

Compte-rendu d'essai

Pomme 2022 Santé des plantes *Colletotrichum* en verger de pommiers

Date : novembre 2023

Responsable essai : Xavier Créte (SudExpé)

Suivi technique et rédaction : Bertrand Alison (CTIFL), Corentin Corblin (SudExpé), Xavier Créte (SudExpé) et Mouhammad Noor-Mohamed (SudExpé)

Projet pomme : Colletotrichum en verger de pommiers

Porteur du projet : SudExpé

Partenaires : CTIFL, LUBEM (hors financement)

Année de mise en place : 2020



Table des matières

Introduction, objectifs du projet	4
Action 1 : Recensement des cas en verger, identification des souches en cause et épidémiologie	4
1. Surveillance du territoire (action 1.1)	4
2. Epidémiologie et modélisation (action 1.2 et 1.3)	5
2.1. Epidémiologie : Quantification du collétotrichum par PCR digitale dans les momies de fruits (partenariat SudExpé, Pink lady, IAGE)	5
a. Objectifs.....	5
b. Méthode	5
c. Choix des momies à prélever	6
d. Résultats	6
e. Perspectives et discussion	8
f. Conclusion	8
2.2. Modélisation du risque de contamination	9
2.3. Essai fenêtre	12
a. Période de l'essai.....	12
b. Dispositif, verger support	12
c. Calendrier des fenêtres	13
d. Résultats	14
Action 2 : Recherche de solutions en verger.....	15
1. Essais stratégies et biocontrôle en verger de pommier.....	15
1.1. Matériels et méthodes	15
a. Verger support	15
b. Dispositif expérimental – essai stratégie.....	16
c. Dispositif expérimental – essai stratégie.....	17
d. Conditions d'application des traitements	18
e. Suivi météorologique	18
f. Variables observées.....	18
g. Traitement statistique des données.....	18
1.2 Contexte épidémiologique et météorologique de l'année	19
1.3. Calendrier de traitement.....	21
1.4. Résultats	22
a. Essais stratégies.....	22
b. Essais biocontrôle	22

1.5. Discussion	23
2. Essais en conservation.....	23
Synthèse pluriannuelle	24
1. Solutions testées en verger	24
2. Impact de l'irrigation	25
3. Logigramme de décision.....	26

Introduction, objectifs du projet

Colletotrichum est un pathogène en forte progression sur verger de pommiers ces dernières années. Sur les variétés sensibles les dégâts ont été parfois graves en Occitanie, en particulier dans la zone languedocienne, sur des variétés importantes économiquement comme Joya®, Granny Smith et Pink Lady®. Dans une moindre mesure, des cas ont également été observés dans la zone tarn-et-garonnaise. L'objectif du projet est de préciser le cycle de développement du bioagresseur dans les conditions régionales selon les souches en présence et d'étudier les moyens de lutte contre ce pathogène, tant au verger qu'en conservation. Les actions du présent compte-rendu étaient initialement prévues pour une réalisation au cours de la campagne 2021 à SudExpé, cependant à cause de l'épisode de gel national d'avril 2021 l'essai a dû être annulé et a ainsi été réalisé durant la campagne 2022.

Action 1 : Recensement des cas en verger, identification des souches en cause et épidémiologie

1. Surveillance du territoire (action 1.1)

La surveillance du territoire est possible grâce à la sensibilisation des contributeurs du BSV régional. Depuis environ 5 ans, le *Colletotrichum* se manifeste régulièrement en vergers de pommier dans la région Languedocienne (Hérault et Gard essentiellement). En 2018, les prélèvements effectués dans les différents vergers présentant des symptômes ont permis au laboratoire de Brest (LUBEM), d'identifier pour la première fois en Europe l'espèce *Colletotrichum fructicola* (Nodet *et al.* 2019¹).

En 2019, les conditions n'ont pas été favorables au développement de la maladie dans les vergers et aucun nouveau verger présentant des symptômes n'a été recensé. Seuls les vergers à historique ont sporadiquement présenté des symptômes sur fruits. Des échantillons de pommes issus de vergers de Candillargues (34) ont notamment été envoyés au laboratoire de phytopathologie du CTIFL à Lanxade (24), confirmant ainsi la présence de *C. fructicola*.

En 2020, les conditions chaudes et humides du mois d'août ont été beaucoup plus favorables à l'apparition du pathogène et à son développement. Peu de pluies au mois d'août mais la plupart des parcelles du secteur équipées d'un système d'aspersion sur ou sous frondaison ont observé des symptômes de *C. fructicola*. Par ailleurs, sur un verger à fort historique à Candillargues et sur-greffé en 2019 en Gala (anciennement Joya® Cripps red), des symptômes ont été observés peu avant la récolte début août. C'est la première fois dans le secteur Hérault-Gard, que nous retrouvons *C. fructicola* sur Gala. Le système d'irrigation sous frondaison n'avait pas été modifié au moment du sur-greffage.

En 2022, la période estivale de juin à la mi-août a été particulièrement chaude et sèche et donc peu favorable aux contaminations. En revanche à partir de la mi-août et jusqu'à la fin du mois d'octobre de nombreux épisodes de pluies associés à des températures douces ont créés des conditions favorables aux contaminations qui ont été observées dans plusieurs vergers du secteur Mauguio – Basse plaine du Vidourle.

¹ Nodet, P., Chalopin, M., Crété, X., Baroncelli, R. Le Floch, G. 2019. First report of *Colletotrichum fructicola* causing Apple Bitter Rot in Europe. Plant Disease 103 (7).

2. Epidémiologie et modélisation (action 1.2 et 1.3)

2.1. Epidémiologie : Quantification du *Colletotrichum* par PCR digitale dans les momies de fruits (partenariat SudExpé, Pink lady, IAGE)

a. Objectifs

Durant la période de protection du verger contre la tavelure du pommier, une couverture fongicide est assurée durant tous les épisodes pluvieux. De ce fait, en plus des conditions de température souvent un peu froides pour le développement du *Colletotrichum*, le risque de contamination est assez faible. Par contre, à partir de mi-mai, les températures remontent et le risque tavelure devient plus faible, les épisodes de pluies sont aussi plus rares, mais les conditions sont souvent très favorables au développement de *Colletotrichum*. Pour les vergers ayant un historique connu de *Colletotrichum*, commence alors la période de lutte active contre ce pathogène. Sans historique, aucune protection n'est assurée entraînant parfois des dégâts sur de nouveaux vergers. L'objectif de cet essai est de mettre au point un test permettant de déterminer le risque d'infection par *Colletotrichum* par une analyse faite en verger en fin de période de protection contre la tavelure (mi-mai).

b. Méthode

La biologie des *Colletotrichum* n'est pas parfaitement connue, mais l'inoculum peut se conserver au moins sur trois supports connus : sur la litière au sol, constituée de feuilles, mais aussi de restes de fruits chutés la saison précédente, sur des chancre dans la végétation et dans les momies de fruits restées accrochées sur les rameaux. L'importance de ces trois compartiments peut être variable selon l'espèce de *Colletotrichum* ou peut-être la variété de pommier. Pour *Colletotrichum fructicola* dans les conditions du Languedoc aucun chancre n'est observé sur les bois. La litière est souvent largement décomposée fin mai rendant son prélèvement compliqué. L'échantillonnage de momies, quand il y en a, est, par contre, très simple et rapide à réaliser. C'est donc cet organe qui a été choisi comme indicateur.

Les analyses ont été réalisées par la société IAGE, à Montpellier, spécialiste de l'ADN environnemental. La méthode utilisée est la PCR digitale qui permet une quantification précise de la cible recherchée.

Deux vergers de la variété Joya ont été choisis, un verger sans historique *Colletotrichum*, un verger avec un historique connu. Pour chaque prélèvement, 50 momies par verger ont été récoltées.



c. Choix des momies à prélever

Rapidement, il est apparu que des momies d'âge différent pouvaient être retrouvées sur les mêmes arbres. Des momies plus claires, supposée plus jeunes et des momies très foncées, supposées plus vieilles.



d. Résultats

Choix des momies

Trois prélèvements au hasard dans la parcelle avec historique de 50 momies ont été réalisés :

- Momies jeunes
- Vieilles momies
- Prélèvement au hasard

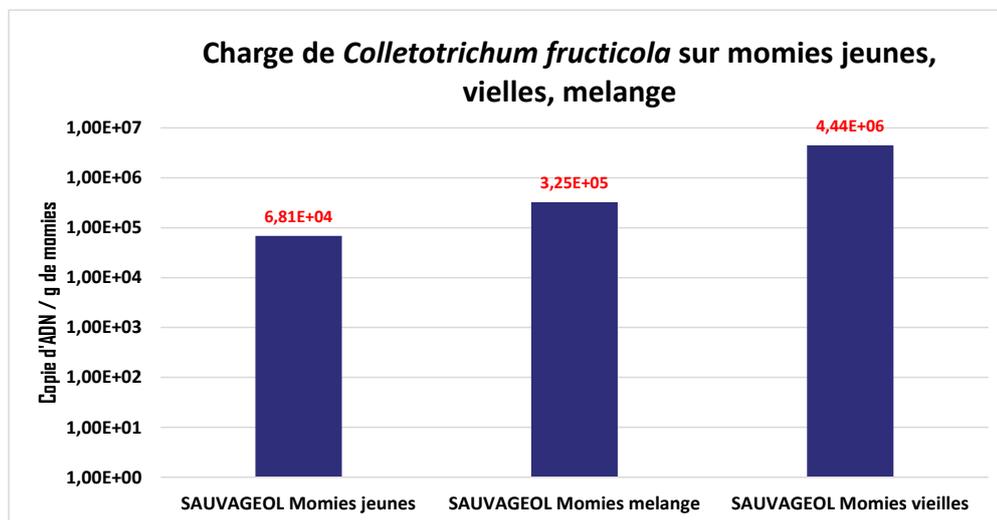


Figure 1 : Quantification de *Colletotrichum* par dPCR

On constate que le prélèvement indifférencié correspond très exactement à la moyenne entre jeunes et vieilles momies. Compte tenu de l'absence de répétition, les résultats sont délicats à interpréter, mais ils tendraient à montrer deux choses :

- D'une part que l'échantillonnage semble correct puisque sans doute représentatif d'une population de momies
- D'autre part que les momies se « chargent de *Colletotrichum* en vieillissant

Quantification du *Colletotrichum*

Les prélèvements ont été réalisés régulièrement entre le mois de juin et le mois de février de l'année suivant sans prendre en compte l'âge des momies (prélèvement au hasard)

Date prélèv.		28-juin	2-août	12-sept.	20-déc.	13-févr.
Historique Colléto	Oui	9,27E+06	7,34E+05	3,25E+05	6,16E+03	2,73E+06
	Non	0	0	0	0	0

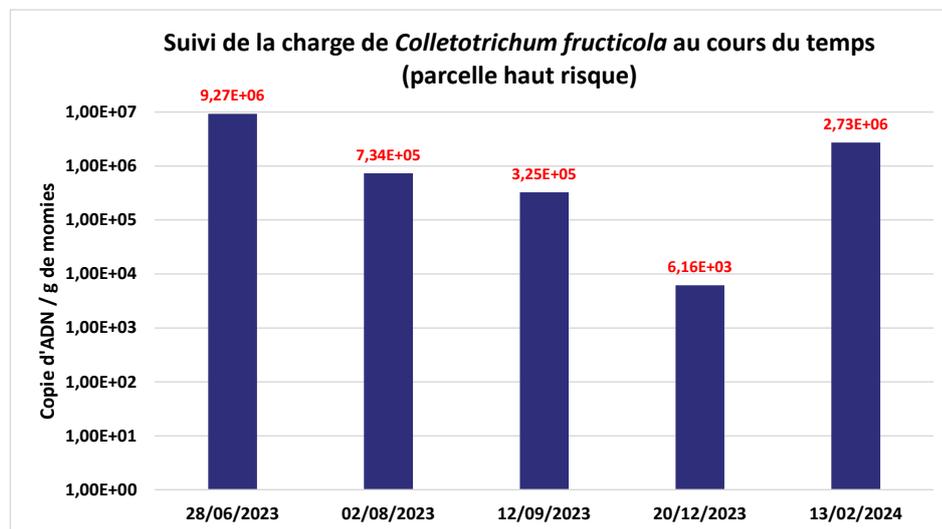


Figure 2 : Quantification de *Colletotrichum* par dPCR

Sur la parcelle sans historique, aucun fruit avec symptôme de *Colletotrichum* n'a été observé. Par contre, dans la parcelle avec historique les sorties de taches ont été observées à partir de fin juin (première tâche le 29/6). Les symptômes ont ensuite fortement progressé jusqu'à monter jusqu'à plus de 60 % des fruits atteints à la récolte.

Plusieurs remarques peuvent être faite à propos de ces résultats :

- Les momies sont sans doute un bon indicateur de risque pour la saison à venir.
- On observe une baisse de la quantité de pathogène durant la saison qui pourrait traduire une décharge du stock d'inoculum avec les épisodes pluvieux.
- La remontée du stock en février peut-elle correspondre à la phase de reconstitution de l'inoculum ? Cette donnée n'est pas connue et devra être précisée ultérieurement.

- Les ordres de grandeur (entre log 3 et log 7) ne peuvent pas être interprétés sur une échelle de risque compte tenu du peu de données disponibles.

e. Perspectives et discussion

Les résultats obtenus permettent d'envisager un test simple pour déterminer la présence ou non de *Colletotrichum* en verger de pommier. L'utilité de ce test pour les producteurs est importante puisqu'il peut permettre d'éviter la mise en œuvre d'une stratégie de protection lourde, coûteuse avec un impact probablement négatif sur l'environnement. D'un point de vue strictement économique le prix du test (de l'ordre de 100 €HT) est compensé dès le premier traitement évité.

Un certain nombre de limites à ce travail doivent être évoquées :

- Une confirmation sur plus de parcelle doit être réalisée pour vérifier les résultats obtenus
- Les résultats obtenus ne permettent pas de donner une information de risque relié à l'importance du dosage réalisé sur les momies, ainsi, quid d'une parcelle qui présenterait une quantification faible, mais non nulle ?
- Toutes les variétés n'ont pas la même tendance à faire des momies, ainsi Joya ou Reine des Reinettes génèrent beaucoup de momies alors que Pink Lady, beaucoup moins...
- Les momies ne sont pas le seul réservoir de l'inoculum, il est même difficile de savoir en quelle proportion les momies interviennent dans l'épidémie.

Pour autant ce travail ouvre des perspectives de travail intéressantes dans le cadre de la lutte contre ce pathogène :

- La prophylaxie dont on n'a jamais pu monter l'efficacité contre le *Colletotrichum* pourrait être envisagée différemment si la reconstitution du stock d'inoculum durant l'hivers se confirme. Ainsi du broyage de litière associé à une lutte spécifique sur les momies (champignons antagonistes, produits fortement alcalins, ...) pourraient être à la base de stratégies à tester
- La dPCR constitue un outil de choix pour tester l'efficacité de ces stratégies

f. Conclusion

Ce travail ouvre donc des perspectives intéressantes pour les producteurs, mais aussi pour tester des nouvelles approches de lutte prophylactiques, pour autant il n'apporte pas de solution de lutte directe durant la saison. Tout au plus peut-on espérer déterminer une échelle de risque en fonction du dosage (dPCR) obtenu pour adapter éventuellement la stratégie à la pression mesurée.

Cependant si des méthodes de lutte prophylactiques peuvent être développées sur ces bases ce sera déjà un pas important dans la lutte contre un pathogène qui est amené à prendre de plus en plus d'importance avec l'évolution du climat en cours.

2.2. Modélisation du risque de contamination

A partir d'études bibliographiques, nous avons identifié la possibilité de modéliser la sévérité du risque d'infection à partir des travaux de Crusius *et al.* (2002)². L'étude se focalise sur le Glomerella Leaf Spot (GLS) mais qui est induit par *C. fructicola*, souche présente dans le bassin Languedocien. Malgré ce biais, la formule de ce modèle a été appliquée aux conditions d'humectation foliaire et de températures relevées dans des vergers impactés des communes de Candillargues et Marsillargues en 2018 et 2019. *C. fructicola* a besoin de températures douces et d'un temps d'humectation foliaire plus ou moins long. D'après l'étude de Crusius *et al.* en 2002, il est possible d'attribuer un indice de sévérité de l'infestation en fonction de la température et du temps d'humectation foliaire. Le modèle est toutefois conçu pour la forme « Glomerella leaf spot ». L'étude montre que des températures élevées, combinées à une forte humectation foliaire conduisent à des situations favorables à l'infection et l'installation du pathogène.

Les auteurs modélisent une sévérité du risque d'infection à partir de la formule suivante :

$$Y = 0,00145((T - 13)^{1,78} \times (34,01 - T)^{1,09}) \times \frac{25}{(1 + 14e^{-0,137W})}$$

Y = Sévérité du risque (%)

T= Température (°C)

W = durée d'humectation foliaire (h)

Ainsi par exemple pour une durée d'humectation théorique fixe de 10 heure, la sévérité maximale du risque est de 8 % à une température de 27 °C (figure 3).

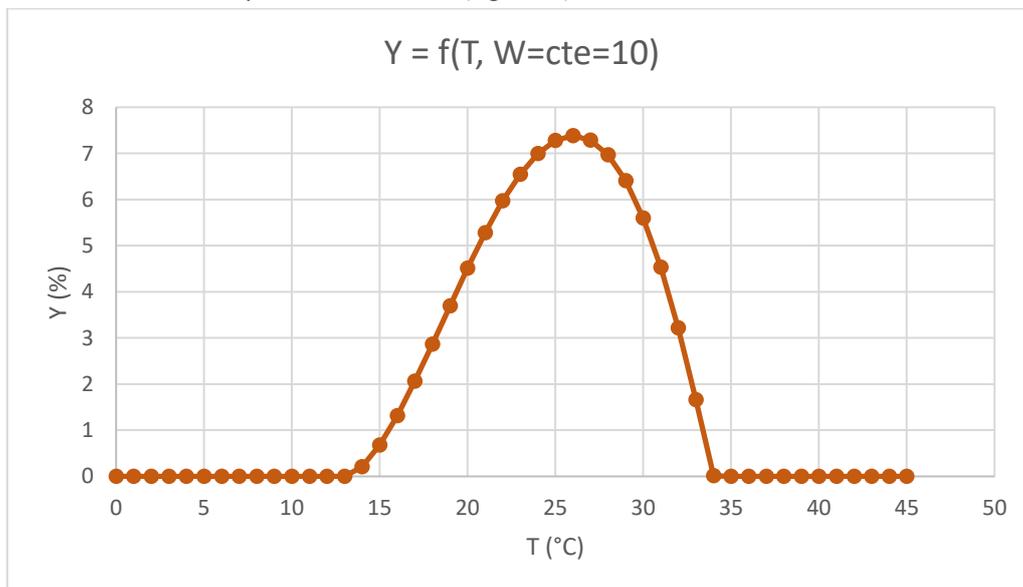


Figure 3 : Sévérité du risque pour une durée d'humectation constante de 10 heures en fonction de la température (°C)

Pour une température fixe de 27 °C, la sévérité du risque augmente avec la durée d'humectation selon une courbe légèrement sigmoïde (figure 4)

² Crusius, L.U., Forcelini, C.A., Sanhueza, R.M.V., Fernandes, J.M.C. 2002. Epidemiology of Apple Leaf Spot. Fitopatologia Brasileira (27). Pp 065-070 (2002).

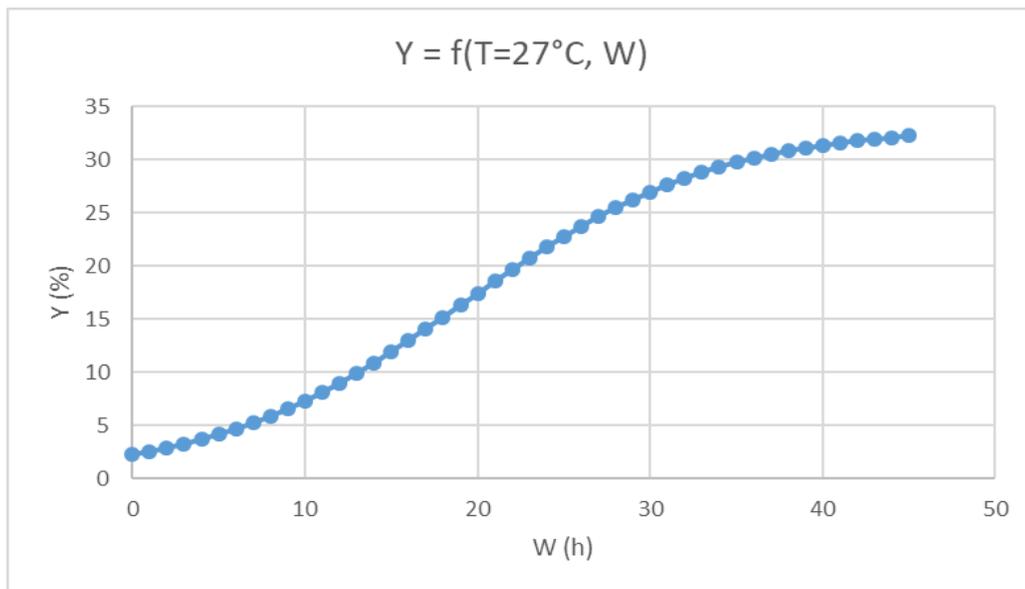


Figure 4 : Sévérité du risque pour une température constante de 27°C en fonction de la durée d’humectation (h)

Les stations du réseau SudAgroMétéo (SAM) collectent les données de température (°C) et de durée d’humectation foliaire (minutes) grâce à des capteurs et nous permettent donc de faire tourner cette formule.

En l’associant aux observations des dégâts, il a été possible de déterminer un seuil empirique de contamination à 4 points de « sévérité ». La figure 5, présente l’indice de sévérité en fonction de la température et du temps d’humectation foliaire sur un verger de Candillargues en 2018. La partie supérieure de la figure montre des plages de temps pendant lesquelles des impasses de protection ont volontairement été réalisées (essai « fenêtres »). Les dégâts observés ensuite en fonction de ces impasses permettent d’indiquer la période réelle de sensibilité du verger. La dernière impasse pendant laquelle le plus de contaminations dépassant le seuil d’indice de « sévérité » 4 est aussi celle où les arbres présentent le plus de fruits contaminés par le bitter rot (ABR) : plus de 12 fruits par arbre sur cette période d’impasse, contre 2 en moyenne pour les impasses précoces.

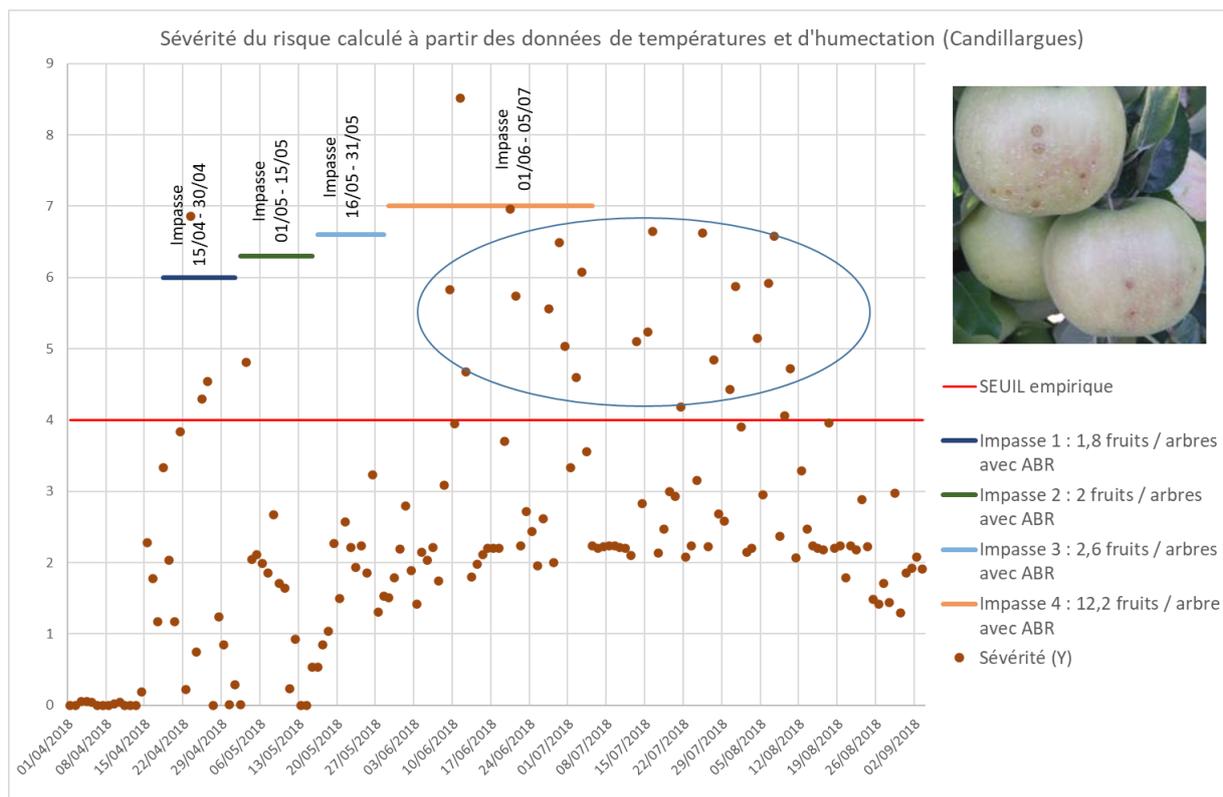


Figure 5 : Sévérité du risque calculée dans les conditions d'un verger de Candillargues en 2018, modèle de Crusius *et al.* (2002). Pour les impasses du 15/04 (chute des pétales) au 05/06, le nombre de fruits infectés par le bitter rot est en moyenne de 2, les impasses effectuées au mois de juin ont entraîné en moyenne 12,2 fruits par arbres infectés par le bitter rot.

En appliquant le modèle aux conditions languedociennes à postériori, nous avons déterminé le seuil de sévérité 4 comme étant un seuil potentiellement contaminant. Ce seuil a ensuite servi à piloter les stratégies de référence avec des applications préventives pour les essais de 2019 et 2020. En 2019, l'efficacité de la stratégie est de 100 % (aucun fruit infecté) et en 2020 de 83 %. A partir du modèle, il est possible de déterminer les durées d'humectation foliaire pour atteindre ce seuil empirique de contamination : ainsi à 20°C, il faut 9 heures d'humectation foliaire, à 22°C il en faut 6h30, à 25 et 27°C il faut seulement 4h30, à 30°C, 7 heures et à partir de 34°C, la croissance du champignon est inhibée (figure 6).

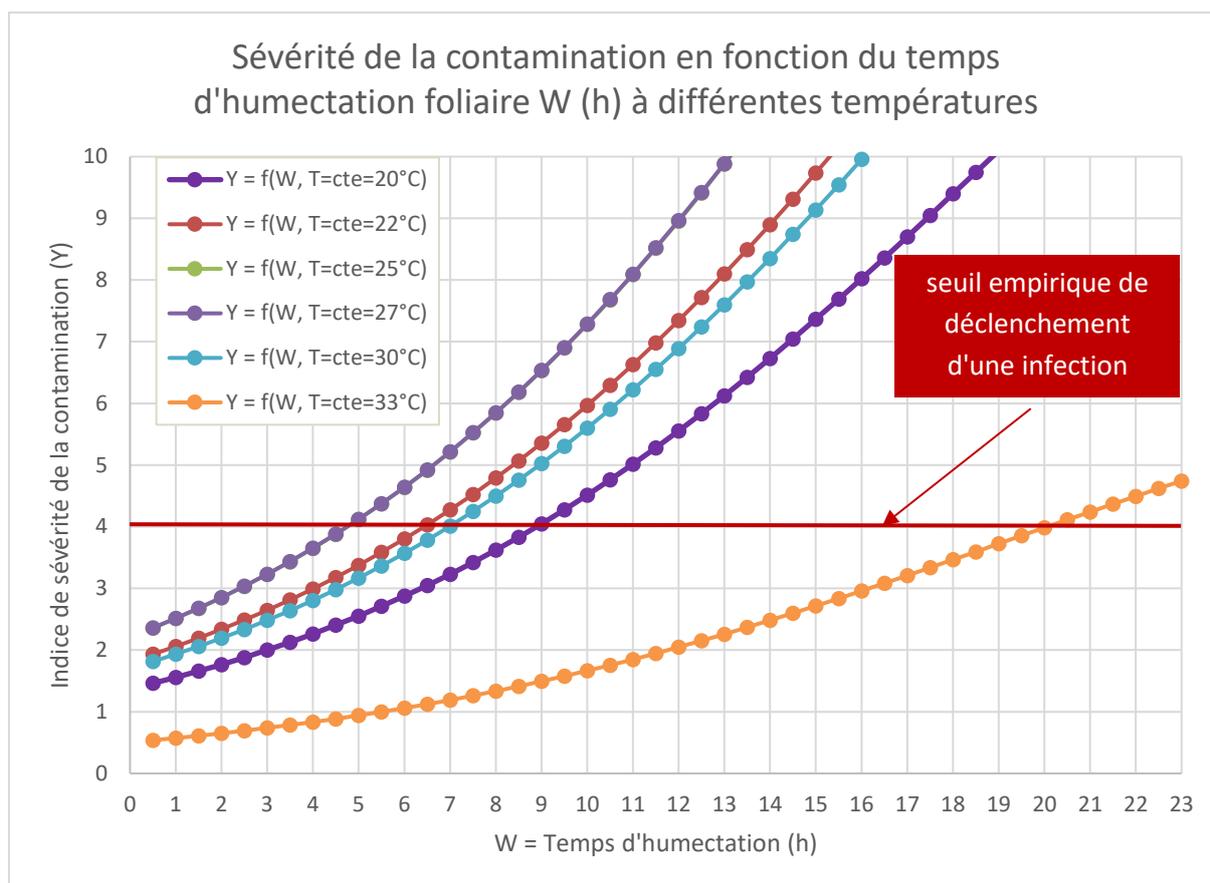


Figure 6 : Sévérité de la contamination de *Colletotrichum* en fonction de l'humectation foliaire pour différentes températures constantes (20°C, 22°C, 25°C, 27°C, 30°C et 33°C) d'après Crusius *et al.* 2002. Les courbes à 25 et 27°C sont superposées.

2.3. Essai fenêtre

L'objectif de l'essai fenêtre est d'observer la sévérité d'une attaque de *Colletotrichum* en cas d'impasse sur une durée bien définie avec les mêmes conditions environnementales que les parcelles traitées.

a. Période de l'essai

Les traitements différenciés des modalités débutent dès que la température moyenne de la journée est favorable aux conditions de développement de la maladie selon le modèle Crusius (environ mi-mai). Les applications se poursuivent jusqu'à la fin de la période de risque. Durant cette période, nous définissons des zones sur la parcelle contaminée sur laquelle nous effectuons des impasses (pas de traitement) pendant une période et un emplacement déterminé.

b. Dispositif, verger support

L'essai est mis en place sur un verger de Cripps Red® (Joya) de l'EARL Sauvageol sur la commune de Marsillargues (densité : 4 m x 1,8 m). La parcelle présente un historique de symptômes important.



Figure 7 : Vue aérienne de la zone de l'essai sur l'EARL Sauvageol (34)

A partir de la période à risque, à chaque contamination prévue par le modèle, une impasse exempte de traitement fongicide ciblé pour le colletotrichum sera réalisé sur une zone dédiée. Chaque zone d'impasse ou « fenêtre » correspond à un linéaire de 8 arbres qui est identifié sur le rang par une rubalise.

Un opérateur de SudExpé, viendra déplacer la rubalise (zone d'impasse ou « fenêtre ») avant chaque nouvelle contamination. Un échange avec le producteur aura lieu afin de déterminer la stratégie de protection avant chaque contamination. La rubalise sera ainsi déplacée pour la prochaine contamination.

Trois rangs parallèles sont identifiés et rubalisés, seul le rang central est concerné par les observations. Les effets de bordure éventuellement liés à la dérive sont ainsi limités. Par ailleurs, sur le linéaire de 8 arbres, seuls les 6 arbres du centre sont observés. Il n'y a pas de répétition.

c. Calendrier des fenêtres

Sur la zone identifiée, une impasse de traitement a été effectuée selon qu'il s'agissait d'une pluie ou bien d'une irrigation décidée par le producteur.

Le tableau ci-dessous présente les différentes impasses effectuées et les causes potentielle de contamination :

Tableau 1 : détail des impasses de traitements effectuées

Impasse sans traitement	date	source contamination	traitement
1	22-mai	Pluie	Delan pro
2	15-juin	Arrosage	Delan pro
3	22-juin	Pluie + arrosage	Flint
4	28-juin	Arrosage	Captane
5	06-juil	Arrosage	Delan pro
6	13-juil	Arrosage	Flint
Pas d'impasse	21-juil	Arrosage	Delan pro

Sur la dernière date, il n’y a pas eu d’impasse, cela constitue donc un témoin positif. Le graphique ci-dessous présente la sévérité des contaminations selon le modèle de Cruisius *et al* (2002) en fonction des pluies et irrigations et la période des impasses.

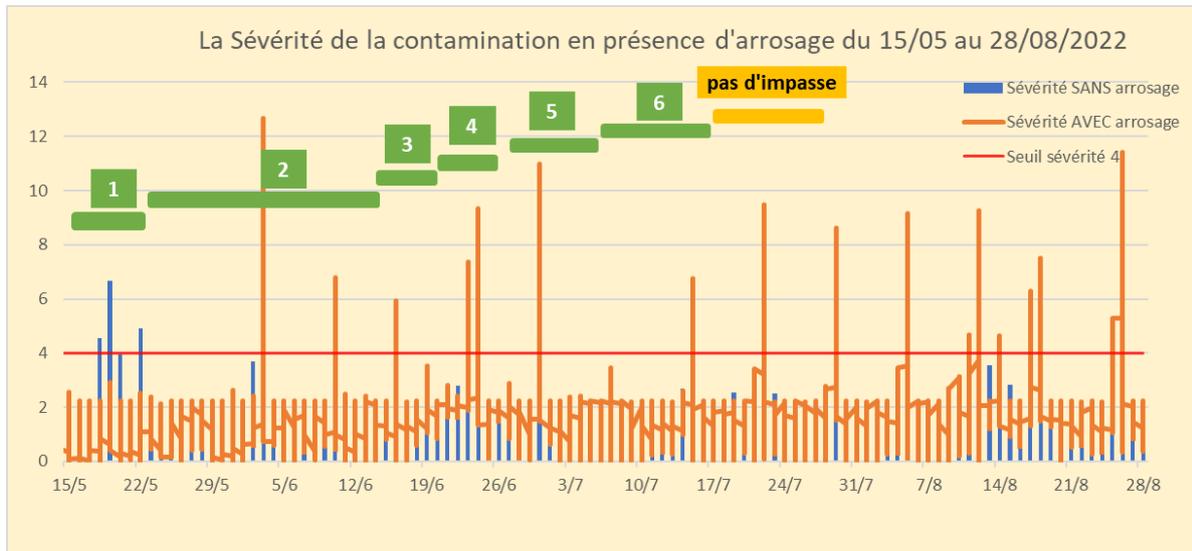


Figure 8 : Positionnement des impasses de traitement en fonction de la sévérité des contaminations

d. Résultats

Les graphiques ci-dessous présentent le nombre de fruits par arbres avec symptômes de bitter rot le 19 juillet et le 8 août.

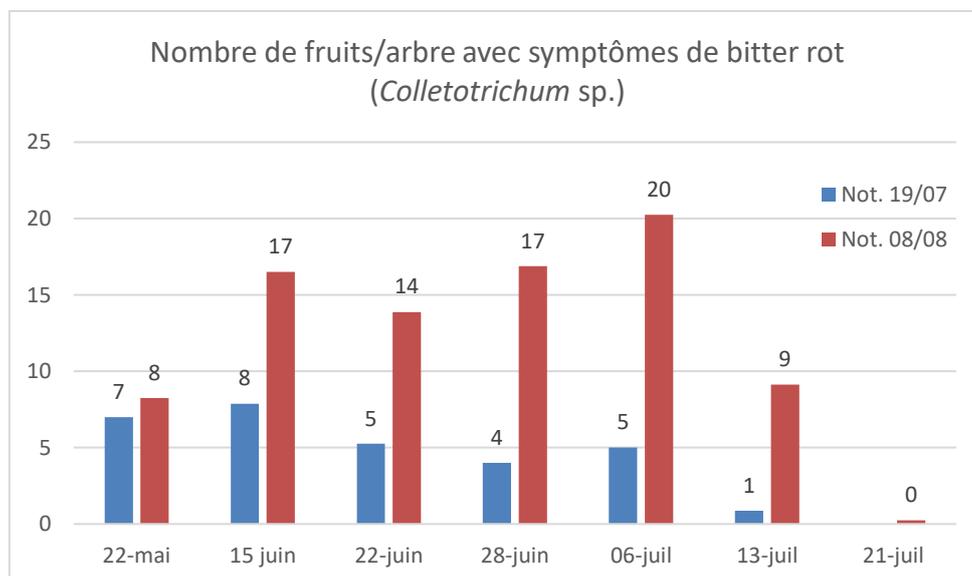


Figure 9 : Nombre de fruits par arbres présentant des symptômes de bitter rot imputé à *Colletotrichum sp.*

Nous observons donc que chaque impasse a engendré une contamination. Par ailleurs à partir du 15 mai, les contaminations essentiellement dues par les tours d’irrigation, sont aussi les plus sévères.

En conclusion de cet essai, on note que dès que les conditions de chaleur et d’humectation foliaires sont réunies, la moindre impasse sur une parcelle à historique peut entraîner une contamination et des symptômes.

Action 2 : Recherche de solutions en verger

1. Essais stratégies et biocontrôle en verger de pommier

Suite aux travaux menés par SudExpé en vergers ces dernières années et au CTIFL en laboratoire, les substances actives efficaces sont connues. L'objectif de l'essai est donc désormais de raisonner leur application. On constate cependant la difficulté d'obtenir des prévisions météo fiables en particulier pour le cumul de précipitations pendant la période estivale. De fait les applications préventives sont assez difficiles à positionner. L'objectif est donc de comparer des applications faites en préventif avant la pluie ou le tour d'irrigation et des applications faites en « stop », maximum 24 h après la pluie contaminatrice ou irrigation. Un deuxième essai a été conduit de façon opportuniste à partir de la fin du mois juillet avec le test de produit de biocontrôle (Phosphonate de potassium et un mélange de terpènes).

1.1. Matériels et méthodes

a. Verger support

L'essai est mis en place sur un verger de Cripps red® (Joya) de l'EARL Sauvageol sur la commune de Marsillargues (densité : 4 m x 1,8 m). La parcelle présente un historique de symptôme important.

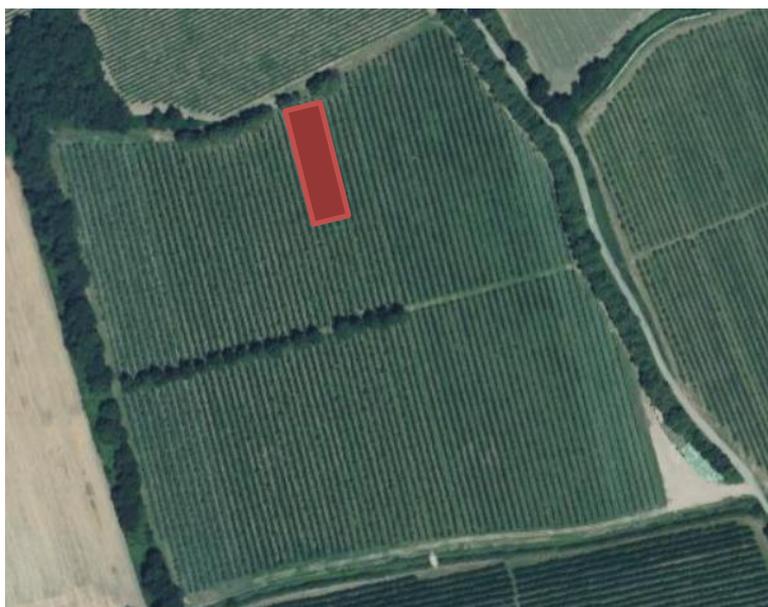


Figure 10 : Localisation de l'essai sur la parcelle : verger EARL Sauvageol – Marsillargues (34)

b. Dispositif expérimental – essai stratégie

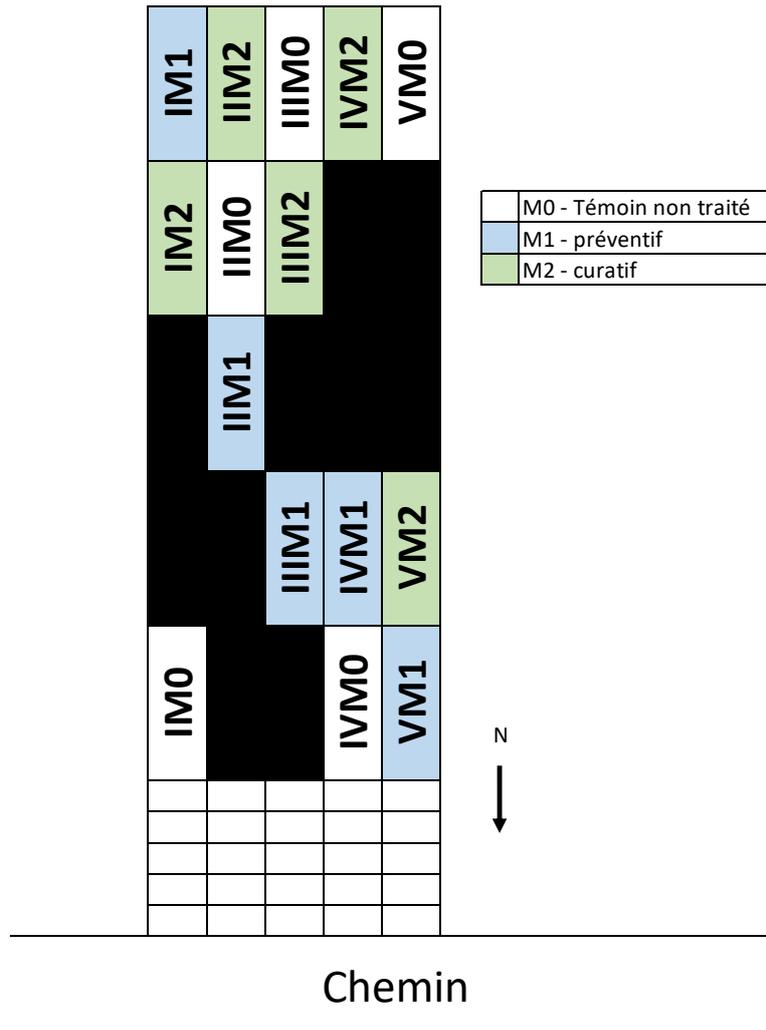


Figure 11 : dispositif expérimental

Le dispositif est en bloc de Fisher avec 5 répétitions par modalité (5 arbres par parcelle élémentaire). Les plages noires correspondent à deux modalités initialement prévues avec un raisonnement de la stratégie en fonction de l'intensité des contaminations. Toutes les contaminations ont toujours affichés une sévérité élevée (> 8) ainsi aucune distinction n'a été faite entre la stratégie curative et ces deux modalités. De ce fait, nous avons décidé à la fin du mois de juillet, de construire un essai avec des modalités utilisant du biocontrôle à partir de ces espaces disponibles (voir paragraphe d).

Tableau 2 : Stratégies fongicides selon les modalités étudiées

N° de modalité	Modalité ou substance active	Modalité d'application
M0	-	Témoin non traité
M1	Stratégie référence (préventive)	Traitement avant chaque pluie annoncée ou irrigation pendant la période de contamination
M2	Stratégie curative	Traitement en stop après chaque pluie ou irrigation pendant la période de contamination

Les substances actives utilisées dans le programme « stratégie » proviennent de l'expérience des essais des années précédentes :

- Avant la période de sensibilité, les anti-tavelure inefficaces sur Colletotrichum sont privilégiés : cuivre, ANP, dodine, IBS
- En début de période estivale nous privilégions les fongicides avec un DAR important : captane, dithianon + KHP, dithianon + pyraclostrobine, fluopyram + fosethyl-Al
- En fin de période estivale et à l'approche de la récolte, nous utilisons les fongicides avec un DAR bas : Bosacalid + pyraclostrobine, Trifloxystrobine, fludioxonil

c. Dispositif expérimental – essai stratégie

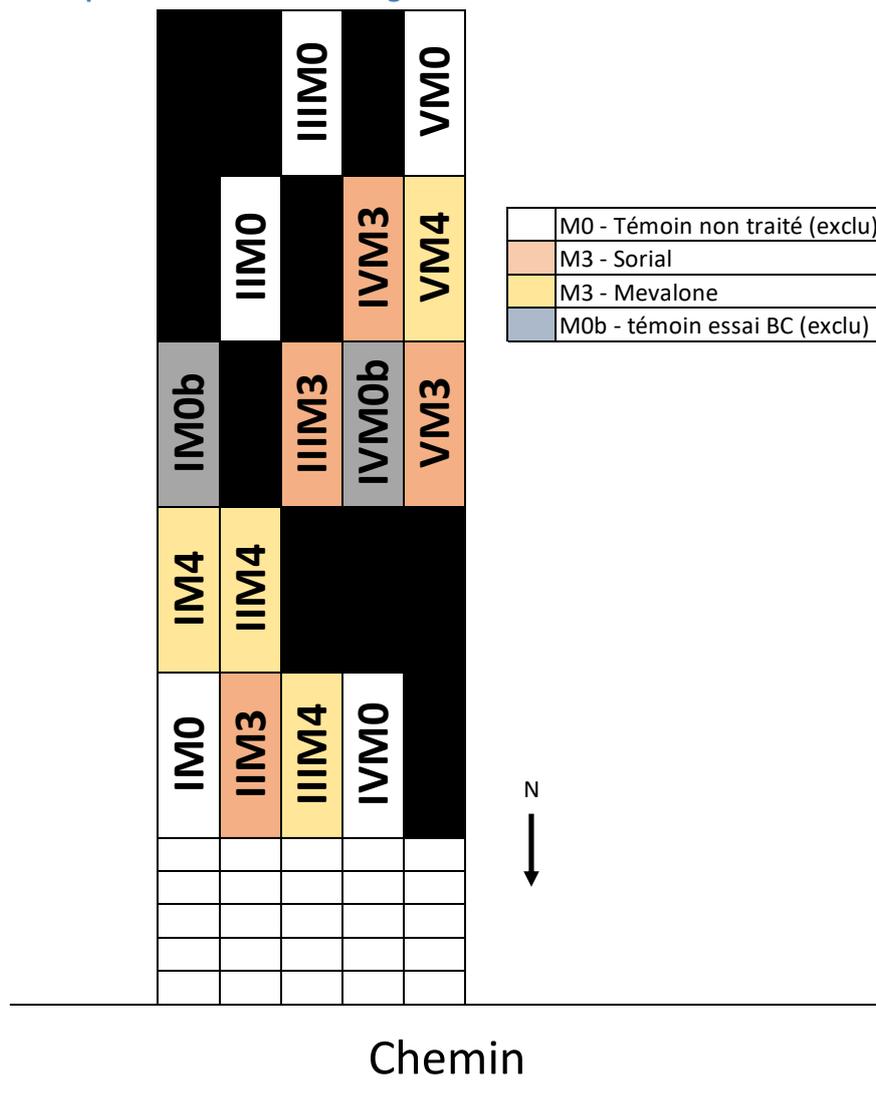


Figure 12 : dispositif expérimental

Cet essai a été mis en place sur l'espace disponible (10 parcelles élémentaires de 5 arbres). Ces parcelles ont toutes été traitées comme la modalité M2 et se trouvent dans un état d'infestation équivalent le 19 juillet. Nous avons choisi de construire un essai avec 4 répétitions des modalités de traitement des biocontrôle et de comparer avec le témoin non traité depuis le début de l'essai (exclus) et avec un témoin fenêtré (2 répétitions) exclus également de l'analyse statistique. Le placement des

blocs a été fait selon l'observation du 19/07 afin de garantir un taux d'infestation initial comparable entre les modalités.

Tableau 3 : Stratégies fongicides selon les modalités étudiées

N° de modalité	Modalité ou substance active	Modalité d'application
M0 (exclu)	-	Témoin non traité
M3	KHP	Traitement en stop après chaque pluie ou irrigation du 22/06 au 19/07 ensuite traitement avec Soriale en préventif avant chaque contaminations
M4	Mélange géranol, thymol et eugénol	Traitement en stop après chaque pluie ou irrigation du 22/06 au 19/07 ensuite traitement avec Mévalone en préventif avant chaque contaminations
M0b (exclu)	Témoin fenêtre	Traitement en stop après chaque pluie ou irrigation du 22/06 au 19/07 ensuite aucun traitement

d. Conditions d'application des traitements

Les parcelles d'expérimentation sont traitées avec un pulvérisateur à dos Solo® avec un débit de buse à 1.72 L/mn et à un mouillage de 500 L/ha. Une marge d'erreur de 20 % est ajoutée à ce mouillage et prise en compte dans le calcul de la dose de produit. Les reliquats sont mesurés pour chaque modalité et doivent être de $\pm 10\%$ de la dose.

e. Suivi météorologique

Une station météo installée sur la parcelle de l'essai (< 500 m) enregistre les données de températures, d'hygrométrie, d'humectation, de pluviométrie. Ces données sont collectées en fin d'essai et après chaque application fongicide.

f. Variables observées

Les observations sont réalisées sur fruits pour chaque modalité dès l'apparition des premiers symptômes puis environ tous les 15 jours. 200 fruits aléatoirement choisis par répétition sont observés à chaque fois sur les 3 arbres du milieu de la placette élémentaire. Seule une notation de présence / absence est effectuée.

g. Traitement statistique des données

Le traitement statistique est réalisé à partir du logiciel Expé-R version 1.4. Une analyse de variance (ANOVA) est réalisée après chaque notation sur les variables exprimées en proportion. Afin de respecter les conditions d'analyse (homogénéité des variances et normalité des résidus) une transformation angulaire est réalisée sur chaque proportion avant l'ANOVA :

$Y' = \arcsin(\sqrt{Y})$ avec Y=proportion calculée

Le test d'appariement des moyennes pour constituer les groupes statistiques est le test de HSD de Tukey) avec un risque $\alpha = 5\%$.

1.2 Contexte épidémiologique et météorologique de l'année

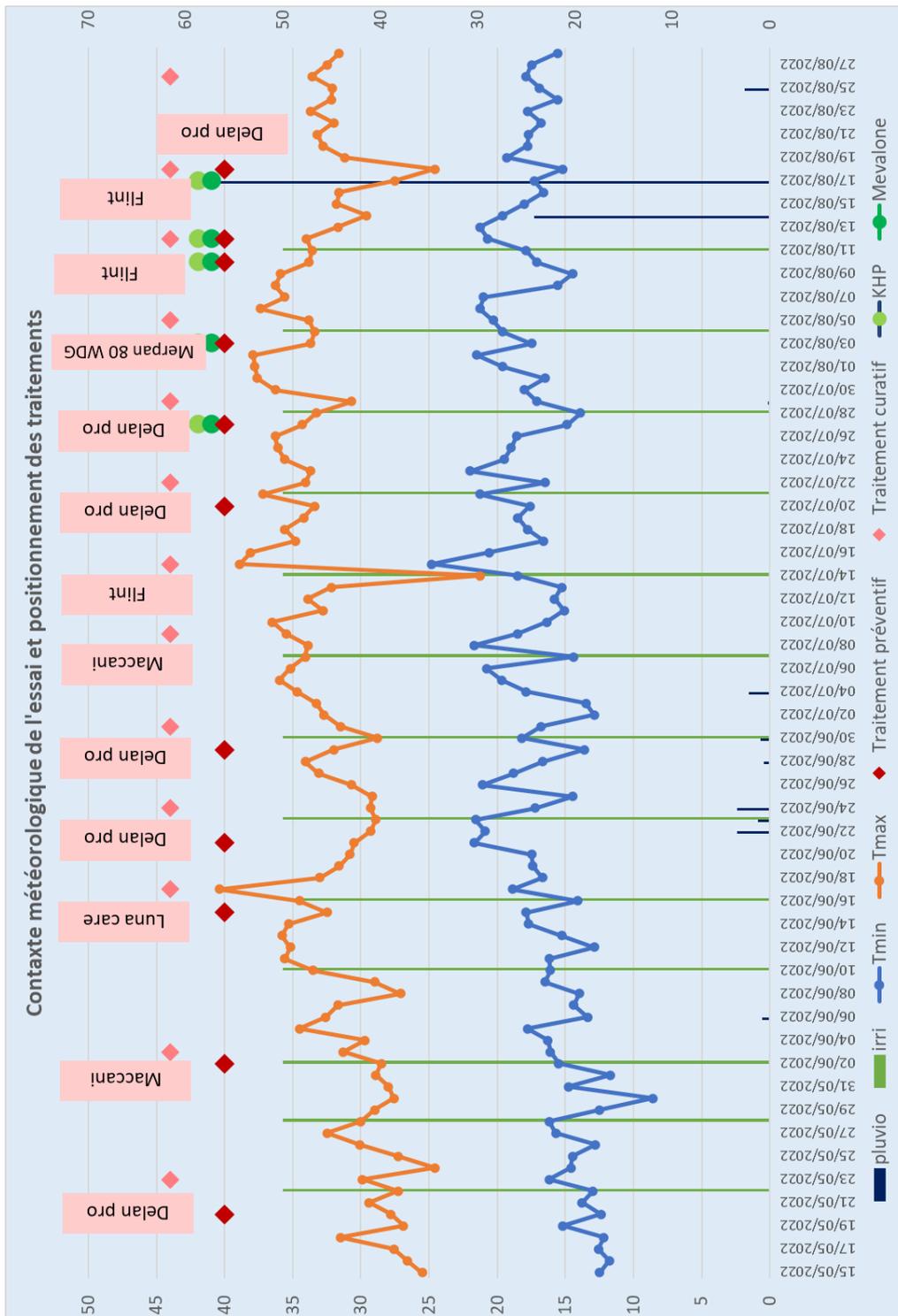


Figure 13 : Contexte météorologique et risque maladie pendant la période de l'essai : Température journalière minimales et maximales (°C), valeur de précipitation (mm)

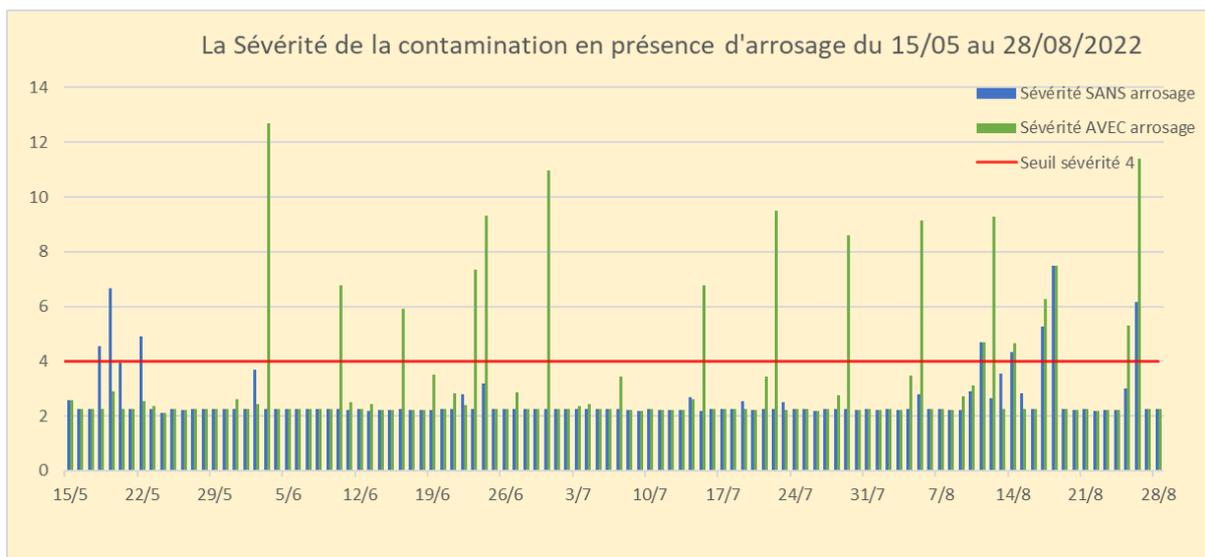


Figure 14 : Sévérité du risque d'infection pour la station « Sauvageol » (zone de l'essai) pendant la période réalisation de l'essai

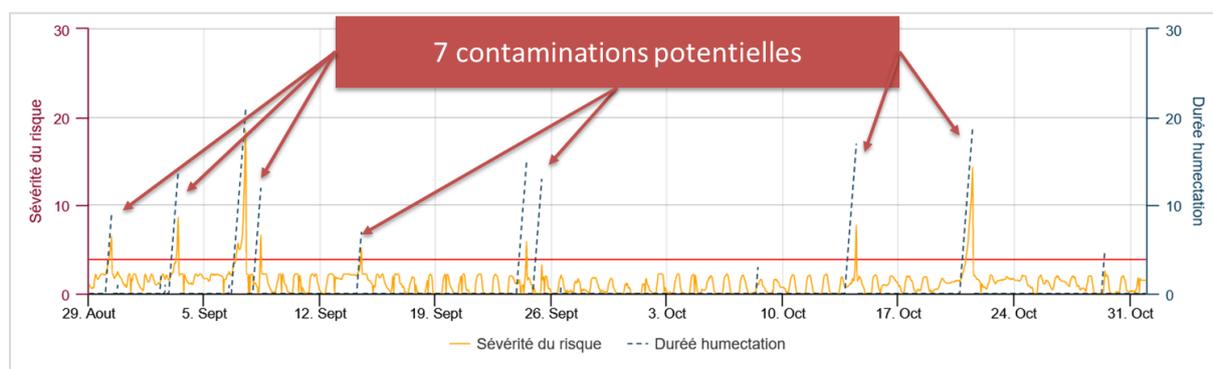


Figure 15 : Sévérité du risque d'infection pour la station « Sauvageol » après la période réalisation de l'essai (septembre et octobre 2022)

La période de fin de printemps et estivale en 2022 est particulièrement chaude et sèche avec des températures maximales élevées dès la deuxième quinzaine de mai. De ce fait, les irrigations ont commencé précocement soumettant la parcelle à des risques de contamination particulièrement important. A partir de la mi-août, les épisodes méditerranéens et les entrées maritimes se font nombreuses. L'essai est terminé à la fin du mois d'août, mais on relève 7 contaminations potentielles avant la récolte du fait de pluies nombreuses et de températures douces en septembre et octobre.

1.3. Calendrier de traitement

Tableau 4 : Calendrier de traitement en 2022 pour couvrir les épisodes contaminants dus aux précipitations (fond bleu) et aux irrigations (vert) ou aux deux (gris), stratégies d'applications en préventif ou en curatif selon les modalités de l'essai.
KHP = phosphonate de potassium. Mélange de terpène = géraniol + thymol + eugénol

Conta	Date	M1 - Préventif	M2 - Curatif	M3 – KHP	M4 – Mevalone	M0b – témoin biocontrôle
1	20/05/2022	Dithianon + KHP 2,5 l/ha				
	23/05/2022		Dithianon + KHP 2,5 l/ha			
2	02/06/2022	Dithianon + pyraclostrobine 2,5 kg/ha				
	03/06/2022		Dithianon + pyraclostrobine 2,5 kg/ha			
3	15/06/2022	Fluopyram + fosetyl-al ⁽¹⁾ 3 kg/ha				
	17/06/2022		Fluopyram + fosetyl-al 3 kg/ha			
4	21/06/2022	Dithianon + KHP 2,5 l/ha				
	24/06/2022		Dithianon + KHP 2,5 l/ha			
5	29/06/2022	Dithianon + KHP 2,5 l/ha				
	01/07/2022		Dithianon + KHP 2,5 l/ha			
6	09/07/2022	Dithianon + pyraclostrobine 2,5 kg/ha (curatif)	Dithianon + pyraclostrobine 2,5 kg/ha			
7	15/07/2022	Trifoxistrobine 0,15 kg/ha (curatif)	Trifoxistrobine 0,15 kg/ha	Trifoxistrobine 0,15 kg/ha	Trifoxistrobine 0,15 kg/ha	Trifoxistrobine 0,15 kg/ha
8	20/07/2022	Dithianon + KHP 2,5 l/ha				
	22/07/2022		Dithianon + KHP 2,5 l/ha			
9	27/07/2022	Dithianon + KHP 2,5 l/ha		KHP 1,9 l/ha	Mélange de terpène 3 l/ha	
	29/07/2022		Dithianon + KHP 2,5 l/ha			
10	03/08/2022	Captane 1,9 kg/ha		KHP 1,9 l/ha	Mélange de terpène 3 l/ha	
	05/08/2022		Captane 1,9 kg/ha			
11	10/08/2022	Trifoxistrobine 0,15 kg/ha		KHP 1,9 l/ha	Mélange de terpène 3 l/ha	
	12/08/2022		Trifoxistrobine 0,15 kg/ha			
12	12/08/2022	Trifoxistrobine 0,15 kg/ha		KHP 1,9 l/ha	Mélange de terpène 3 l/ha	
	18/08/2022		Trifoxistrobine 0,15 kg/ha			
13	18/08/2022	Dithianon + KHP 2,5 l/ha		KHP 1,9 l/ha	Mélange de terpène 3 l/ha	
	26/08/2022		Dithianon + KHP 2,5 l/ha			

Il est important de souligner que lors des contaminations 6 et 7, les traitements de la modalité « stratégie préventive » ont été effectués en curatif (« stop ») comme pour la modalité « stratégie curative ».

1.4. Résultats

a. Essais stratégies

Les premiers symptômes sont apparus dès la fin juin dans des zones hors essai. C'est la première fois que nous détectons des symptômes aussi précocement. Nous avons donc réalisé pour l'essai quatre observations, le 19 juillet, les 8 et 24 août et le 5 septembre.

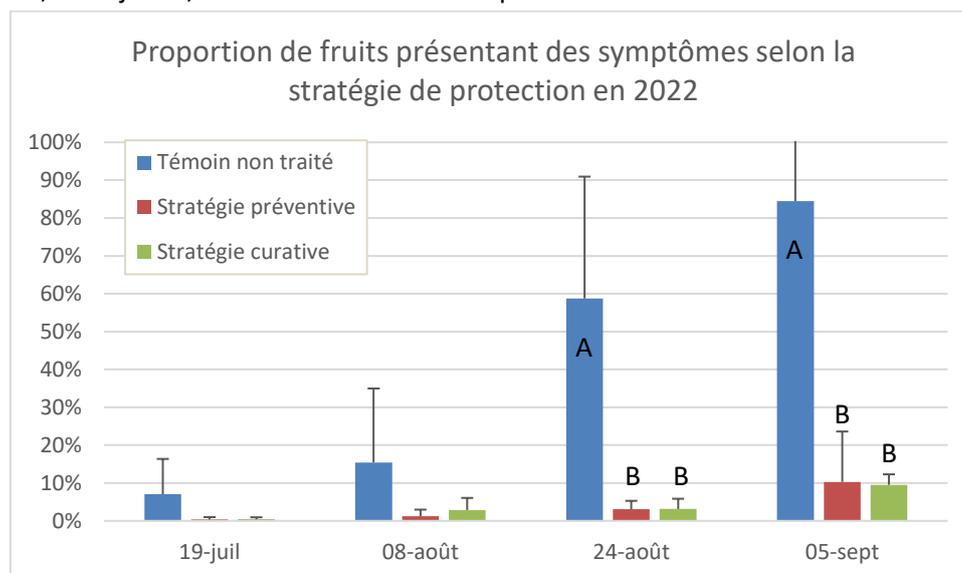


Figure 16 : Taux de fruits présentant des symptômes de bitter rot (200 fruits observé par parcelles élémentaire)

	Proportion de fruits touchés							
	19-juil		08-août		24-août		05-sept	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
Témoin	7,05%	9,32%	15,43%	19,54%	58,76%	32,17%	84,47%	26,10%
Stratégie préventive	0,38%	0,62%	1,24%	1,74%	3,05%	2,25%	10,29%	13,33%
Stratégie curative	0,48%	0,48%	2,86%	3,21%	3,14%	2,71%	9,52%	2,78%

On remarque que pour chaque observation le taux de fruits présentant des symptômes de bitter rot imputés à *Colletotrichum* sp. est équivalent dans la stratégie préventive ou curative. Les taux de fruits présentant des symptômes sont significativement distinct du témoin pour les observations du 24/08 et du 05/09 (p-value = 0.000*** et p-value = 0.002***, respectivement). Pour les deux premières notations, les conditions de validité de l'ANOVA ne sont pas respectées, mais la tendance est nette entre le témoin très impacté et les deux stratégies préventive ou curative aux mêmes niveaux d'infestation.

b. Essais biocontrôle

Pour cet essai, nous avons réalisé des observations les 8 et 24 août et le 5 septembre.

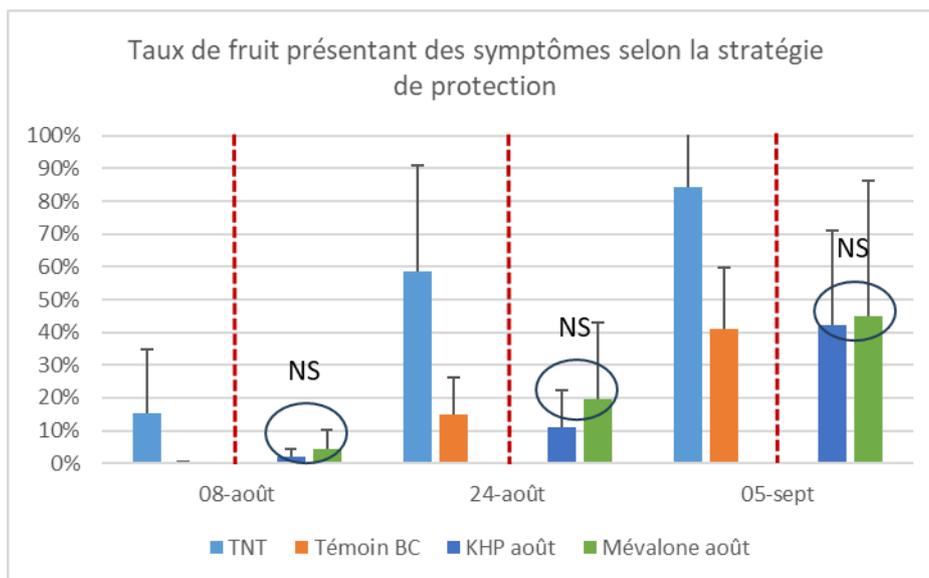


Figure 17 : Taux de fruits présentant des symptômes de bitter rot (200 fruits observé par parcelles élémentaire)

	8-aout		24-aout		5-sept.	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
TNT	15,43%	19,54%	58,76%	32,17%	84,47%	26,10%
KHP août	2,14%	2,25%	10,83%	11,30%	42,06%	28,89%
Mévalone août	4,29%	5,81%	19,52%	23,60%	44,88%	41,28%
Témoïn BC	0,48%	0,00%	15,00%	11,11%	41,19%	18,52%

Aucune différence significative n'est observée entre la modalité traitée avec du Soriale en août et celle traitée avec du Mévalone en août. Par ailleurs et bien qu'on ne puisse pas réaliser d'analyse de variance entre ces modalités, le taux de fruits présentant des symptômes de bitter rot sur le témoin non traité en août (« témoin BC ») est équivalent aux modalités traitées avec les biocontrôles.

1.5. Discussion

Le niveau de pression fongique dû à *Colletotrichum* sp sur la parcelle de l'est très élevé. Les conditions de réalisation de l'essai sont donc assez difficiles et mettent les stratégies de protection à l'épreuve et en limite d'efficacité.

Cependant la principale conclusion que l'on peut tirer de ces essais est l'efficacité équivalente d'une stratégie positionnant les traitements en « stop » (après 24h) avec la stratégie de référence en préventif.

Concernant les applications avec du biocontrôle, les résultats ne sont pas concluants mais la pression est probablement trop élevée pour observer un effet de ces spécialités. On remarque d'ailleurs qu'en fin de cycle dans les deux modalités de référence malgré une assiduité importante sur toutes les contaminations potentielles (13 traitements), le taux de fruits présentant des symptômes de bitter rot est assez important (entre 10 et 13 %) le 5 septembre à la fin de l'essai.

2. Essais en conservation

Non-réalisé en 2022.

Synthèse pluriannuelle

1. Solutions testées en verger

Depuis 2017, de nombreuses matières actives ont été testées, notamment les spécialités utilisées régulièrement dans les stratégies de protection contre la tavelure ainsi que celles utilisées pour prévenir les maladies de conservation. Une importante gamme de produit de biocontrôle est également testée. Le tableau ci-dessous résume les cinq années d'essais sur les différentes matières actives testées en verger sur *C. fructicola*.

Tableau 5 : Synthèse des essais d'efficacité de matières actives testées en verger de pommiers (variété Cripps Red, avec historique de pression). Les signes indiquent l'efficacité par rapport au témoin : +++ supérieure à 80 %, ++ entre 61 et 80 %, + entre 41 et 60 %, - entre 31 et 40 %, -- entre 20 et 30 %, --- inférieure à 20 %. Le signe () indique une tendance positive ou négative mais pas de significativité des résultats. Les nommés en rouge correspondent à des matières actives non-réapprouvées et retirées. (1) Usage autorisé sur tavelure. (2) Usage autorisé sur feu bactérien. (3) Pas d'usage autorisé sur fruits à pépins.

Matières actives	Spécialités commerciales	2017	2018	2019	2020	2022
Fludioxonil	Geoxe	+++	(++)	+++	+++	
Captane	Merpan 80 WDG		(++)		(++)	
Dithianon + KHP	Delan Pro ⁽¹⁾	+++			+++	
Fenbuconazole	Kruga	---				
Myclobutanil	Systhane new	---				
Pyraclostrobine	Maccani ⁽¹⁾ , Bellis, Cabrio arbo ⁽³⁾	+++			+++	
Trifloxistrobine	Consist ⁽¹⁾		(++)	(++)	(++)	
Thirame	Ordoval	+++				
Tebuconazole + fluopyram	Luna experience		(-)			
Fluopyram + fosetyl-Al	Luna care ⁽¹⁾		(++)	(++)	(++)	
Fosetyl-Al	Aliette ⁽²⁾		(-)	(+)		
Argiles sulfurisées	Mycosin ⁽³⁾		---			
Phosphonate de potassium	Soriale ⁽¹⁾	+	(+)			--
<i>Bacillus subtilis</i>	Rapsody			(--)		
<i>Auréobasidium pullulans</i>	Blossom protect			(--)		
<i>Bacillus amyloliquefacens</i>	Amilo-X			(--)		
Stratégie préventive	Delan pro, captane...	+++	(++)	+++	(++)	+++
Stratégie curative	Delan pro, captane...				(++)	+++

En résumé, les matières actives ayant démontré leur efficacité au verger sont le dithianon associé au phosphonate de potassium (Delan Pro), le fludioxonil (Geoxe), la famille des strobilurines avec plus particulièrement la pyraclostrobine (Maccani, Bellis). La trifloxistrobine (Flint, Consist...), le fluopyram

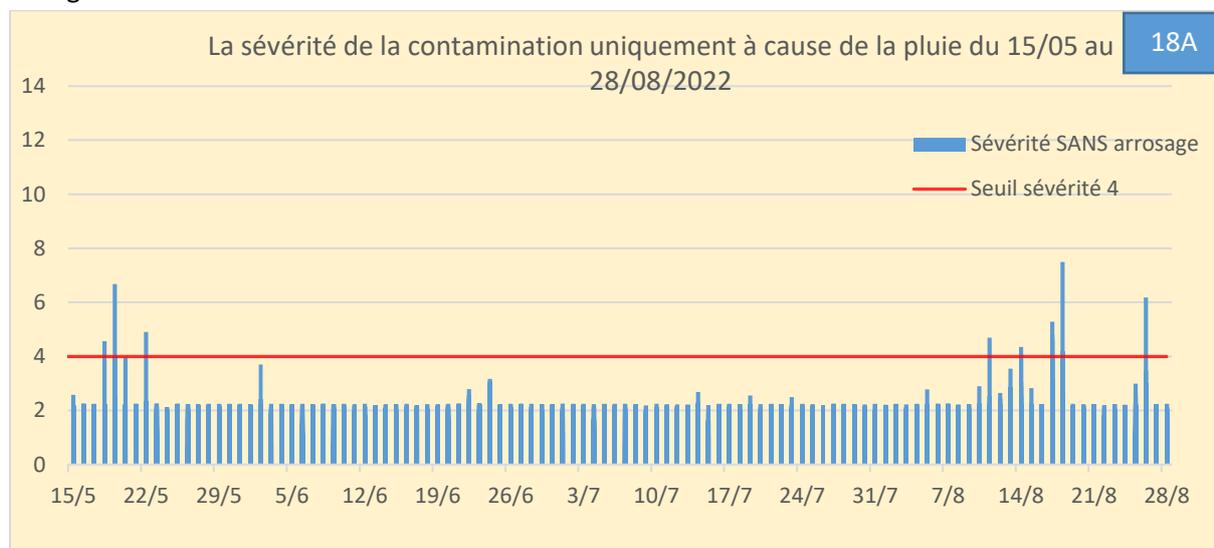
associé au fosétyl-aluminium (Luna Care) et le captane affichent également des tendances positives concernant leur efficacité. Le phosphonate de potassium seul (Soriale) a présenté une efficacité intermédiaire en 2017 puis en 2020. Cependant, en 2022, dans des conditions de très forte pression, cette matière active n'a pas permis de protéger le verger.

Le tableau 1 présente également deux lignes dite « stratégie » : il s'agit, pour chaque année d'essai, de modalités combinant les produits ayant présenté des résultats efficaces dans le respect de la réglementation (délais avant récolte, nombre d'applications, dose). Ces stratégies ont présenté chaque année soit une efficacité satisfaisante soit une tendance positive, elles ont également été testées en application curative en 2020 et 2022 (voir encadré « Les applications curatives après les précipitations sont autant efficaces que les préventives »).

Concernant les produits de biocontrôle, à l'exception du phosphonate de potassium qui présente une efficacité intermédiaire, toutes les spécialités testées n'ont montré aucune efficacité ou une tendance négative.

2. Impact de l'irrigation

C. fructicola a besoin de températures douces et d'un temps d'humectation foliaire plus ou moins long pour se développer. Les systèmes d'irrigation sur ou sous frondaison, qui apportent de l'eau liquide pendant plusieurs heures pendant la période estivale, potentiellement en présence de températures élevées, favorisent considérablement la présence et le développement de l'agent pathogène. Chaque tour d'eau est une contamination potentielle. Ainsi en 2022, sur la parcelle d'essai à Marsillargues, du 22/05 au 28/08, **10 épisodes contaminants sur 13** ont été provoqués exclusivement par un tour d'irrigation.



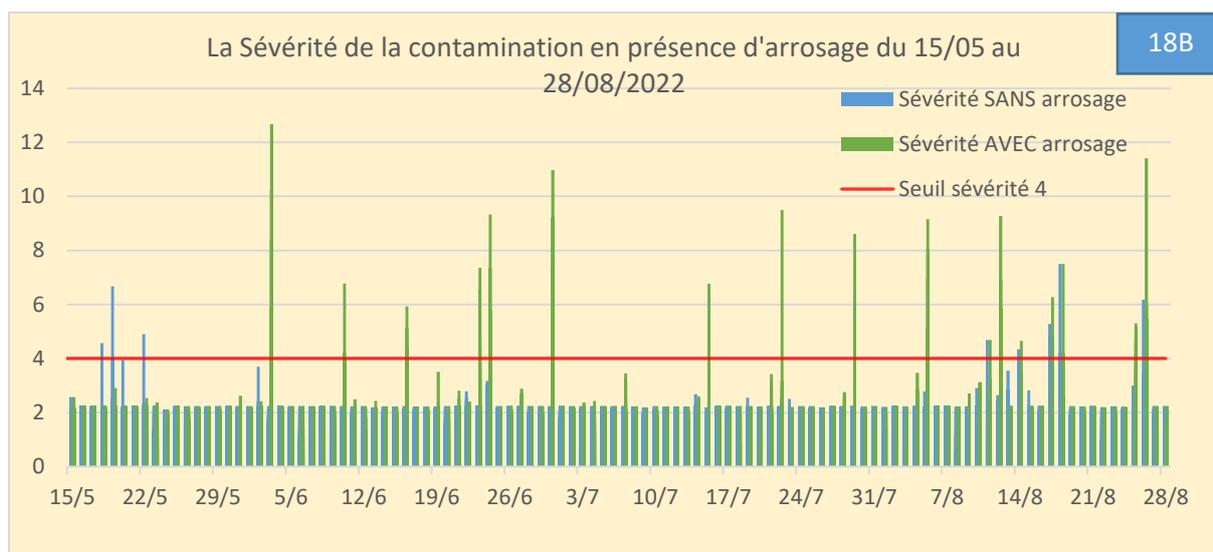


Figure 18 : Sévérité du risque de contamination de *C. fructicola* en fonction des conditions météorologique en 2022 (18A) et suite à chaque tour d'eau sur frondaison : 50 mm apportés pendant 12 h, une fois par semaine (18B). Modèle de Crusius et al. (2002) appliqué à un verger de Marsillargues (34).

Pour limiter ces conditions et permettre une protection efficace, il est indispensable d'équiper les vergers à historique de contamination d'un système d'irrigation qui ne projette pas d'eau liquide sur le feuillage et les fruits, c'est-à-dire un système en goutte-à-goutte ou en micro-aspersion pendulaire.

3. Logigramme de décision

En conclusion, il est important, dans les situations à historique, de combiner la gestion de *Colletotrichum* sp. avec celle de la tavelure. Ainsi il vaut mieux réserver les fongicides anti-tavelure inefficaces sur *Colletotrichum* sp. avant la chute des pétales (sulfate de cuivre, soufre, dodine, ANP...). Après la chute des pétales et dès que les températures moyennes s'élèvent, il est conseillé de favoriser les matières actives anti-tavelure efficaces également contre *Colletotrichum* sp. : dithianon associé au phosphonate de potassium, captane, fluopyram associé au fosethyl-aluminium (tableau 1). À partir de la fin du risque de tavelure, il est possible de positionner les strobilurines. Avant la récolte, il faut privilégier les matières actives utilisées pour la protection des maladies de conservation (fludioxonil, pyraclostrobine associée au boscalid). Le logigramme de la figure 19 constitue une approche empirique pour maîtriser la maladie.

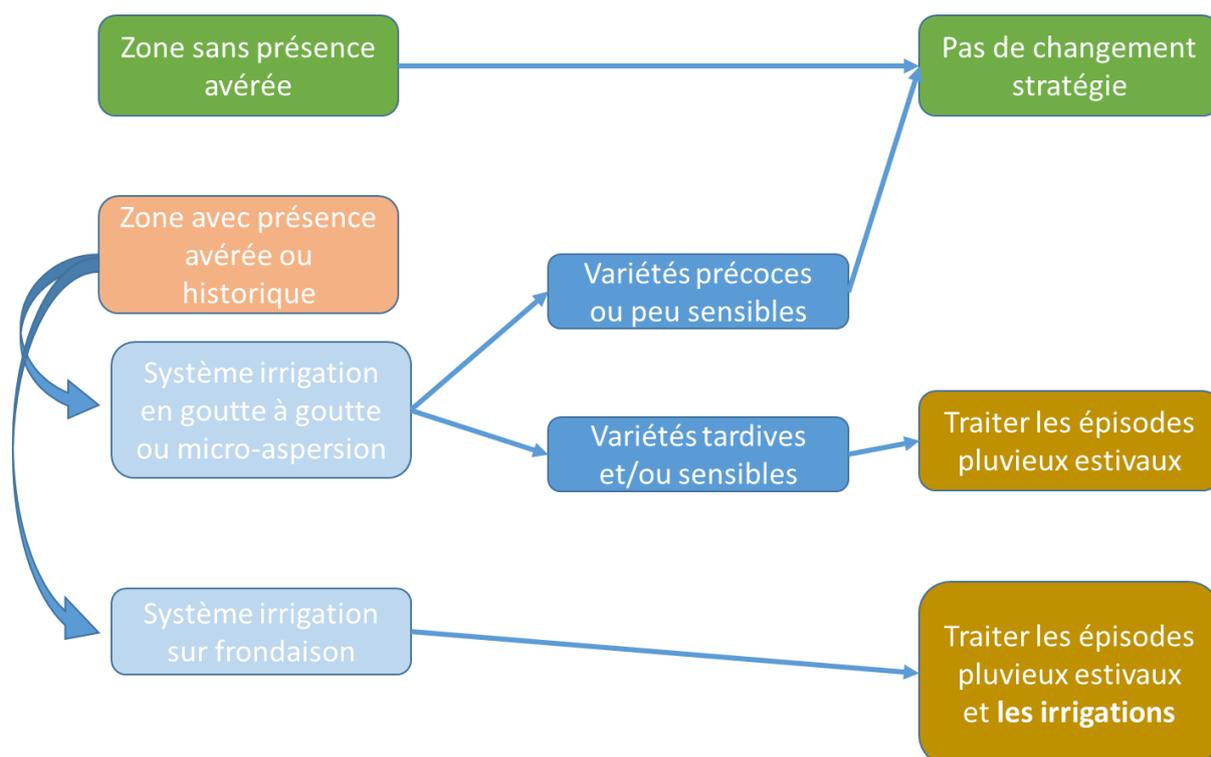


Figure 19 : Logigramme décisionnel pour la protection contre le bitter rot provoqué par *Colletotricum* sp.

La prophylaxie ne doit pas être oubliée. En effet, à l'apparition des premiers symptômes, les fruits atteints doivent être sortis du verger et détruits afin d'éviter les recontaminations. Par ailleurs pendant la phase hivernale, l'andainage et le broyage des fruits pourris au sol ainsi que la taille des momies peuvent contribuer à assainir la parcelle.