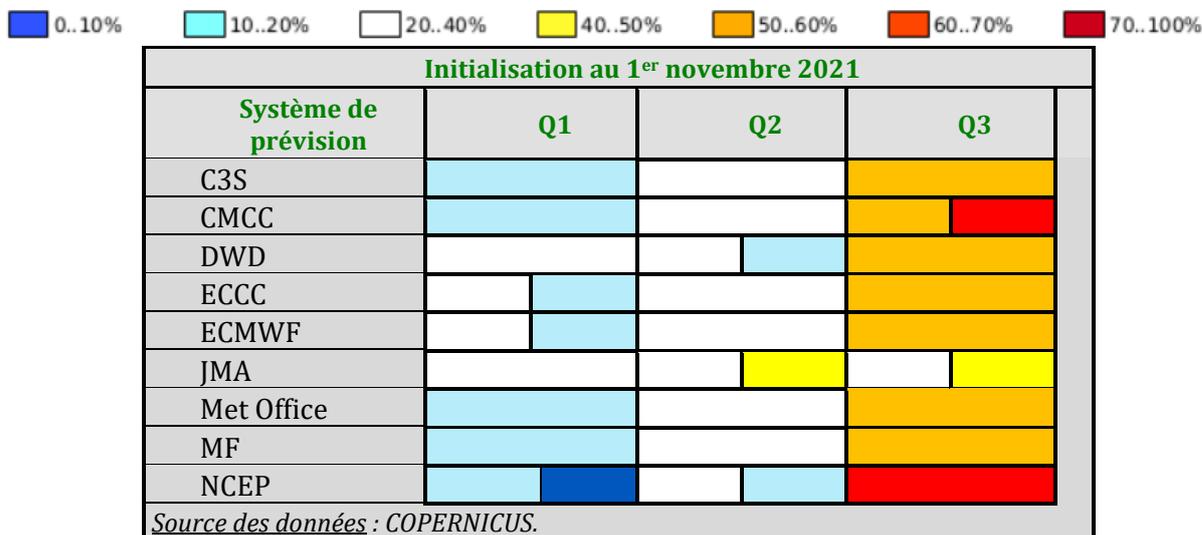




Source : COPERNICUS.

Tableau 1 : Position des différents systèmes de prévisions dans les 3 terciles

La présence de plusieurs couleurs rend compte de l'existence de plusieurs terciles sur la zone de culture de la betterave (comme on peut le voir par exemple sur la figure du 3ème tercile du système de prévision de Météo France ci-dessous).



A l'échelle d'une zone Nord France et Bénélux, une majorité de modèles donne des prévisions plutôt chaudes ou normales pour les initialisations des 1^{er} novembre et 1^{er} décembre. Aucun modèle ne donne des prévisions plutôt froides.

Cette tendance à prévoir plus de probabilité pour le tercile chaud au détriment du tercile froid s'observe systématiquement. Elle traduit la prise en compte par les modèles de la tendance climatique au réchauffement. Cette tendance est réelle, mais dans les prévisions elle peut masquer le signal de variabilité interannuelle. C'est pourquoi l'analyse de ces cartes doit être complétée par une analyse d'autres facteurs comme la circulation générale. Ce travail est réalisé chaque mois à Météo-France et synthétisés dans des bulletins expertisés.

Pour l'initialisation de novembre, le modèle de Météo-France donnait un diagnostic plutôt chaud ou normal également présent avec le modèle du Centre Européen (ECMWF). A partir de l'analyse de l'état du système climatique et des prévisions des modèles, les experts de Météo-France ont retenu que le scénario le plus probable pour les températures était le scénario normal (50 %), devant le scénario chaud (30 %) et le scénario froid (20 %)³.

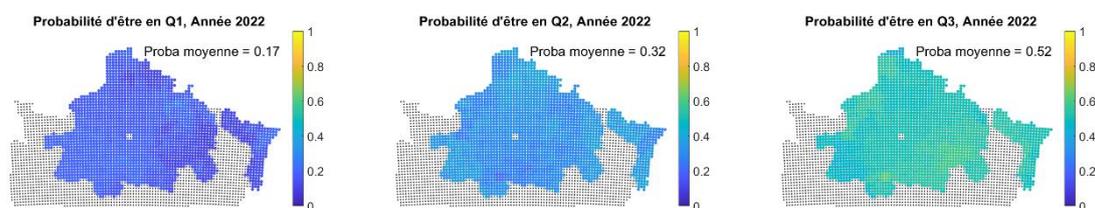
Cette analyse de Météo France n'est pas disponible pour l'initialisation de décembre, à la date de rédaction de la présente note.

2.2. Résultats des projections sur le modèle de Météo-France

Les prévisions de températures moyennes entre le 1^{er} janvier et le 14 février par le système de prévisions saisonnières de Météo-France sont présentées ci-dessous, sous forme cartographique pour la zone de culture de la betterave à sucre en fonction de leur position dans les 3 terciles Q1 (froid), Q2 (normale), Q3 (chaud). Chacune des 51 simulations débiaisées a été positionnée par rapport aux terciles déterminés sur les observations de 1981 à 2021 pour chaque point de la grille de restitution des résultats (tous les 8 km par 8 km). La proportion de simulations dans chaque tercile représente la probabilité d'occurrence de la température moyenne future sur la période 01/01-14/02 dans chacun des trois terciles. Une probabilité moyenne synthétisant l'ensemble des données spatiales est donnée dans le tableau suivant.

Illustration 2 : Probabilité moyenne d'être dans chacun des terciles Q1 (froid), Q2 (normale), Q3 (chaud)

Initialisation au 1^{er} novembre 2021



Initialisation au 1^{er} décembre 2021



Source : INRAE, données Météo-France.

Les probabilités d'être dans le tercile le plus chaud Q3 sont proches de la moitié pour les deux initialisations présentées :

- ◆ 0,52 au 1^{er} novembre ;
- ◆ 0,45 au 1^{er} décembre.

³ <https://meteofrance.fr/actualite/publications/les-tendances-climatiques-trois-mois>

Cette première analyse se complète d'un tableau présentant la probabilité de position des températures moyennes 01/01-14/02 sur la zone de culture des betteraves à sucre dans les terciles Q1, Q2, Q3 déterminée à partir des 51 simulations initialisées aux 1^{er} octobre, 1^{er} novembre et 1^{er} décembre. Les prévisions réalisées aux 1^{er} novembre 2019, 2020 et 2021 sont données pour mémoire, étant précisé que la colonne « observations » indique comment les températures moyennes se sont effectivement positionnées à l'échelle de la zone de production de la betterave à sucre.

Tableau 2 : Comparaison des prévisions (probabilité de position dans les 3 terciles) et des observations sur la période 1981-2021

		Prévision (51 scénarios)			Observations		
		Q1 (froid)	Q2 (normale)	Q3 (chaud)	Q1 (froid)	Q2 (normale)	Q3 (chaud)
2019 – initialisation au 01/11		0,24	0,42	0,34	0,01	0,99	0
2020 – initialisation au 01/11		0,10	0,33	0,57	0	0	1
2021 – initialisation au 01/11		0,17	0,36	0,48	0,35	0,65	0
2022	initialisation au 01/10	0,36	0,33	0,32	SO		
	initialisation au 01/11	0,17	0,32	0,52			
	initialisation au 01/12	0,21	0,34	0,45			

Source : INRAE, données Météo-France.

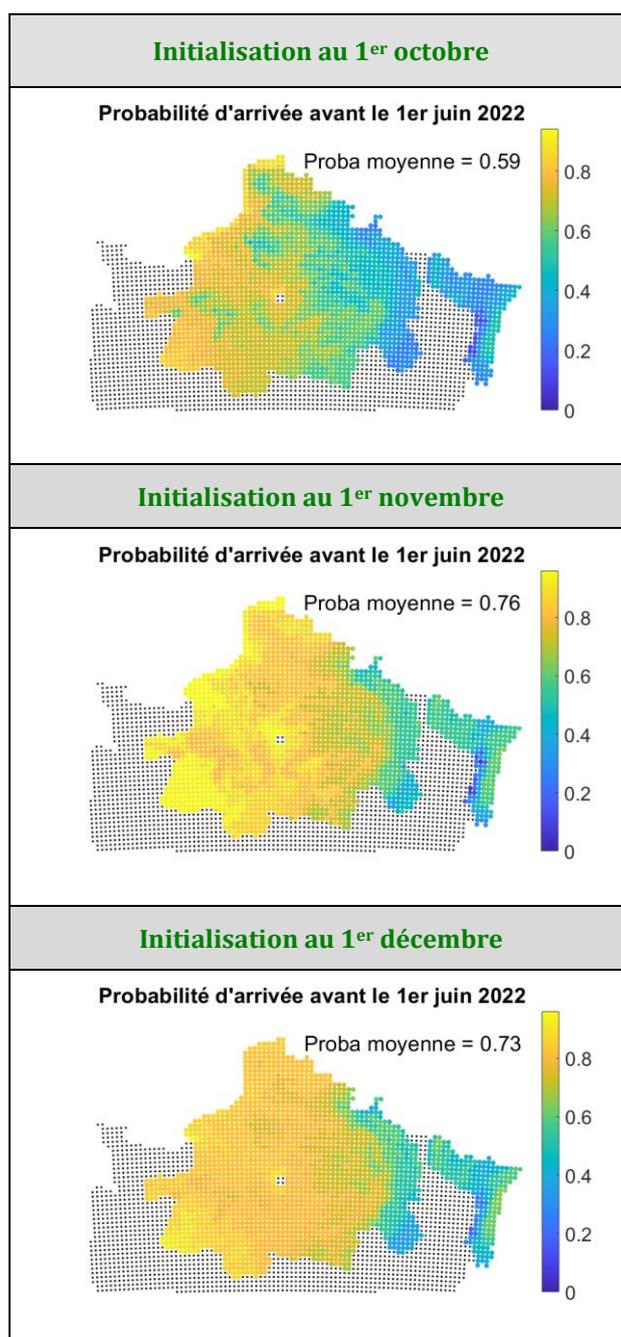
Les probabilités pour 2022 montrent une prévision plutôt chaude ou normale. L'initialisation au 1^{er} octobre ne dégagait aucune tendance avec des probabilités équivalentes de chaque tercile. Les résultats pour l'initialisation du 1^{er} novembre montrent un léger réchauffement par rapport aux initialisations d'octobre. Les résultats pour l'initialisation du 1^{er} décembre sont très similaires à ceux obtenus avec les initialisations du 1^{er} novembre.

2.3. Prévision des dates d'arrivée des pucerons (ou date des premiers vols)

Les dates d'arrivée des pucerons sont calculées à partir de la moyenne, sur la période 01/01-14/02, de la température de l'air. Les calculs utilisent le modèle de Qi et al. (2004) revu par Dewar et Qi (2021) pour chaque point de la grille de 8 km par 8 km.

Les probabilités d'arrivée calculées à partir des dates de premiers vols simulées pour chacune des 51 simulations climatiques sont présentées de manière cartographique *infra*. Une valeur globale à l'échelle de la zone de culture de la betterave à sucre est également donnée.

Illustration 3 : Probabilité de dates d'arrivée avant le 1^{er} juin à partir des prévisions climatiques saisonnières



Source : INRAE.

Les calculs montrent une probabilité importante d'arrivée avant le 1^{er} juin sur une part importante de la zone de culture. Cette probabilité a augmenté avec l'initialisation du 1^{er} novembre par rapport à celle du 1^{er} octobre. La probabilité a très légèrement baissé avec l'initialisation du 1^{er} décembre par rapport à celle du 1^{er} novembre.

Ce résultat reste cependant à prendre avec précaution :

- ◆ du fait de la faible prévisibilité des températures à l'échéance saisonnière pour une prévision donnée.
- ◆ car ces cartes s'appuient uniquement sur la prévision du modèle Météo-France, qui propose le scénario chaud comme le plus probable alors que le bulletin expertisé a privilégié un scénario normal
- ◆ car la validité du modèle de Qi qui repose sur une approche corrélative, avec un coefficient de détermination élevé. Mais ce n'est pas un modèle mécaniste et la relation n'est pas absolue.

3. Conclusion

L'analyse de l'ensemble de ces simulations doit conduire à évaluer le risque d'occurrence précoce des pucerons potentiellement porteurs de virus, et susceptibles d'induire des pertes de rendement.

Il faut tenir compte d'une part du risque économique encouru par les agriculteurs et les industries et d'autre part de l'absence, encore en 2022, de pratiques prophylactiques ou curatives efficaces susceptibles d'être mises en œuvre à grande échelle.

Du fait de ces considérants, la question doit donc être reformulée et devenir : **peut-on prendre le risque d'avoir des survenues précoces de pucerons ?** Ce n'est plus dès lors un risque de première espèce comme on a l'habitude d'en traiter. On parle en effet ici d'un risque de **deuxième espèce** (β), qui est la probabilité de ne pas rejeter H_0 (pas de survenue précoce) alors que la vérité est H_1 (il y aura une occurrence précoce des pucerons et une attaque sévère). On prend ce **risque** de deuxième espèce lorsqu'on accepte l'hypothèse H_0 .

A la lumière de l'ensemble des modèles et des résultats de simulation qui précèdent sur la base des données météorologiques pour l'initiation au 1^{er} décembre, **on ne peut pas raisonnablement écarter l'hypothèse** selon laquelle **il y aura en 2022 une occurrence de pucerons suffisamment précoce**, susceptible d'engendrer une fréquence significative de viroses avec **une incidence négative sur le rendement en sucre de la betterave** sur une part importante de la zone de culture de la betterave sucrière en France.