

SOMMAIRE

I. Introduction.....	1
I.1. Contexte socio-économique de l'étude	1
I.2. <i>Venturia inaequalis</i> , agent de la tavelure du pommier	4
I.2.1. Le cycle biologique	4
I.2.2. Les conditions climatiques favorisant le développement et la contamination du végétal par <i>V. inaequalis</i>	5
I.2.3. Symptômes et dégâts associés.....	6
I.2.4. Les méthodes de lutttes contre <i>V. inaequalis</i>	7
I.3. Les fongicides SDHI, de nouvelles substances actives dans la lutte contre la tavelure du pommier des vergers français?	10
II. Protocoles	12
II.1. Objectifs de l'étude	12
II.2. Matériel et Méthodes	12
II.2.1. Le suivi biologique	12
II.2.1.1. Matériel végétal.....	12
II.2.1.2. Principe du piège « Marchi »	13
II.2.1.3. Observation des spores.....	14
II.2.2. La modélisation du risque d'infection de la tavelure par le logiciel RIMpro	14
II.2.3. Essais efficacité.....	15
II.2.3.1. Matériel végétal.....	16
II.2.3.2. Matériel technique.....	17
II.2.3.3. Dispositifs expérimentaux.....	17
II.2.3.3.1. Les modalités	17
II.2.3.3.2. Mise en place des essais.....	19
II.2.3.4. Mesures et notations.....	19
III. Résultats	21
III.1. Suivi biologique et modélisation	21
III.2. Essais efficacité	22
III.2.1. Essai 1 : de pré-floraison	23
III.2.2. Essai 2 : de post-floraison.....	25
IV. Discussions.....	27
V. Conclusion, Perspectives.....	29
BIBLIOGRAPHIE	31
SITOGRAFIE.....	33
LISTES DES ANNEXES.....	35

LISTE DES ABREVIATIONS

ACTA : Association de Coordination Technique Agricole

AFPP : Association Française de Protection des Plantes

ANOVA : Analyse de variance

BPE : Bonne Pratique d'Expérimentation

CEB : Commission d'Essai Biologique

CEFEL : Centre d'Expérimentation Fruits Et Légumes

cm : centimètre

Ctifl : Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes

ha : hectare

IBS : Inhibiteurs de la Biosynthèse des Stérols

kg : kilogramme

mm : millimètre

nm : nanomètre

PFI : Production Fruitière Intégrée

RIM : Relation Infection Measure

RT : Résistant Tavelure

SCICA : Société Coopérative d'Intérêt Collectif Agricole

SDHI : succinate DesHydrogenase Inhibitors (Inhibiteurs de la Succinate DésHydrogénase)

°C : degré Celsius

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Les stades phénologiques du pommier d'après FLECKINGER

Annexe II : Les courbes de MILLS

Annexe III : Parcellaire 2013 du CEFEL à Montauban

Annexe IV : Calendrier de traitements phytosanitaires des parcelles d'essais évaluant l'efficacité de produits à base de SDHI contre la tavelure du pommier

Annexe V : Données du suivi biologique, des conditions climatiques et de RIMpro au cours de la saison 2013

Annexe VI : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 22 avril (pousses) par Statbox

Annexe VII : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 6 mai (pousses) par Statbox

Annexe VIII : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 27 mai (pousses) par Statbox

Annexe IX : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 6 juin (pousses) par Statbox

Annexe X : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 24 juin (pousses) par Statbox

Annexe XI : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 24 juin (fruits) par Statbox

Annexe XII : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 6 mai (pousses) par Statbox

Annexe XIII : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 27 mai (pousses) par Statbox

Annexe XIV : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 6 juin (pousses) par Statbox

Annexe XV : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 24 juin (pousses) par Statbox

Annexe XVI : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 24 juin (fruits) par Statbox

LISTE DES ILLUSTRATIONS

- Figure 1 : Cycle biologique de l'agent pathogène responsable de la tavelure du pommier : *Venturia inaequalis*
- Figure 2 : Jeune symptôme de tavelure de couleur vert-olivâtre sur la face supérieure d'une feuille
- Figure 3 : Evolution des symptômes de tavelure en nécroses sur la face supérieure d'une feuille
- Figure 4 : Symptômes de tavelure sur jeunes fruits déformés et crevassés par la maladie
- Figure 5 : Photographie des éléments composant un piège Marchi
- Figure 6 : Photographies du tambour portant le film plastique d'une semaine (a.) et d'une bandelette journalière support des projections (b.)
- Figure 7 : Photographie de spores de *Venturia inaequalis* observées au microscope optique au grossissement x 200 d'une bande de projection issue du piège Marchi.
- Figure 8 : Représentation des informations fournies par le logiciel RIMpro sur la saison des contaminations primaires en 2013
- Figure 9 : Plans des essais efficacité sur la parcelle 16 du CEFEL
- Figure 10 : Graphique des conditions climatiques durant les essais de la campagne 2013
- Figure 11 : Graphique récapitulatif des conditions d'interventions faites sur les essais : dates de traitement et de notations
- Figure 12 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 22 avril 2013
- Figure 13 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 6 mai 2013
- Figure 14 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 27 mai 2013
- Figure 15 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 6 juin 2013
- Figure 16 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 24 juin 2013
- Figure 17 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage d'efficacité sur pousses pour chaque modalité, au 24 juin 2013
- Figure 18 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de fruits attaqués par la tavelure pour chaque modalité, au 24 juin 2013
- Figure 19 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage d'efficacité sur fruits pour chaque modalité, au 24 juin 2013
- Figure 20 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 6 mai 2013
- Figure 21 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 27 mai 2013
- Figure 22 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 6 juin 2013
- Figure 23 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 24 juin 2013
- Figure 24 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage d'efficacité sur pousses pour chaque modalité, au 24 juin 2013
- Figure 25 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de fruits attaqués par la tavelure pour chaque modalité, au 24 juin 2013
- Figure 26 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage d'efficacité sur fruits pour chaque modalité, au 24 juin 2013

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Tableau récapitulatif des substances actives homologuées contre la tavelure du pommier

Tableau II : Tableau récapitulatif des modalités de l'essai 1 évaluant l'efficacité de produits fongicides contre la tavelure du pommier en pré-floraison

Tableau III : Tableau récapitulatif des modalités de l'essai 2 évaluant l'efficacité de produits fongicides contre la tavelure du pommier en post-floraison

I. Introduction

I.1. Contexte socio-économique de l'étude

Avec une production mondiale estimée à 65,2 millions de tonnes pour la campagne 2011/2012, la pomme constitue l'une des premières productions fruitières mondiales. Le premier pays producteur de pomme en 2011 est la Chine avec un volume de 36 millions de tonnes. Ainsi elle assure 47 % de la production mondiale. L'Union Européenne arrive en seconde position avec 10,6 millions de tonnes de pommes produites, suivi par les Etats-Unis avec un volume de 4,3 millions de tonnes (FranceAgriMer, 2013).

Au sein de l'Union Européenne, pour 2011, six pays se partagent 84 % de la production. La Pologne est le premier producteur européen de pomme avec 2,49 millions de tonnes, l'Italie suit avec 2,41 millions de tonnes. Puis, au troisième rang européen se positionne la France avec une production de 1,86 million de tonnes. Suivent dans l'ordre l'Allemagne, l'Espagne et la Roumanie (Eurostat, 2011).

Le pommier est la première espèce fruitière cultivée en France avec une surface de 41 866 hectares (28 % de la sole fruitière en 2011, 62 % de la production). Les principaux lieux de production française se concentrent trois bassins : le Grand Sud-Ouest avec le Tarn-et-Garonne, département leader de la production de pomme française (258 728 tonnes), le Val de Loire, centré sur le Maine-et-Loire (deuxième département producteur, 194 209 tonnes) et le Sud Est avec le Vaucluse, troisième département producteur de pomme (142 767 tonnes) (FranceAgriMer, 2012).

La pomme est le premier fruit acheté et préféré des Français, près de 18 kg sont consommés par ménage et par an. La part de marché de ce fruit représente 20,3 % en volume devant la banane (14,6 %) et les oranges (12,4 %) (Association Nationale Pommes Poires, 2010/2011).

La pomme française ne se consomme pas exclusivement sur son territoire, elle s'exporte. Pour l'année 2011, près de 695 500 tonnes de pommes sont parties à l'étranger, soit 37 % de la production française. Leur destination est essentiellement européenne, le Royaume-Uni est le premier acquéreur (138 848 tonnes), puis l'Espagne en deuxième position (81 746 tonnes) et les Pays-Bas (71 004 tonnes) ; (Sopexa, 2013). Les exportations de pommes représentent près de 525 millions d'euros, soit 38 % des exportations fruitières en valeur (FranceAgriMer, 2012).

Les données pour la récolte 2012 indiquent une baisse de production de 27 % par rapport à 2011 ainsi qu'une diminution de la superficie de récolte (40 921 hectares) ; (Agreste, 2013). Des conditions climatiques défavorables au printemps (gel, précipitations, grêle) sont à l'origine d'une perte de rendement réduisant la production de 2012 à environ 1,36 million de tonnes (Agreste, 2012).

L'ensemble de ces données font de la pomme une production majeure de notre pays, d'une grande importance économique, elle assure le revenu et le maintien de toute une filière.

Aux aléas climatiques se joignent les problèmes liés aux bioagresseurs (tavelure, pucerons, carpocapse...), auxquels le pommier est très sensible. Afin d'assurer le maintien de la production et de leur revenu, les arboriculteurs doivent surveiller leurs vergers et mettre en œuvre les techniques nécessaires pour pallier à ces contraintes climatiques et/ou biologiques. La lutte chimique est une méthode à leur disposition permettant de contrôler des populations d'organismes nuisibles au bon déroulement de la culture.

Les exigences des consommateurs pour les produits frais sont difficiles à définir et encore plus à mesurer, car une différence est observée entre le discours du citoyen et le comportement du consommateur. Toutefois, des préjugés persistent sur le mode de consommation des français dû à une tendance culturelle concernant la qualité propre des aliments (HIRSCHLER *et al.*, 2006). D'après une étude française de 2010, le premier critère d'achat serait l'aspect du fruit et notamment pour la pomme, sa belle apparence et sa fraîcheur (BLOT, 2012).

La réponse aux attentes des consommateurs qui souhaitent un produit frais esthétiquement beau, sans traces ou impacts de vie biologique, nécessite des traitements avec des produits phytosanitaires. L'utilisation à bon escient de ces produits permet le contrôle des bioagresseurs, en garantissant une production saine, aux rendements conséquents, et répondant à la demande.

Depuis quelques années, il est observé une nouvelle envie de consommation, avec l'émergence de la sensibilisation de la population aux risques encourus par l'usage des phytosanitaires sur l'environnement et la santé. Près de « 80 % des consommateurs sont inquiets de la présence de résidus de produits phytosanitaires dans les fruits, les légumes et les céréales » (BLOT, 2012). Cependant le consommateur souhaite que le marché continue de lui proposer des produits frais à l'aspect standardisé en plus d'une absence de résidus de pesticides.

De plus, le gouvernement français a mis en place en 2008, lors du Grenelle de l'environnement, le plan Écophyto visant à réduire à l'horizon 2018 l'utilisation des produits phytosanitaires, si possible, de près de 50 % tout en maintenant une agriculture économiquement performante. A ce premier volet du dispositif s'ajoute le retrait progressif du marché de 53 substances actives les plus préoccupantes (Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2013).

En outre, la diminution de choix de matières actives proposé au producteur pour protéger ses cultures entraîne une utilisation plus fréquente d'une même molécule sur une même parcelle, pouvant occasionner à court, moyen ou long terme une résistance du bioagresseur ciblé à la substance utilisée.

Ainsi il est nécessaire que les firmes agrophytopharmaceutiques continuent de rechercher et de proposer de nouvelles solutions de synthèse, plus respectueuses de l'environnement, afin de permettre l'alternance des modes d'action et limiter le phénomène de résistance des organismes nuisibles aux cultures.

C'est ici qu'interviennent les différentes structures d'expérimentation permettant d'évaluer l'efficacité des nouvelles formulations des firmes.

➔ Rôles du CEFEL

Le Centre d'Expérimentation en Fruits et Légumes de Midi-Pyrénées est une Société Coopérative d'Intérêt Collectif Agricole (SCICA) faisant partie des stations régionales du réseau coordonné par le CTIFL. Son implantation dans le Tarn-et-Garonne (82) à Moissac et à Montauban, lui permet d'être au plus près des préoccupations des producteurs et des professionnels de la filière fruits et légumes. De plus, ce département est le premier producteur de pommes (FranceAgriMer, 2012). Ainsi, la pomme est le support végétal le plus étudié au sein de la structure, suivi par ordre d'importance par le melon, le raisin de table, la prune de table, l'ail et la cerise qui des espèces fréquemment rencontrées sur son territoire.

Le centre répond au questionnement de la profession par la diversité des essais menés sur les deux sites et chez les producteurs. La structure possède l'agrément B.P.E. (Bonne Pratiques d'Expérimentation), qui lui permet de réaliser des essais officiellement reconnus pour l'homologation de nouveaux produits phytosanitaires. L'ensemble des études et des collaborations qu'elle mène avec les autres stations régionales et/ou nationales a pour objectif d'améliorer la qualité des produits et la maintenir après récolte. Les essais sont principalement axés sur le contrôle des bioagresseurs en intégrant la préservation de l'environnement et la limitation des coûts de production, afin de développer un savoir faire innovant (CEFEL, 2013).

La gestion de la tavelure est l'une des principales thématiques de travail abordée sur la pomme par le CEFEL. Cette maladie est le problème numéro un en vergers de pommiers car elle occasionne de lourdes pertes de rendement si elle n'est pas maîtrisée. De par ce fait, c'est le pathogène qui nécessite le plus de traitements afin de garantir une production commercialisable. Pour pouvoir appliquer au mieux une stratégie de lutte, il est nécessaire de connaître la biologie du champignon pathogène et les facteurs le favorisant. Les conditions climatiques de la région sont propices à son initiation et à son développement au printemps : précipitations, humidité, températures supérieures à 10 °C.

La lutte chimique est l'une des principales méthodes pratiquées pour gérer cette maladie. Ainsi au sein des vergers du CEFEL, de nouvelles substances actives de la famille des Carboxamides ou SDHI (Succinate DesHydrogenase Inhibitors) sont testées en vue d'évaluer leur efficacité sur *Venturia inaequalis*, l'agent de la tavelure. Ces essais résultent d'une demande faite par des techniciens d'Organisation de Producteurs, des coopératives et des producteurs, souhaitant avoir une connaissance de l'efficacité des produits contenant ces matières actives avant leur arrivée, prochaine sur le marché.

Dans le cadre de la protection fruitière intégrée, les populations de *V. inaequalis* sont évaluées grâce à un suivi biologique et font l'objet d'une modélisation à l'aide du logiciel RIMpro. Ce logiciel, développé localement permet d'estimer les projections d'ascospores de *V. inaequalis* à chaque épisode pluvieux afin d'alerter sur les risques potentiels de contamination du végétal par ses spores. Ce dernier est un modèle d'aide à la décision pour positionner les traitements fongicides visant la tavelure.

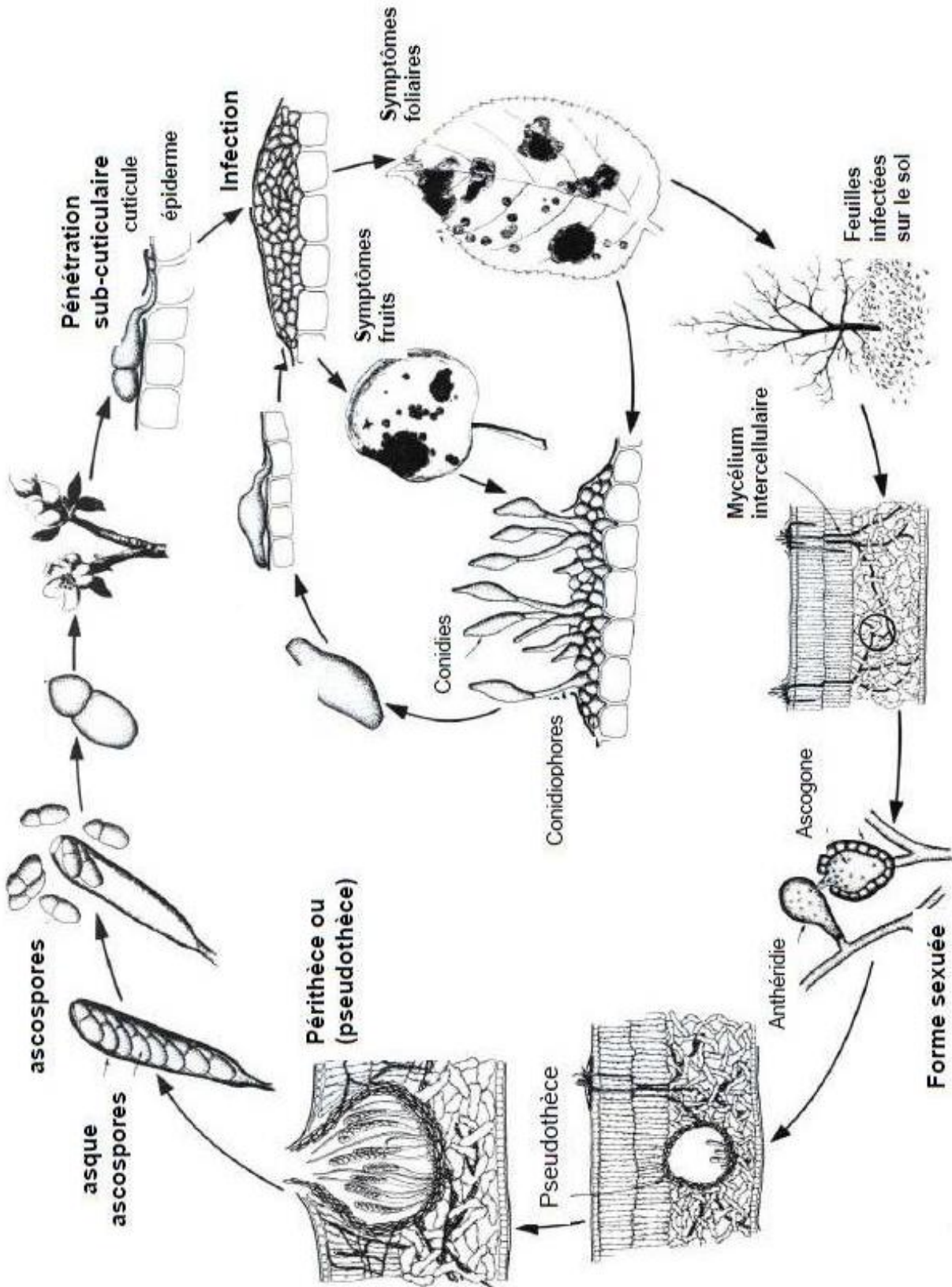


Figure 1 : Cycle biologique de l'agent pathogène responsable de la tavelure du pommier :



Cette étude va faire l'objet de ce rapport : Evaluer l'efficacité de différents produits sur la période des contaminations primaires de la tavelure, avant floraison et après floraison dans un système de production fruitière intégrée (PFI).

I.2. *Venturia inaequalis*, agent de la tavelure du pommier

Le pommier cultivé *Malus x domestica*, appartient à la famille des Rosaceae et est sujet à une maladie cryptogamique, la tavelure. Elle est causée par un champignon ascomycète de la famille des Venturiaceae, *Venturia inaequalis* (Cke) Wint. pour la forme sexuée (parfaite) ou *Spilocaea pomi* (Fr.) pour la forme asexuée (imparfaite). Il peut provoquer d'importants dégâts sur la culture et engendrer d'importantes pertes économiques sur la production, si le pathogène n'est pas contrôlé. En effet la tavelure affecte principalement les feuilles et les fruits en produisant des taches brunes, rendant les fruits invendables.

I.2.1. Le cycle biologique (Figure 1)

Venturia inaequalis a un cycle biologique constitué de deux phases : saprophyte et parasitaire.

➡ La phase saprophyte : un mode de conservation

Cette phase du cycle biologique de *V. inaequalis*, se déroule au sol dans la litière de feuilles de pommiers où le champignon se conserve sous forme de périthèces. Chacun de ces organes, issus de la rencontre de deux filaments mycéliens (reproduction sexuée), renferme les asques qui contiennent chacun huit ascospores bicellulaires d'une taille d'environ 25 µm. La date d'apparitions des premières ascospores mûres correspond souvent avec celle du débourrement des pommiers et de l'apparition des premiers organes sensibles. Cette synchronisation est régulée par la température qui tend à faire coïncider la vitesse de maturation des périthèces à la période de repos végétatif de l'hôte (MACHARDY *et al.*, 2001).

➡ La phase parasitaire

Cette phase du cycle est la plus redoutée en saison car c'est celle-ci qui conditionnera la qualité de la future récolte. Elle commence dès les premières projections d'ascospores.

Au printemps, les périthèces mûrissent et les ascospores sont alors disséminées par les précipitations. L'augmentation de la pression dans les périthèces est responsable de l'expulsion des ascospores (CRETE, 2007). Les projections d'ascospores s'échelonnent de début mars à mi-juin car les périthèces n'arrivent pas tous à maturité en même temps. Leur transport se fait par le vent qui les dépose sur les organes les plus vulnérables de l'arbre (les jeunes feuilles et les sépales). La sensibilité du végétal à l'infection par les spores du

champignon commence dès le printemps au stade B du développement du pommier (Annexe I) et dure jusqu'à la fin de leur projection. Les stades E-E2 et G du cycle du pommier sont les plus sensibles aux contaminations par les ascospores de *V. inaequalis*. Une fois déposée sur un organe, la germination de la spore nécessite une température et une durée d'humectation du feuillage minimum. Le tube germinatif pénètre ensuite dans la feuille après la formation d'un appressorium. Le champignon se propage dans le tissu subcuticulaire, entamant ainsi le cycle parasitaire. Cet événement constitue l'étape de la **contamination primaire** (BOVEY *et al.*, 1967). La lutte pratique consiste essentiellement à éviter ces contaminations primaires.

La durée d'incubation jusqu'à l'apparition des taches est d'environ trois semaines après les contaminations primaires. La reproduction asexuée prend le relais pour poursuivre le cycle de développement du champignon. Le thalle mycélien sous-cuticulaire s'étend sur les différents organes et va ainsi provoquer l'apparition de taches et de lésions caractéristiques. La visibilité de ces symptômes est due à une rupture de la cuticule par les conidiophores qui se sont différenciés à partir du mycélium (MACHARDY, 1996). Ces derniers sont porteurs à leur extrémité de conidies qui constituent l'inoculum secondaire (CHAMONT, GIL, 2012). Suite à leur projection lors de précipitations et/ou de l'irrigation, les conidies infectent à leur tour les organes végétatifs et provoquent de nouvelles lésions tissulaires. Ce processus est la **contamination secondaire**. Elle est fortement liée aux contaminations primaires car sans elles il n'y aurait pas ou peu de contaminations secondaires. A l'automne, les feuilles infectées par *V. inaequalis* tombent au sol et une nouvelle phase saprophyte commence et amorce l'inoculum primaire pour la saison suivante.

I.2.2. Les conditions climatiques favorisant le développement et la contamination du végétal par *V. inaequalis*

➔ Les précipitations et la rosée

L'eau est un élément essentiel au développement de la tavelure et à sa propagation. Son influence a pu être constatée à différentes étapes du cycle biologique de *V. inaequalis*.

La maturité des périthèces est favorisée par l'alternance de périodes sèches et humides (LOUW, 1951). Par contre, la présence d'eau est nécessaire à la libération des ascospores par celles-ci. En effet, les spores matures ne sont projetées qu'après l'humectation complète des périthèces par une précipitation d'au minimum 0,2 mm ou une rosée (HIRST et STEDMAN, 1962 ; MACHARDY *et al.*, 2001). De plus une faible pluie favorise leur transport et leur dépôt sur le végétal (GADOURY *et al.*, 1993). L'eau joue également un rôle dans la contamination : il faut que les organes verts du pommier restent mouillés pendant une certaine durée en fonction de la température ambiante pour que celle-ci ait lieu. Les courbes de MILLS permettent d'établir cette relation et de présenter le degré de gravité de la contamination (Annexe II) (BOVEY *et al.*, 1972).

L'eau intervient également lors de la contamination secondaire. La conidiation est maximale à 90 % d'humidité et n'a pas lieu en condition sèche (MACHARDY, 1996). Le détachement des conidies de leur support et leur transport vers les organes verts voisins sont

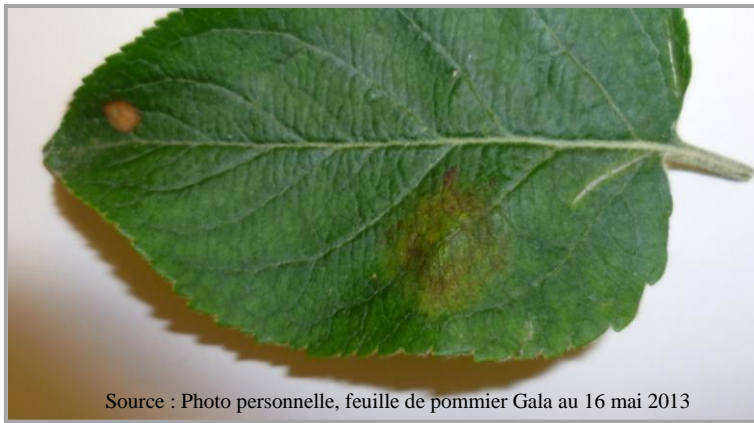


Figure 2 : Jeune symptôme de tavelure de couleur vert-olivâtre sur la face supérieure d'une feuille



Figure 3 : Evolution des symptômes de tavelure en nécroses sur la face supérieure d'une feuille



Figure 4 : Symptômes de tavelure sur jeunes fruits déformés et crevassés par la maladie

favorisés par la présence d'eau. Les contaminations se succèdent au gré des épisodes pluvieux tout au long de la période végétative (BOVEY *et al.*, 1967).

➡ La température

La température joue un rôle important dans le cycle de développement de *V. inaequalis*.

La formation des périthèces s'effectue dans les 28 jours qui suivent la chute des feuilles, à une température idéale de 4 °C. Après une période de latence de six semaines, les périthèces reprennent leur développement à une température optimale de 10 °C (MACHARDY, 1996). Ces derniers sont sensibles à de fortes températures, au dessus de 32 °C les périthèces avortent (JAMES et SUTTON, 1982).

Lors de la contamination primaire, la température optimale pour la projection d'ascospores est de 20 °C (MACHARDY, 1996), mais elle peut être retardée lors de basse température, avoisinant les 2°C (HIRST et STEDMAN, 1962). La germination des ascospores peut se faire sur une large gamme de température, tout comme la croissance des hyphes issus de ces spores, de 0,5 à 32 °C. La sporulation de conidies, quant à elle, est plus fortement corrélée à la température qu'aux précipitations et à l'hygrométrie (MACHARDY, 1996).

➡ La lumière

L'intensité lumineuse est également un des facteurs favorisant la contamination des pommiers par *V. inaequalis*. Des travaux ont montré que la majorité des projections d'ascospores avaient lieu dans la journée et peu la nuit. Ce phénomène serait dû à une stimulation par la lumière (MACHARDY et GADOURY, 1986). Les longueurs d'ondes comprises entre 625 et 725 nm sont celles qui stimulent la libération de spores (GADOURY, 1998).

L'ensemble de ces facteurs conditionne le développement de *V. inaequalis* qui engendre des lésions et occasionne des symptômes visibles sur différents organes de l'arbre.

I.2.3. Symptômes et dégâts associés (Figures 2, 3 et 4)

Au printemps, avec le développement de *V. inaequalis*, des symptômes sont observés au champ sur la végétation, puis par la suite sur les fruits si les contaminations primaires ne sont pas bien contrôlées. Cette maladie tue rarement son hôte mais provoque des lésions remarquables.

➤ Sur feuilles

Les symptômes sur feuilles se caractérisent par des taches de forme circulaire, de couleur brune olivâtre à brun foncé sur la partie supérieure des feuilles (Figure 2). Au fur et à mesure, que le champignon se propage dans le limbe, les taches grossissent et prennent un aspect velouté. Les symptômes s'étendent le long des nervures au cours de la saison. Une forte attaque peut entraîner une déformation du limbe (Figure 3) qui s'accompagnera de sa chute (BOVEY *et al.*, 1967).

La défoliation des arbres, entraîne une diminution de la photosynthèse qui peut avoir de graves conséquences sur la qualité de la production.

➤ Sur fruits (Figure 4)

Les fruits sont sensibles à tous les stades de leur développement aux attaques de *V. inaequalis*. Les jeunes fruits infectés vont finir par tomber si leur pédoncule est atteint (MACHARDY, 1996). Les attaques moins précoces donnent lieu à des taches brunes olivâtres pouvant provoquer un arrêt de croissance de l'épiderme qui peut se crevasser plus ou moins profondément. Les attaques tardives se caractérisent par des marques plus petites, superficielles, noires qui peuvent être bordées de rouge et apparaissent lors de la conservation (BOVEY *et al.*, 1967).

Ces dégâts ont pour conséquences une réduction de la qualité et de la valeur marchande de la production. Cette maladie est l'une des plus préjudiciables. Sur des variétés sensibles et en absence de protection, la perte de production peut être de 100 % car le seuil de tolérance pour cette maladie est inexistant : tout fruit tavelé est écarté (BRUN *et al.*, 2007 ; OMS et ONU, 2010).

Ainsi, il y a bien une nécessité de contrôler le pathogène pour limiter les pertes économiques. Différents moyens de lutte sont à la disposition des producteurs.

I.2.4. Les méthodes de lutttes contre *V. inaequalis*

➤ La lutte génétique

Les différentes variétés de pommiers présentes sur le marché ne possèdent pas la même sensibilité à la tavelure.

À ce jour, les cultivars résistants à la tavelure (variétés RT), susceptibles d'être plantés, possèdent quasiment tous le gène de résistance *Vf*. Ce dernier est issu du *Malus floribunda clone 821* (LESPINASSE, 1990). Or, il a été constaté dans plusieurs pays que ce type de résistance monogénique était déjà contourné, y compris dans le nord et dans l'ouest de la France (PARISI *et al.*, 2004). Actuellement, les travaux de sélection s'orientent principalement vers la recherche de résistances partielles à caractère polygénique. Ce qui consisterait à associer au gène *Vf* et à une protection phytosanitaire légère, de nouveaux gènes de résistance. Cette stratégie permettrait d'envisager une meilleure durabilité de la résistance

(LESPINASSE *et al.*, 1999). L'avantage de ce type de résistance est qu'elle est durable, et donc moins facilement contournable par de nouvelles races de tavelure.

Le choix de cultivars peu sensibles à *V. inaequalis* lors d'implantation de vergers par les producteurs n'intervient que très peu. Ainsi, la majeure partie du verger français est constitué de variétés très sensibles à la tavelure (PARISI *et al.*, 2004). De ce fait, il convient de mettre en œuvre l'ensemble des techniques efficaces pour lutter contre le champignon.

➡ La lutte prophylactique

« La prophylaxie est définie, comme tout acte technique contre un phyto-agresseur destiné à réduire ou éliminer la production, le développement (ou la présence) d'inoculum primaire avant qu'il ne puisse infecter les tissus sensibles. » (MACHARDY, 1996)

L'INRA en association avec le Ministère de l'Agriculture et le CTIFL ont publié dans une note de 2008, la nécessité d'intégrer la prophylaxie dans la stratégie de lutte afin de réduire la pression parasitaire y compris dans les vergers apparemment sains.

La méthode consiste à accélérer la dégradation de la litière de feuilles hivernantes afin d'éviter la contamination primaire en réduisant le stock de spores potentiellement projetables au printemps. Pour cela, deux techniques sont employées.

La première consiste, durant l'automne, après la chute totale des feuilles, à dégrader par broyage la litière dans les vergers. Elle a pour but de permettre une décomposition accélérée des feuilles en réduisant le potentiel de formation des périthèces. Cette action mécanique sur la litière peut réduire les projections d'ascospores de près de 40 à 90 %. De plus, l'efficacité de la méthode est augmentée lorsque le broyage est très fin (SUTTON *et al.*, 2000).

La seconde technique prophylactique, consiste à apporter de l'urée lors d'une application en verger juste avant la chute des feuilles. Ce composé organique a une action à la fois chimique et biologique. En effet, suite à sa pulvérisation, il entraîne une élévation de la teneur en azote dans la feuille qui réduit, grâce à son action fongitoxique, le développement du mycélium et des ascospores (MACHARDY, 1996).

Cependant, la seule utilisation de cette méthode de lutte n'est pas suffisante pour assainir un verger. Il est donc nécessaire d'avoir recours à d'autres techniques pour limiter la prolifération de la maladie.

➡ La lutte chimique

Le succès de la lutte chimique sur *V. inaequalis* est déterminé par le positionnement des traitements fongicides et plus particulièrement ceux visant les contaminations primaires. Le but est de ne pas avoir de taches de la maladie dans les vergers à la fin du printemps (fin des risques de projections d'ascospores). De ce fait, les interventions chimiques sont positionnées régulièrement, en fonction des risques, suivant la croissance végétative de la culture pendant cette période, afin de protéger tous les étages foliaires.

Tableau I : Tableau récapitulatif des substances actives homologuées contre la tavelure du pommier

Propriétés	Famille chimique	Sous famille	Substances actives	Pénétration du produit	Action
Multi-sites	Cible et / ou effet : Inhibition de la germination des spores				
	Produits minéraux	-	cuivre soufre	C C	P P/E
	Carbamates	Dithiocarbamates	mancozèbe	C	P
			manèbe	C	P
			thirame	C	P
			zirame	C	P
N-chloroalkyl-mercaptans	Phtalimides	captane folpel	C C	P/C P/C	
	Guanidines	dodine	C/P	P/C	
	Quinones	dithianon	C	P	
Uni-sites	Cible et / ou effet : Inhibition du complexe mitochondrial III (BC1 : face externe du cytochrome B « QOI »)				
	Hétérocycles azotés	Strobilurines	krésoxim-méthyl trifloxystrobine	C P	P/E P/C/E
	Cible et / ou effet : Biosynthèse des stérols (IBS du groupe I) inhibition de la 14-α déméthylase : déméthylation des stérols « IDM »				
	Hétérocycles azotés	Triazoles	difénoconazole	P	P/C
			fenbuconazole	S	P/C/E
			tébuconazole	S	P/C/E
Cible et / ou effet : Méthionine					
Hétérocycles azotés	Anilinopyrimidines	cyprodinil pyriméthanil	S P	P/C C	
Stimulateur de défense des plantes	Oligosaccharides	-	laminarine	-	-
Pénétration du produit : S = systémique, C = contact, P = pénétrant Action : P = préventive, C = curative, E = éradiquante					

Source : ACTA, 2013

L'infection par les contaminations primaires vont conditionner l'intensité des contaminations secondaires et avec elles l'échelonnement, si nécessaire, des traitements anti-tavelure. En effet, en l'absence de dégâts en fin des contaminations primaires, la stratégie de lutte sur la période des contaminations secondaires peut être fortement réduite voire même stoppée. Dans le cas contraire, la protection est prolongée jusqu'à la récolte. (CRETE X., 2007)

D'après l'index phytosanitaire 2013 de l'ACTA, 18 substances actives fongicides sont homologuées contre la tavelure du pommier (Tableau I). Près de la moitié sont des multi-sites et la seconde des uni-sites. L'emploi des produits à base de ces matières actives doit être adapté à la situation, ce qui va conditionner le type d'intervention phytosanitaire.

Il existe quatre types d'interventions qui sont pratiquées suivant le besoin du positionnement du produit par rapport aux contaminations :

- Les traitements préventifs consistent à intervenir avec un produit de contact avant un évènement contaminant (précipitations, stock important de spores potentiellement projetables) ou à répéter une application suivant le développement végétatif afin de protéger les nouvelles pousses. Leur action consiste à protéger les feuilles (partie végétale sensible) pour empêcher la germination et la pénétration des ascospores du champignon (MACHARDY, 1996). Cette méthode présente cependant quelques inconvénients. En effet, il faut prendre en compte les propriétés des produits et les précipitations car au-delà de 20 mm de pluie certains fongicides sont lessivables. La protection mise en place est alors supprimée et une nouvelle intervention doit être pratiquée.

- Les traitements stops se positionnent près de la contamination avant la germination de la spore déposée et de l'infection qu'elle pourrait occasionner, soit dans les 24 à 48 heures après le début d'une pluie contaminatrice. Les produits utilisés sont dits « stop » et ont des modes d'action de type : contact, pénétrant et systémique.

- Les traitements curatifs sont faits avec des produits uni-sites qui sont utilisés lorsque le champignon a pénétré la cuticule et est en phase d'incubation car leur propriété systémique leur permet d'atteindre leur cible. Leur rôle est d'inhiber la croissance sous-cuticulaire du champignon (MACHARDY, 1996).

- Pour finir les traitements éradiquants sont appliqués sur feuilles et fruits tavelés afin de limiter la production d'inoculum secondaire.

A l'heure actuelle, aucun produit homologué sur tavelure n'apporte une efficacité curative ou éradiquante, d'où l'importance des traitements en préventif.

Dans la lutte chimique contre la tavelure la stratégie est avant tout préventive et éventuellement en stop. Cette méthode occasionne une utilisation régulière des molécules sur les parcelles car elles ont une durée d'efficacité limitée dans le temps ; ce qui entraîne inévitablement à plus ou moins long terme le développement de résistances chez le pathogène. Ce phénomène de résistance concerne toutes les molécules avec plus ou moins de décalage dans le temps. La durée de vie d'efficacité des produits phytosanitaires dépend entre autre du mode d'action de la substance active, de la fréquence d'utilisation de la molécule sur le champignon et du stade biologique pendant lequel il y est exposé (LEROUX, 2003).

Les produits phytosanitaires uni-sites, ont comme leur nom l'indique un seul site d'action. Ces produits sont utilisés pour leur action curative et pour leur particularité à pouvoir inhiber de façon très spécifique une fonction métabolique. Cependant cette singularité de mode d'action constitue à la fois un atout et une faiblesse. En effet, la mise en place de phénomène de résistance par le champignon est facilitée lorsque le fongicide n'a qu'un seul site d'action pour cible, contrairement aux produits multi-sites.

Actuellement, le captane est la principale substance active fongicide utilisée par les producteurs contre *V. inaequalis* pour son efficacité due à sa spécificité d'action multi-site qui limite, pour l'instant, le phénomène de résistance. D'autres molécules multi-sites sont également très utilisées : le dithianon, le mancozèbe, le tirame...

L'innovation et la recherche des firmes phytopharmaceutiques, porte sur la mise au point de nouvelles solutions, utilisant de nouvelles familles chimiques au mode d'action différent. Trois d'entre elles cherchent à vendre sur le marché des fongicides tavelure leur produit à base de substances actives de la famille des SDHI. Actuellement, ces molécules sont à l'étude en vue de leur homologation. L'intérêt de l'arrivée prochaine de cette nouvelle famille SDHI en arboriculture est la proposition d'un moyen supplémentaire pour lutter contre la tavelure.

I.3. Les fongicides SDHI, de nouvelles substances actives dans la lutte contre la tavelure du pommier des vergers français?

La famille des SDHI (inhibiteurs de la succinate déshydrogénase) ou carboxamides a été découverte il y a plus de quarante ans. Son premier emploi fut la protection des semences, puis celle du riz et des cultures spécialisées. Depuis 2006, elle est utilisée contre les pathogènes des céréales.

A ce jour en France, une seule substance fongicide de la famille des SDHI est utilisée en vergers de pommiers. Il s'agit du boscalid qui, associé à la pyrachlostrobine, compose le produit commercial Bellis[®]. Ce produit vise l'oïdium du pommier ainsi que les maladies de conservation.

La spécificité de cette famille est son mode d'action qui est différent de celui des autres familles chimiques uni-sites. Cette caractéristique est une force dans la stratégie de lutte contre la tavelure mais également un point faible. En effet, la cible de ces fongicides à base de carboxamides est la chaîne respiratoire des cellules de l'agent pathogène. Ils agissent sur la succinate déshydrogénase en l'inhibant ce qui entraîne une diminution de la production d'énergie et de métabolites indispensables au fonctionnement cellulaire. Ainsi le mycélium arrête son développement. Ce mode d'action uni-site est propre aux SDHI, ce qui risque fortement d'entraîner l'apparition de résistance à plus ou moins long terme s'il est fréquemment employé (AC, 2011).

Les trois substances actives issues de la famille des SDHI testées par le CEFEL ne font pas l'objet d'homologation en France (e-phy, 2013).

La société Bayer a présenté lors de la conférence internationale sur les maladies des plantes, en décembre 2012 à Tour, sa nouvelle substance SDHI, le fluopyram (THOMAS, 2013). Ce fongicide est homologué en Suisse sur la tavelure des fruitiers à pépins et également sur d'autres maladies des cultures légumières et fruitière ainsi que ornementale (OFAG, 2013).

Le penthiopyrad issu de la recherche de la société DuPont, était destiné au marché de la protection des céréales contre les maladies foliaires pour la campagne 2012/2013 en France mais à ce jour aucune homologation n'a été établit (CARPENTIER, 2012 ; e-phy, 2013). Au Canada cette substance active fait l'objet d'une homologation depuis fin 2011 sur les cultures de canolas, de tournesols, de légumineuses et de pomme de terre (DUPONT, 2013).

L'isopyrazam est commercialisé par la société Syngenta sous différents noms dans plusieurs pays européens dont l'Irlande, le Royaume-Uni et la Belgique (cette liste est non exhaustive). Ce fongicide est homologué sur les céréales à paille (SYNGENTA, 2013).

L'une d'elle sera peut être présentée sur le marché dès 2014. Il s'agit donc de tester l'efficacité et le positionnement de ces matières actives sur la période des contaminations primaires de *V. inaequalis* par rapport à des substances de références. Ainsi, une expérimentation est mise en place au sein des vergers du CEFEL. En parallèle, un contrôle des périodes à risques d'infection de la maladie est effectué grâce à l'observation des supports de piégeage de type Marchi ainsi qu'aux données du modèle RIMpro.

II. Protocoles

II.1. Objectifs de l'étude

Deux essais ont été mis en place sur le site du CEFEL à Montauban dans le but d'apporter des réponses aux sociétés et aux producteurs sur l'efficacité des matières actives de la famille des SDHI sur la période des contaminations primaires de la tavelure du pommier positionnées avant et après la floraison. Cette demande est légitime car actuellement il n'existe pas de références pratiques sur le sujet.

En parallèle de l'étude de la lutte contre *V. inaequalis*, un suivi biologique et un suivi par modélisation sont mis en place. Leur objectif est d'avoir une meilleure connaissance des périodes de risques sur la saison.

II.2. Matériel et Méthodes

II.2.1. Le suivi biologique

Le suivi biologique consiste à installer, en extérieur sur l'exploitation du CEFEL, deux pièges sur lits de feuilles de type « Marchi » afin de suivre les périodes et l'intensité des projections des ascospores de *V. inaequalis*. Cet outil est l'un des plus fiables pour l'usage scientifique et expérimental. De plus son acquisition et son utilisation sont peu coûteuses. Le système repose sur la récupération des spores éjectées à partir d'un lit de feuilles préalablement sélectionné (GIRAUD, 2009).

II.2.1.1. Matériel végétal

Les feuilles de pommiers composant le lit, nécessaire au fonctionnement du piège, ont été sélectionnées suivant une méthode validée par le Groupe de Travail National Tavelure. La préparation consiste à récolter à l'automne, peu avant la chute complète des feuilles, 150 à 200 feuilles tavelées dans les vergers (GIRAUD, 2009).

Pour le suivi biologique de la campagne 2013, les prélèvements ont été faits sur la parcelle de Granny Smith (P 12) de l'exploitation du CEFEL durant l'automne 2012. Cette parcelle a été choisie, car elle abrite un inoculum important de *V. inaequalis*, faisant émerger la maladie chaque année. De plus, depuis plusieurs années, elle est le support d'un essai de gestion des stratégies estivales suite à la réduction d'inoculum. Il s'agit de la succession de méthodes prophylactique, par gyrobroyage, à l'automne et chimique sur les contaminations primaires au printemps. Ainsi, les arbres des parcelles témoins de cet essai sont traités avec des fongicides anti-tavelure, exclusivement au printemps. Les feuilles tavelées des modalités témoins de ce verger sont donc appropriées à la constitution du lit de piégeage, car elles n'ont pas été en contact avec des traitements fongicides pendant l'été. Suite à leur collecte, les feuilles sont stockées à l'extérieur dans un filet puis dans une caisse afin de limiter, durant l'hiver, le contact avec le sol et leur dégradation par les vers de terre. Pendant cette saison, elles vont subir les conditions climatiques extérieures nécessaires au cycle de *V. inaequalis*.

LE PIEGE MARCHI

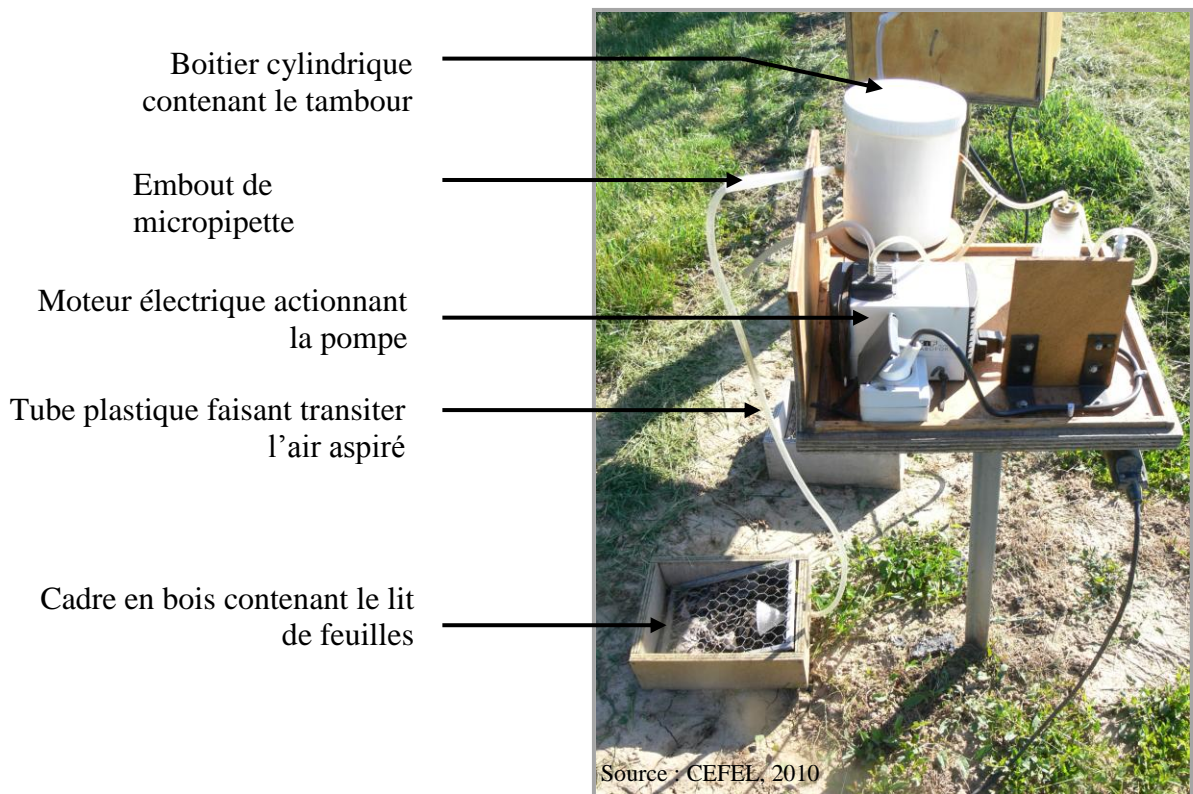


Figure 5 : Photographie des éléments composant un piège Marchi

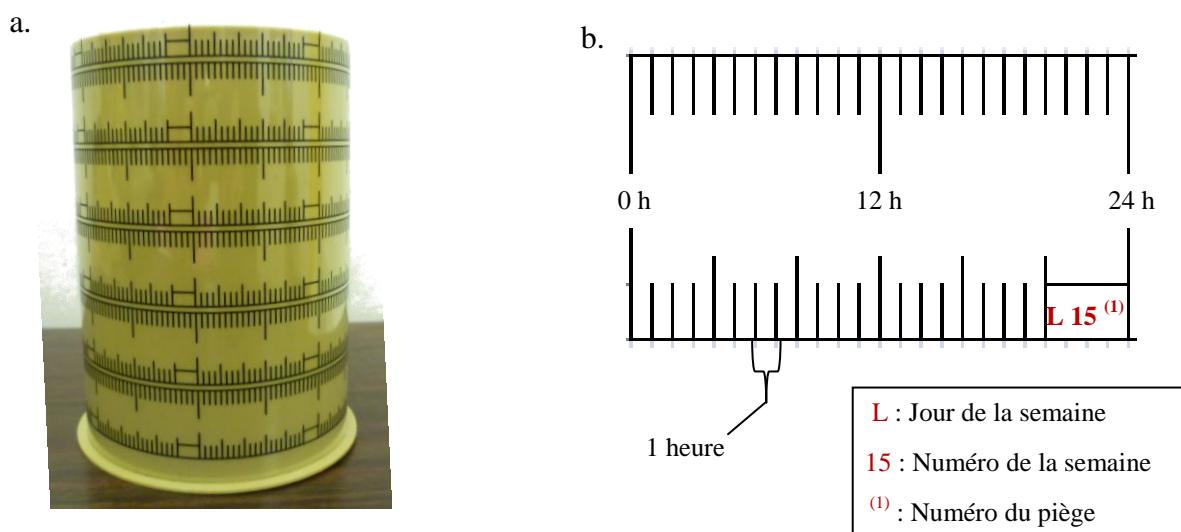


Figure 6 : Photographies du tambour portant le film plastique d'une semaine (a.) et d'une bandelette journalière support des projections (b.)

Source : Photo et élaboration personnelles, 2013

L'objectif de cette étape est d'obtenir un processus de maturation des périthèces du champignon proche de celui réalisé naturellement au verger (GIRAUD, 2009).

Le CEFEL suit et vérifie l'état d'avancement de la maturité des périthèces du stock de feuilles en prélevant un échantillon pour l'observer au microscope. Le stade 7, qui correspond à la maturité des périthèces par la présence d'ascospores mûres et projetables, a été observé cette année le 4 mars (BSV, 2013) soit peu de temps avant le début du stade B (Annexe I), gonflement des bourgeons de la variété Gala. Les feuilles stockées pendant l'hiver sont réparties, à cette date, dans les cadres en bois, constituant un des éléments du piège « Marchi ».

II.2.1.2. Principe du piège « Marchi »

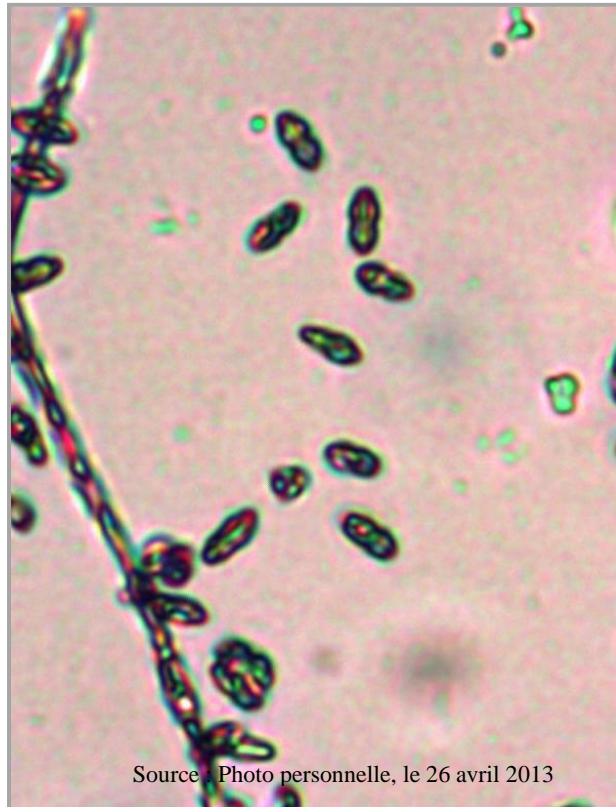
Les deux pièges installés sur le site du CEFEL, sont de fabrication « maison » basé sur un modèle de Bernard LONGPRE et sur des données du Groupe de Travail National Tavelure. Un piège est composé de trois éléments principaux : un cadre en bois retenant le lit de feuilles, un aspirateur et un tambour recueillant les spores éjectées (Figure 5).

Le lit de feuilles est contenu dans un cadre de dimension 20 x 30 cm, dont l'armature est en bois et deux de ses faces opposées en grillage. Ce dernier permet de limiter la dégradation des feuilles par la macrofaune du sol (lombrics, limaces...) et de les retenir en cas de coups de vent sans entraver les autres conditions climatiques. Les feuilles sont placées de façon à ce que leur face inférieure soit dirigée vers le sol, présentant ainsi les périthèces sur le dessus du lit de feuilles, ceux-ci se trouvant majoritairement sur la face supérieure des feuilles. Un entonnoir est placé au dessus du lit de feuilles. Il se prolonge par un tube plastique se finissant par un embout de micropipette inséré dans un boîtier cylindrique. Ce dernier abrite un tambour sur lequel est disposé un film plastique transparent gradué sur sept jours, chacune des heures étant indiquées par un trait (Figure 6.a.). Le système est entraîné par un mécanisme d'horlogerie alimenté par une pile, effectuant un tour en une semaine. Un moteur électrique actionne un système de pompe qui permet d'aspirer l'air au niveau de la surface de la litière et de le projeter sur le film. La face du film exposée aux projections est rugueuse ; une particularité nécessaire pour retenir les particules et notamment les spores.

Ainsi les ascospores éjectées des périthèces, suite à un épisode pluvieux, se trouvent aspirées dans l'entonnoir et véhiculées par le tuyau jusqu'à l'embout débouchant sur le film plastique du tambour. L'échelle de temps imprimée sur le film nous permet ainsi de connaître précisément la date et l'heure à laquelle a eu lieu la projection.

Pour le suivi biologique de cette année, sur les deux pièges mis en place, un des lits de feuilles a été surélevé du sol par un parpaing, afin de ralentir la dégradation des feuilles.

Par rapport de l'exploitation des résultats du suivi biologique, le choix du lit de feuilles directement en contact avec le sol (n°2), s'explique par le fait que le support végétal était placé dans les mêmes conditions que dans les vergers. Sa dégradation a été plus rapide que celui qui était sur le parpaing (n°1). Ainsi la projection des spores s'est poursuivie plus longtemps dans la saison due à une absence de dégradation du support végétal, toujours présent, dans le piège n°1 surélevé. Cette situation a permis de simuler une situation qui se passe dans les vergers quand les filets paragrêles ont encore des feuilles coincées dans leurs



Source : Photo personnelle, le 26 avril 2013

Figure 7 : Photographie de spores de *Venturia inaequalis* observées au microscope optique au grossissement x 200 d'une bande de projection issue du piège Marchi.

mailles ou dans leurs entrelacements, ce qui peut constituer une source d'inoculum de tavelure et expliquer la présence de symptômes au verger malgré une couverture chimique bien maîtrisée.

II.2.1.3. Observation des spores

Les bandes de projection sont observées au laboratoire du CEFEL sous microscope optique.

La pluie et/ou une forte hygrométrie sont les conditions à l'origine des projections d'ascospores hors des périthèces de *V. inaequalis*. Ainsi à chacun de ces événements climatiques, le film plastique est relevé et changé. Il est ensuite découpé dans le film la bandelette qui correspond au jour qui nous intéresse pour observer la potentielle projection d'ascospores. La bandelette est légendée avec le jour, la semaine lui correspondant ainsi que le numéro de piège (Figure 6.b.). Ensuite, la bandelette est placée sur la platine du microscope, à l'objectif le mieux adapté x 100 ou x 200, afin d'être observée et de dénombrer les spores de *V. inaequalis* présentes (Figure 7).

Les spores de *Venturia inaequalis* ont une taille d'environ 25 µm et sont bicellulaires, particularité qui permet de correctement les identifier.

Le nombre de spores est enregistré dans un tableau retraçant toutes les projections d'ascospores qui ont eu lieu au cours de la saison. A la fin de la période des contaminations primaires, lorsque la litière est complètement dégradée et qu'elle ne contient plus de spores, le nombre d'ascospores correspondant à chaque date est converti en pourcentage d'inoculum projeté. Ainsi il est possible de se rendre compte à quels moments les projections de *V. inaequalis* ont été les plus importantes et aussi comparer les données à celles acquises en modélisation par le logiciel RIMpro.

II.2.2. La modélisation du risque d'infection de la tavelure par le logiciel RIMpro

Le logiciel RIMpro est le modèle tavelure considéré comme le plus fiable et utilisé comme référence au niveau européen pour la gestion de la tavelure en vergers de pommier. Il a été créé en 1993 par le hollandais Marc TRAPMAN et depuis sa création il est en constante évolution.

RIMpro nécessite l'utilisation d'une station météorologique automatique telle que la station CIMEL installée sur le site du CEFEL. Elle se compose de capteurs de température, d'humidité relative, d'un anémomètre et d'un pluviomètre. Le logiciel d'acquisition CimSta permet de visualiser et d'exporter les données collectées (températures, précipitations, humidités relatives, durées d'humectation) par la station météorologique. Une interface appropriée permet au logiciel RIMpro de lire les données climatiques acquises dans une base de données qui lui est interne. L'exportation des données climatiques journalières permet au logiciel RIMpro d'effectuer des simulations d'infection par *V. inaequalis*. Depuis 2005, la version du logiciel RIMpro prend en compte, l'effet de la lumière sur les projections d'ascospores qui seraient principalement projetées la journée, l'effet de la température et de

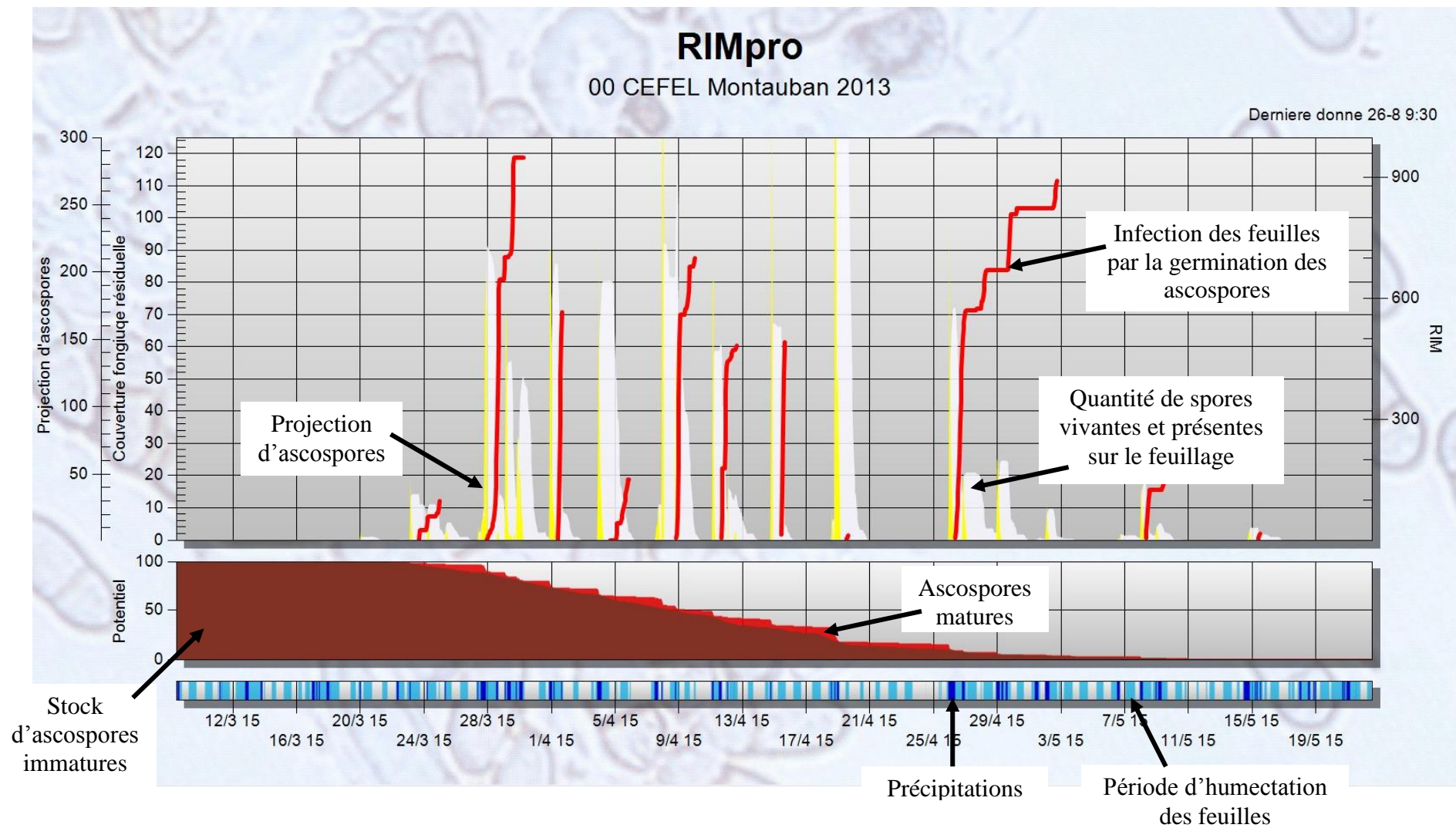


Figure 8 : Représentation des informations fournies par le logiciel RIMpro sur la saison des contaminations primaires en 2013

l'humectation sur la proportion de spores projetées, le blocage de la maturation des spores lors des périodes sèches, la dégradation des feuilles au sol, les paramètres agissant sur la survie des ascospores et des conidies pendant leur germination, et enfin les nouvelles courbes d'infection par les ascospores (GIRAUD et TRAPMAN, 2006).

Le logiciel débute sa simulation avec un stock initial théorique de 10 000 ascospores à partir du biofix. Ce paramètre correspond à la date de projection de la 1^{ère} spore. Grâce aux informations paramétrées dans le modèle, RIMpro estime en fonction des données climatiques de la station météo du CEFEL, le nombre de spores projetées, le nombre de spores qui continuent leur processus de maturation et le stock de spores immatures de *V. inaequalis*. À partir du traitement de ces données par le logiciel, en tenant compte de l'intensité de la projection et des données climatiques, les valeurs du RIM (Relative Infection Measure) sont calculées et permettent de déterminer l'importance du risque d'infection. En effet, le RIM représente le nombre d'ascospores qui ont germé et pénétré sous la cuticule, entraînant une infection. Son importance est quantifiée par les valeurs suivantes du RIM :

- si le RIM est compris entre 1 et 100, l'infection est considérée comme légère.
- si le RIM est compris entre 100 et 300, l'infection est considérée comme moyenne.
- si le RIM est supérieur à 300, l'infection est considérée comme grave.

Au CEFEL, la première projection d'ascospores a été observée le 6 mars 2013. À cette date, le stade végétatif de la culture était en fin bouton d'hiver (stade A). Le stade sensible du végétal n'ayant pas été atteint à cette date, le biofix du modèle RIMpro a été décalé au 20 mars, début du stade B pour la variété la plus précoce au CEFEL et date à laquelle une projection importante d'ascospores de *V. inaequalis* a été observée.

Chaque matin, du 20/03/2013 au 15/06/2013, une interrogation de la station météorologique est effectuée puis les données climatiques sont intégrées au modèle. Le résultat apparaît sous la forme de tableau prévisionnel et de graphique (Figure 8).

II.2.3. Essais d'efficacité produits

Le CEFEL mène, dans le cadre de l'évaluation de produits, des essais demandés par les professionnels de la filière. C'est le cas des deux essais qui sont présentés dans ce rapport, il s'agit d'apporter une réponse aux techniciens et à leurs producteurs sur l'efficacité de nouveaux produits SDHI qui sont amenés, à court terme, à être présents sur le marché des fongicides tavelure.

Les produits SDHI vont être comparés entre eux et à d'autres fongicides de contact, afin de connaître leur potentiel les uns par rapport aux autres. La différence entre les deux essais est la période d'application : en pré-floraison (Essai 1) et en post-floraison (Essai 2). Dans la stratégie de lutte chimique contre les contaminations primaires de *V. inaequalis*, certains produits sont plutôt utilisés en pré-floraison et d'autres en post-floraison. Ainsi les deux essais en place, couvrent toute la durée des contaminations primaires : l'un se positionnant avant la floraison (du stade C-C₃ à G) et l'autre après cette phase charnière (du stade F₂-G à J 20mm). Leur comparaison permettra d'observer s'il existe une différence d'efficacité des produits suivant leur positionnement dans la stratégie et de voir où les substances SDHI se comportent le mieux.

Les deux protocoles expérimentaux élaborés par le CEFEL reposent sur la méthode CEB n°14 révision 1999. La Commission des Essais Biologiques (CEB) de l'Association Française de Protection des Plantes établie des protocoles expérimentaux correspondant à une méthode recommandées pour étudier les propriétés d'une préparation, indispensable à la constitution d'un dossier biologique d'homologation. Cette commission est composée de spécialistes du Ministère de l'Agriculture (INRA, SRAL), de l'Industrie des Produits Phytopharmaceutiques (IPP) et des Organismes professionnels de l'Agriculture.

La méthode CEB n°14 est une méthode d'essai d'efficacité pratique de fongicides destinés à combattre les tavelures du poirier et du pommier. Les protocoles émis sur cette méthode ont donc pour objet l'étude de l'efficacité au champ des préparations fongicides destinées à lutter contre *Venturia inaequalis*. Trois types d'études peuvent contribuer à l'évaluation complète de l'efficacité pratique d'un produit fongicide. Une première étude sur l'activité du fongicide permet de juger de l'efficacité d'un fongicide utilisé seul sur la tavelure du pommier. La seconde étude porte sur la sélectivité du produit vis-à-vis de la culture. Il est mesuré uniquement les effets de la substance ou de la préparation utilisée seule sur la plante cultivée. La troisième consiste à étudier la valeur pratique de l'activité anti-fongique, c'est-à-dire de préciser les modalités d'utilisation du fongicide dans le cadre d'une protection globale de culture (AFPP, 1999).

Dans ce mémoire, il s'agit d'études d'évaluation de l'efficacité de produits SDHI comparés à d'autres fongicides, en vue d'une intégration de ces produits dans la stratégie de lutte contre les contaminations primaires de *V. inaequalis*.

II.2.3.1. Matériel végétal

Les essais sont mis en place dans un verger de pommiers Gala Brookfield, variété sensible à la tavelure, greffée sur M9 NAKB, sur la parcelle P 16 du CEFEL (Annexe III), dont le sol est limono sablo argileux. Ce verger a été choisi car la culture est fructifère et uniforme, comme le demande la méthode CEB.

Le verger a été implanté en 1998, c'est un verger en 16^{ème} feuille. Les distances de plantation sont de 4,5 mètres entre rangs et de 1,10 mètre sur le rang, soit 2 020 arbres par hectare. Les arbres sont conduits en axe. Le verger est mené en agriculture raisonnée. Il est protégé par la confusion sexuelle GINKO[®] contre le carpocapse des pommes, et recouvert d'un filet paragrêle.

L'irrigation est en micro-aspersion sous frondaison déclenchée automatiquement grâce à un programme d'irrigation établi en fonction des besoins de la culture et des conditions climatiques. Ce système d'irrigation est moins propice aux contaminations secondaires de tavelure en été.

Ce verger est protégé classiquement contre l'ensemble des maladies et ravageurs du pommier. En ce qui concerne la tavelure, les arbres sont protégés chimiquement jusqu'à la date de démarrage de chacun des deux essais. Le calendrier de traitement des deux essais figure en Annexe IV. Cette protection permet de commencer l'expérimentation sur un végétal sain, ou du moins, avec des parcelles élémentaires ayant un même passé chimique avant le

Tableau II : Tableau récapitulatif des modalités de l'**essai 1** évaluant l'efficacité de produits fongicides contre la tavelure du pommier en **pré-floraison**

Modalité de l'essai	Produit	Substance active	Dose/ha	Dose par parcelle élémentaire (19,8 m ²)		Stade et Cadence
				Produit	Eau	
M1	Témoin non traité	-	-	-	-	-
M2	Sigma DG	Captane	1,8 kg	3,56 g	1,98 l	Positionnement de 4 à 6 interventions tous les 7 jours à partir du stade C-C3 et jusqu'à la floraison
M3	Chorus	Cyprodinyl	0,45 kg	0,89 g	1,98 l	
M4	Score	Difénoconazole	0,15 L	0,3 ml	1,98 l	
M5	Produit B	Fluopyram + tebuconazole	0,75 L	1,485 ml	1,98 l	
M6	Produit D	Penthiopyrad	0,75L	1,485 ml	1,98 l	
M7	Dithane Neotec	Mancozèbe	2 kg	3,96 g	1,98 l	
M8	Produit S	Isopyrazam + Difénoconazole	1 L	1,98 ml	1,98 l	

Tableau III : Tableau récapitulatif des modalités de l'**essai 2** évaluant l'efficacité de produits fongicides contre la tavelure du pommier en **post-floraison**

Modalité de l'essai	Produit	Substance active	Dose/ha	Dose par parcelle élémentaire (19,8 m ²)		Stade et Cadence
				Produit	Eau	
M9	Sigma DG	Captane	1,8 kg	3,56 g	1,98 l	-
M10	Brocélian	Trifloxystrobine + Captane	1,87 kg	3,7 g	1,98 l	Positionnement de 4 à 6 interventions tous les 7 jours à partir du stade F2
M11	Score	Difénoconazole	0,15 L	0,3 ml	1,98 l	
M12	Produit B	Fluopyram + tebuconazole	0,75 L	1,485 ml	1,98 l	
M13	Produit D	Penthiopyrad	0,75L	1,485 ml	1,98 l	
M14	Témoin non traité	-	-	-	-	
M15	Produit S	Isopyrazam + Difénoconazole	1 L	1,98 ml	1,98 l	

début des essais. Les parcelles témoins imbriquées dans les essais ont donc été traitées au même titre que les autres avant le début des expérimentations. Les traitements fongicides de protection contre la tavelure qui sont réalisés sur l'ensemble du domaine ont repris sur les deux essais à la fin de chacun d'eux. Ces traitements faisant suite à ceux des essais ont pour but de contenir la maladie sur les parcelles témoins et les modalités où les produits auraient lâché.

II.2.3.2. Matériel technique

Les traitements réalisés en champs sont appliqués à l'aide d'un atomiseur à dos de marque Stihl. Il s'agit de matériel adapté à l'expérimentation et aux traitements de petites surfaces.

Les conditions météorologiques sous lesquelles les applications sont réalisées, sont enregistrées grâce à la station météo du CEFEL. Ces données ont une importance lors de l'interprétation des résultats car elles permettent de mettre en parallèle les dates de traitements et les dates d'évènements contaminants.

II.2.3.3. Dispositifs expérimentaux

II.2.3.3.1. Les modalités (Tableau II et III)

L'essai 1 en pré-floraison est composé de huit modalités et l'essai 2 en post-floraison compte sept modalités.

Sur les deux essais, les modalités sont similaires ; seuls les produits de référence employés sur l'une ou l'autre des périodes diffèrent.

Un témoin non traité sur l'ensemble de la saison (**TNT**) a été suivi. Les quatre parcelles élémentaires qui le constituent ont été disposées à proximité des deux essais évaluant les produits à base de SDHI. Ce témoin est exclu du dispositif et sert à noter la présence de tavelure, l'importance de l'attaque, sa répartition et son évolution globalement sur toute la saison. Les résultats obtenus serviront à constater la pression dans le verger mais n'entreront en aucun cas dans l'analyse statistique des notations faites sur les essais. Les analyses statistiques s'appuieront sur le témoin inclus dans chacun des essais et non traité sur la période de l'essai.

Les modalités **M1** et **M14** correspondent aux témoins non traités sur la durée respectivement de l'**essai 1** et de l'**essai 2**. Ces parcelles servent à noter la présence de tavelure, l'importance de l'attaque, sa répartition et son évolution. Les arbres inclus dans ces modalités ne recevront donc aucun traitement pouvant avoir une action sur la maladie pendant l'essai.

Pour l'essai 1 en pré-floraison, différents produits de référence sont utilisés. Tout d'abord le Sigma DG (**M2**), avec la matière active captane qui est la référence CEB. Sont

également positionnés dans l'essai le Dithane Neotec (**M7**) contenant du mancozèbe, produit de référence utilisé en vergers avant fleur ainsi que le Chorus (**M3**) et le Score (**M4**), respectivement de la famille des Anilinyrimidines et des IBS. Ces deux derniers sont des produits uni-sites couramment utilisés mais qui peuvent parfois présenter des pertes d'efficacité (phénomènes de résistance).

Pour l'essai 2 en post-floraison, le Sigma DG (**M9**) figure de nouveau en tant que référence CEB. Le Score (**M11**) composé de la substance active difénoconazole est également positionné sur cette période. Le Brocélian (**M10**) est l'association de deux substances actives la trifloxystrobine et le captane. Ce produit est aussi expérimenté afin d'obtenir des références sur l'efficacité de cette spécialité commerciale utilisée après fleur pour son action sur tavelure et oïdium.

Les produits à base de molécules de la famille des SDHI n'étant pas encore homologués en arboriculture, ceux-ci ne portent pas de noms commerciaux mais les substances actives les composants sont connues.

Les modalités **M5** et **M12** qui correspondent à des applications du produit B pour les **essais 1** et **2** font parties des modalités aux substances actives de la famille des SDHI. Pour ce produit il s'agit d'une association de deux molécules à action uni-site : une molécule de la famille des SDHI, le fluopyram et une de la famille des IBS, le tébuconazole.

Le produit D appliqué sur les microparcelles des modalités **M6** de l'**essai 1** et **M13** de l'**essai 2** est élaboré avec une seule molécule de la famille des SDHI : le penthiopyrad.

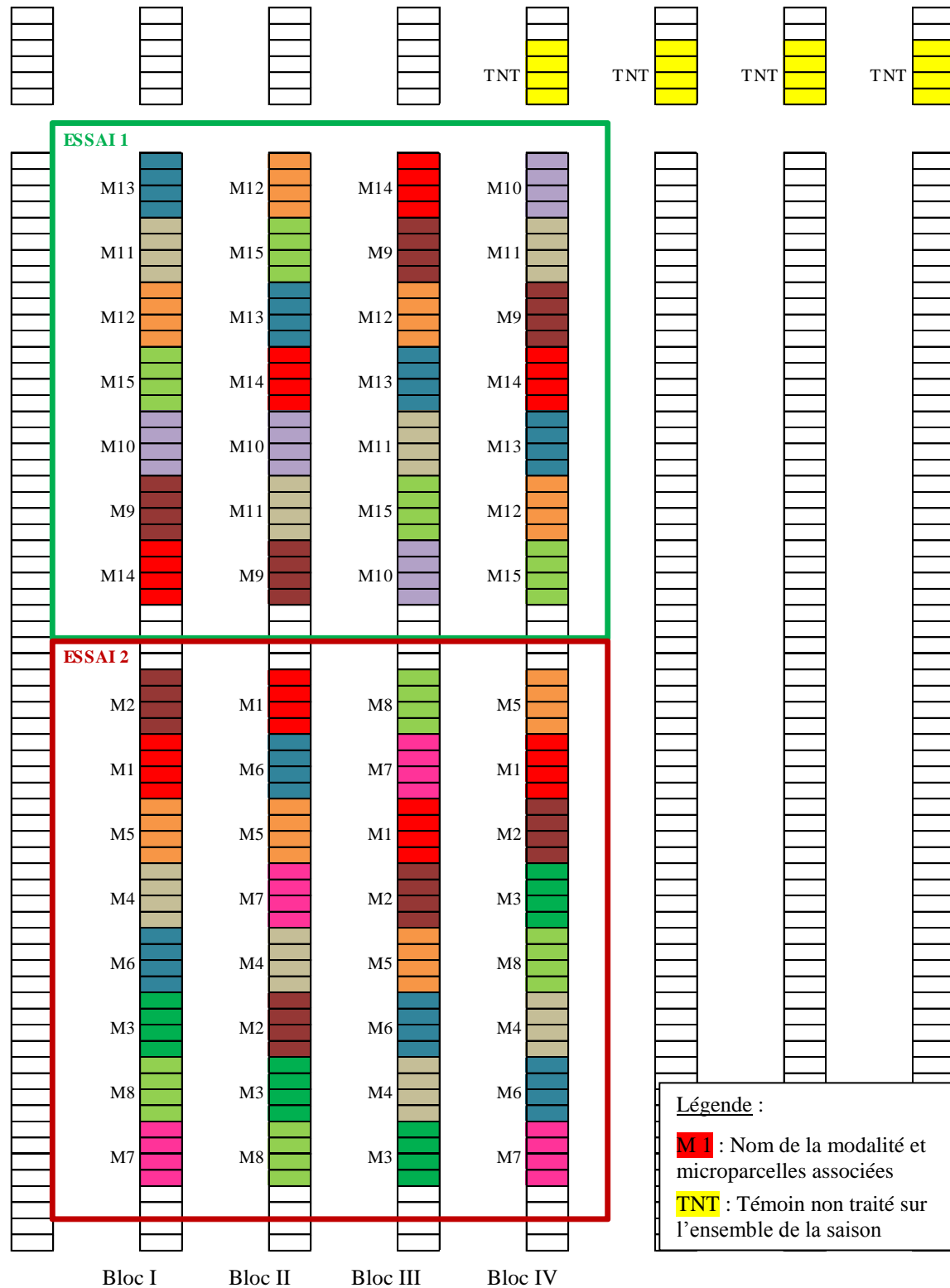
Enfin, les modalités **M8** et **M15** des **essais 1** et **2** correspondent au produit S qui est l'association d'une matière active SDHI, l'isopyrazam et d'un IBS, le difénoconazole.

Les fruits des modalités à base de SDHI : M5, M6, M8, M12, M13 et M15 seront détruits à la récolte, car ils ne sont pas actuellement homologués sur pomme. Ces fruits ne sont donc pas commercialisables.

- Dates d'applications :

➡ Essai 1 en pré-floraison

La première application de traitements prévue au stade C-C₃ est effectuée le 25 mars, date correspondant à ce stade de développement. S'agissant d'un essai à cadence sept jours, les applications suivantes se succèdent dans le temps à partir de cette première date de pulvérisation. Les différents traitements ont donc été appliqués par la suite les 3, 9, 15, 22 et 29 avril. Soit au total six interventions pour couvrir la période de début du développement végétatif jusqu'à la chute des premiers pétales (stade G).



← Moissac

Route D927

Montauban →

Figure 9 : Plans des essais efficacité sur la parcelle 16 du CEFEL

➤ Essai 2 en post-floraison

Le premier traitement de cet essai est appliqué au stade F₂ qui correspond à la pleine floraison, en date du 18 avril. Les traitements qui suivent ont une cadence de sept jours à partir de cette date jusqu'au grossissement des fruits atteignant 20 mm (J 20 mm). Ainsi les interventions ont été faites le 25 avril, les 2, 7, 16 et 23 mai.

Certaines interventions ont un décalage d'applications d'un à plusieurs jours dû aux conditions météorologiques ne permettant pas de traiter, au risque de voir le produit lessivé.

II.2.3.3.2. Mise en place des essais (Figure 9)

Les deux essais ont le même dispositif expérimental. Chacun des essais est disposé en 4 blocs randomisés permettant d'étudier un facteur : le traitement fongicide. Chaque bloc comporte une parcelle élémentaire de 4 arbres, soit 19,8 m², pour chaque modalité. Ainsi chaque modalité est constituée de 4 parcelles élémentaires réparties aléatoirement dans l'essai.

II.2.3.4. Mesures et notations

Les notations et les observations réalisées au champ sur les deux essais sont les mêmes. Elles concernent l'observation de dégâts de tavelure sur feuilles et fruits, ainsi que la présence éventuelle de phytotoxicité sur les modalités testées.

Les comptages des dégâts sur les feuilles des pommiers sont réalisés au minimum 180° jour en base 0 après les premières projections de spores déterminées par le suivi biologique. Cette base de temps correspond à la durée d'incubation nécessaire à l'observation des tâches symptomatiques de la tavelure, soit trois semaines.

Les notations sont effectuées sur les deux arbres centraux de chaque microparcelle afin d'éviter les effets de bordure (lieu potentiel de croisement de traitements de chacune des modalités cote à cote). Le comptage consiste à dénombrer sur 100 pousses par parcelle élémentaire, soit 400 par modalité, celles présentant au moins une feuille avec des symptômes de tavelure. Ainsi une pousse est notée et est considérée comme touchée par la tavelure dès qu'elle porte une feuille tavelée. Grâce à ces notations, le niveau d'attaque sur pousses dans les témoins et les modalités est connu.

La dernière notation de chaque essai est faite sur les feuilles et les fruits. La notation sur fruits consiste à observer 100 fruits par modalité, soit 25 par microparcelle, et de compter ceux présentant des symptômes de tavelure. La grille de notation de la méthode CEB n°14 impose de classer les fruits selon la présence de symptômes de tavelure. Les fruits indemnes de taches sont dans la classe 0. La classe 1 correspond aux fruits qui présentent une à trois taches tandis que la classe 2 comporte ceux exprimant plus de trois taches.

Dans l'analyse de résultats de la notation sur fruits, les classes 1 et 2 sont rassemblées, donnant un pourcentage total de fruits attaqués par modalité. Ce choix est fait, partant du principe que tout fruit tavelé est non commercialisable et que par conséquent le produit n'a pas répondu à notre attente d'un fruit sain.

Enfin, des observations sur la phytotoxicité éventuelle des produits sont réalisées trois jours et sept jours après l'application du premier traitement de chaque modalité. De plus ces observations sont complétées durant les notations du feuillage.

- Analyse statistique

Pour chaque notation et observation qui ont permis de collecter des données, des statistiques sont réalisées afin de déterminer s'il existe des différences significatives entre modalités et ainsi de mettre en évidence les différences potentielles d'efficacité entre les produits testés. Les données seront analysées grâce au logiciel d'analyse et de traitement statistique : STATBOX. Dans un premier temps, les données sont traitées par une analyse de variance (ANOVA). L'application de cette analyse demande de respecter certains postulats : indépendance des échantillons, égalité des variances (homoscédasticité) et normalité des résidus. S'ils sont vérifiés, l'analyse est suivie d'un test de Newman-Keuls pour comparer les préparations entre elles. Ce test de comparaison de moyennes permet de constituer des groupes homogènes de traitements ; ceux appartenant à un même groupe sont considérés comme non différents au risque de 1^{ère} espèce choisi, 5 %. Dans le cas où ces trois conditions d'applications ne seraient pas respectées, des tests non paramétriques sont faits pour poursuivre l'analyse statistique.

Le test de Kruskal Wallis est le premier appliqué aux données. Il permet de déterminer s'il existe une différence dans l'ensemble des modalités présentées, sans indiquer où elle se fait. Afin de déterminer la différence existante, un test non paramétrique deux à deux de type Man-Whitney est réalisé. Ce dernier permet de comparer deux échantillons entre eux et de dire s'ils sont différents. Ce test est répété pour l'ensemble des combinaisons possibles deux à deux.

La validation de toute hypothèse nulle, lors d'une analyse statistique, repose sur le risque de première espèce de 5 %. Si la probabilité du test effectué est inférieure au risque alors l'hypothèse de départ est rejetée.

Moins puissants que l'ANOVA ces tests permettent toutefois d'examiner les résultats afin de pouvoir les interpréter et de tirer des conclusions sur les essais effectués.

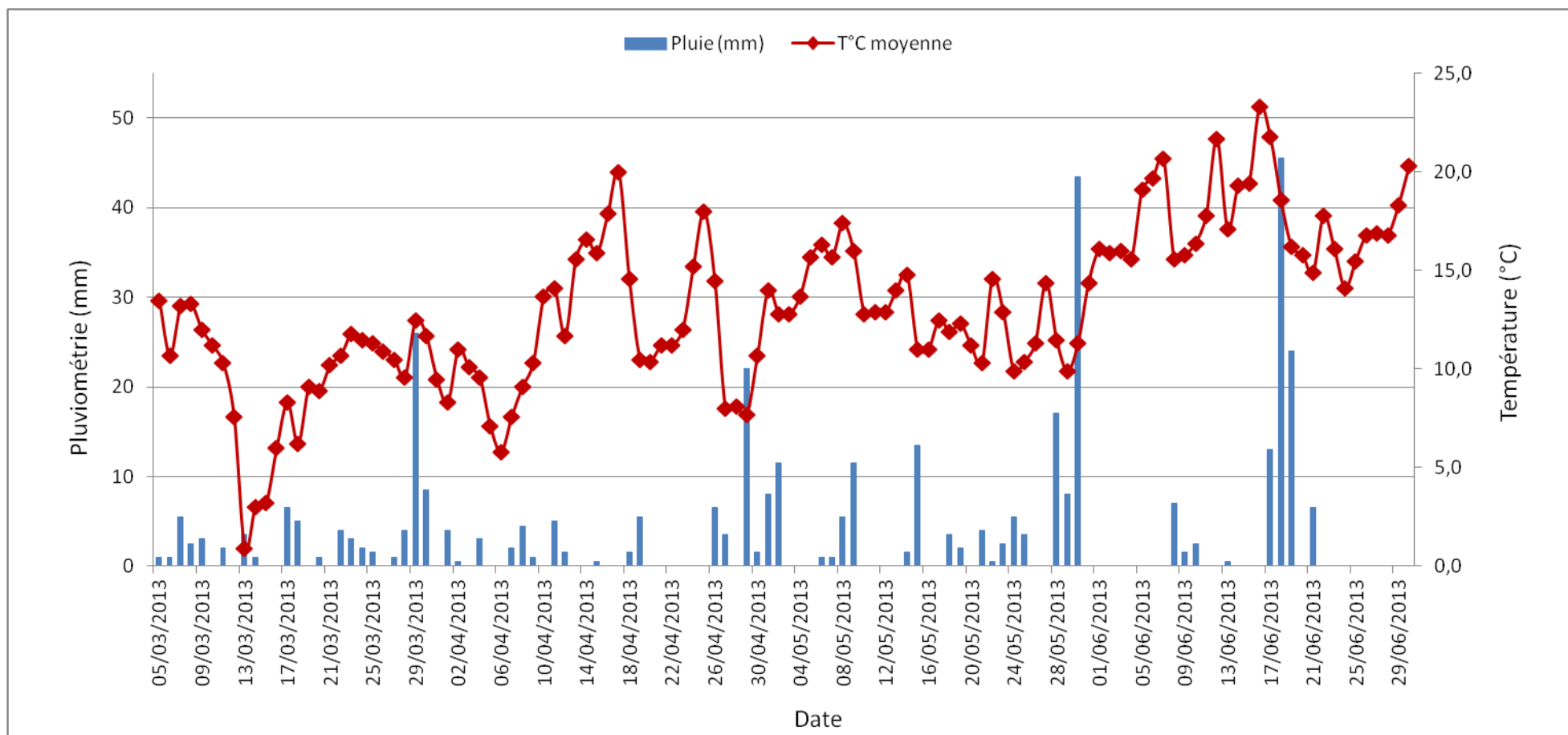


Figure 10 : Graphique des conditions climatiques durant les essais de la campagne 2013

III. Résultats

III.1. Suivi biologique et modélisation

Le suivi biologique est réalisé avec deux pièges Marchi. Les projections primaires de *V. inaequalis* ont commencé le 5 mars 2013. Pour l'analyse et l'interprétation des résultats seul le piège n°2 sera utilisé car c'est celui qui correspond le mieux aux conditions de dégradation en vergers, c'est donc celui-ci qui nous sert de référence pour les périodes de projections.

Les différentes projections se sont donc produites entre le 5 mars et le 31 mai 2013. Les conditions climatiques sont à mettre en relation avec les résultats du suivi biologique et ceux de la modélisation (Annexe IV).

L'année 2013, d'un point de vue climatique (Figure 10), s'est caractérisée par un hiver froid. D'après les relevés journaliers de la station météorologique CIMEL, la saison de la tavelure a débuté par un mois de mars pluvieux avec un cumul de précipitation de 82 mm et une température moyenne de 9,5 °C. Malgré ces températures fraîches, peu propices aux projections, il est relevé par le suivi biologique un volume élevé d'ascospores projetées de 42,58 %. Un peu moins de la moitié du stock total d'ascospores a été projetée en ce mois de mars. Le logiciel RIMpro a, quant à lui, modélisé un pourcentage d'ascospores projetées de 22,75 % soit près de la moitié de celui indiqué par le suivi biologique.

Avril est le mois qui a enregistré le plus de projections d'ascospores soit un pourcentage de 46,70 % pour le suivi biologique et de 73,61 % pour la modélisation. Ces proportions importantes s'expliquent par un cumul de pluies conséquent de 62,5 mm pour une température moyenne de 11,8 °C, plus élevée que le mois précédent.

Pour finir, au mois de mai, malgré une pluie de 143,5 mm, seul 10,71 % de spores ont été projetées selon le suivi biologique contre 3,64 % pour RIMpro. Cette diminution s'explique par un faible inoculum restant au vu du volume de spores déjà projetées et de l'état de dégradation du lit de feuilles.

Ainsi, le volume maximal de spores projetées enregistré par le suivi biologique et RIMpro en 2013 concerne le mois d'avril. Ces données sont essentielles pour se rendre compte de l'inoculum potentiellement infectieux présent dans les vergers.

Le suivi biologique a permis de suivre les projections de *V. inaequalis* sur les contaminations primaires du 5 mars au 31 mai.

D'après le graphique de la figure 11, on peut remarquer que les projections d'ascospores se concentrent sur la fin du mois de mars et sur tout le mois d'avril.

La projection la plus importante relevée par le piège Marchi est en date du 29 mars avec un RIM associé de 710 qui correspond à un risque d'infection grave. Ce risque est accru à la date suivante, du 30 mars, par une nouvelle pluie de 8,5 mm et une nouvelle projection d'ascospores donnant un RIM de 1162. Cette période de risque correspond au début de l'essai 1. Ainsi, le fort pic de projection et la grande quantité d'eau interviennent entre deux traitements (du 25 mars et du 3 avril). Au 3 avril, date de la deuxième application des traitements, le RIM est de 618 soit un risque d'infection grave. Les pluies qui suivent ont un cumul inférieur à 20 mm jusqu'au traitement suivant du 9 avril. À cette dernière date le RIM

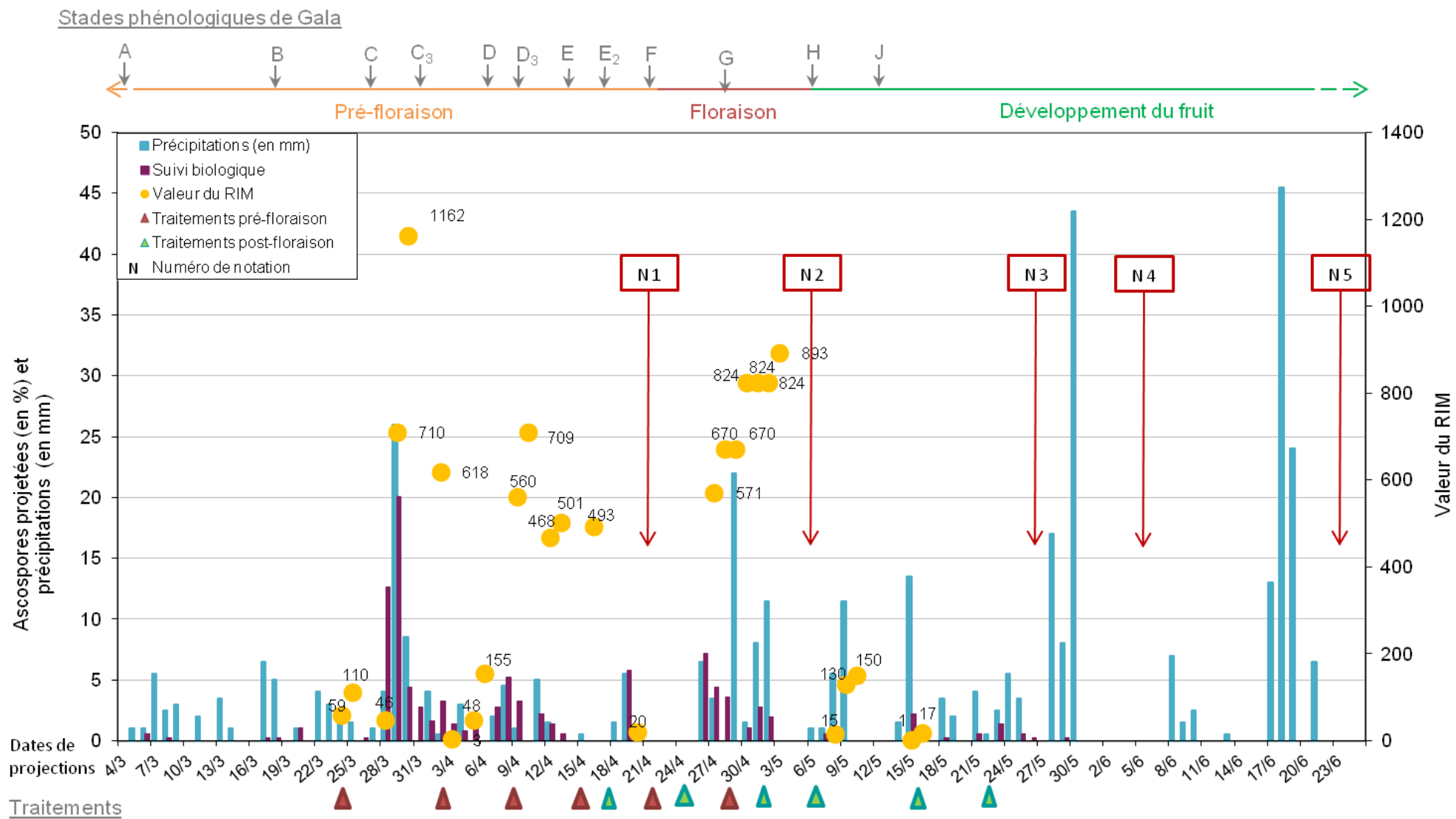


Figure 11 : Graphique récapitulatif des conditions d'interventions faites sur les essais : dates de traitement et de notations

associé aux projections est de 560 et le jour suivant de 709, qui s'interprète comme une situation à risque grave. Le positionnement est tombé correctement avant la période à risque et a protégé la végétation jusqu'au 15 avril. Il est de même pour le traitement du 22 avril. Sur la fin de l'essai 1, une longue période à risque est signalée par le logiciel RIMpro, en plus des précipitations enregistrées. Le dernier traitement (29 avril) a eu lieu avant une précipitation de plus de 20 mm.

Pour l'essai 2 la période à risque de contamination par les ascospores correspond aux dates du 27 avril au 4 mai. Sur cette durée, un cumul de précipitations supérieur à 20 mm est tombé, conditionnant une projection de spores relevée par le suivi biologique (plus de 15 % d'ascospores projetées) et un risque d'infection grave. Elle est située entre la deuxième et la troisième application de l'essai 2. Le traitement du 2 mai est positionné avant une pluie de 11,5 mm, conditions ayant conduit à un risque considéré comme grave (RIM : 824). Sur la fin de l'essai les projections s'atténuent et les RIM indiqués annoncent un risque d'infection faible à moyen.

III.2. Essais efficacité

Les résultats obtenus, suite aux notations réalisées sur les essais, sont présentées dans deux parties distinctes, une pour chaque essai. Le graphique de la figure 11 résume les différentes interventions réalisées sur les essais ainsi que la pluviométrie (condition indispensable à la projection d'ascospores), le suivi biologique et les RIM associés. Les notations sont notées N. Celle du 22 avril est la première (N1) sur l'essai 1, suivent dans l'ordre la notation N2 du 6 mai, N3 (27 mai), N4 (6 juin) et N5 (24 juin). Les dates de notation étant les mêmes dans les deux essais, ce codage est celui respecté dans l'essai 2 de post-floraison à l'exception de N1 qui n'a pas été faite.

L'ensemble des notations effectuées ont fait l'objet d'une analyse statistique à l'aide du logiciel Statbox. L'ANOVA est celle pratiquée en premier lieu mais si ses postulats ne sont pas respectés, les tests non paramétriques prennent la suite, Kruskal Wallis et Man-Whitney. Pour toutes les analyses réalisées, le risque de première espèce permettant d'accepter ou de refuser une hypothèse est fixé à 5%.

Dans ce mémoire, il est fait le choix de présenter l'ensemble des résultats et plus particulièrement la dernière notation du 24 juin pour les deux essais. Celle-ci est réalisée sur les pousses et les fruits de chaque modalité. Elle est mise en avant car c'est celle qui fait un état des lieux de la situation à la fin de chacun des essais.

De plus, pour chacun des graphiques présentés, il y figure le témoin non traité sur la saison (TNT) afin de constater la pression de la maladie sur la parcelle. Cependant il n'entre pas en compte lors des analyses statistiques.



Figure 12: Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 22 avril 2013

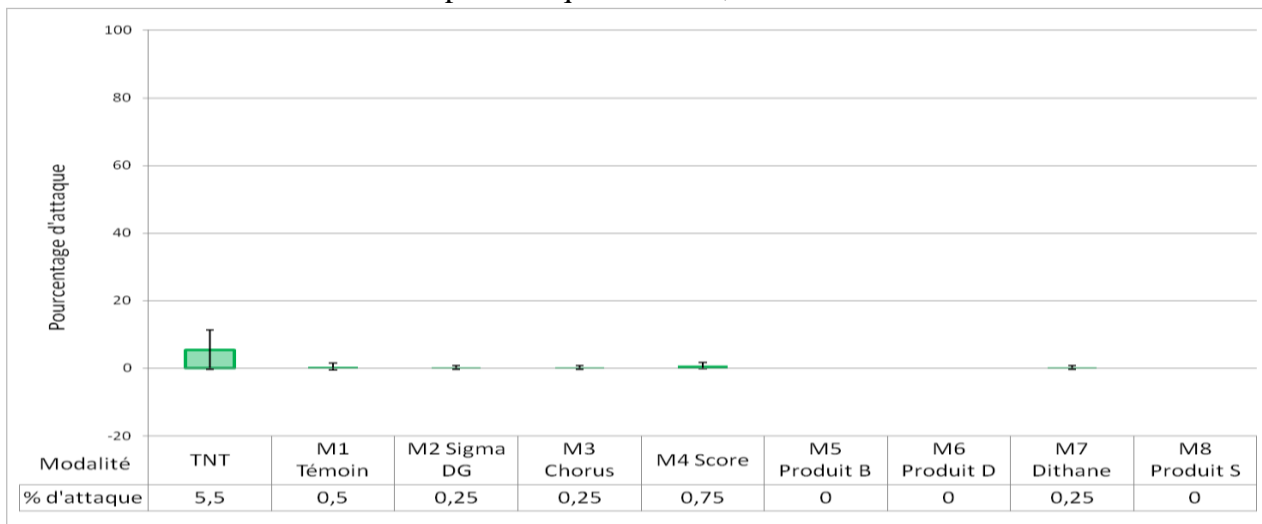


Figure 13 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 6 mai 2013

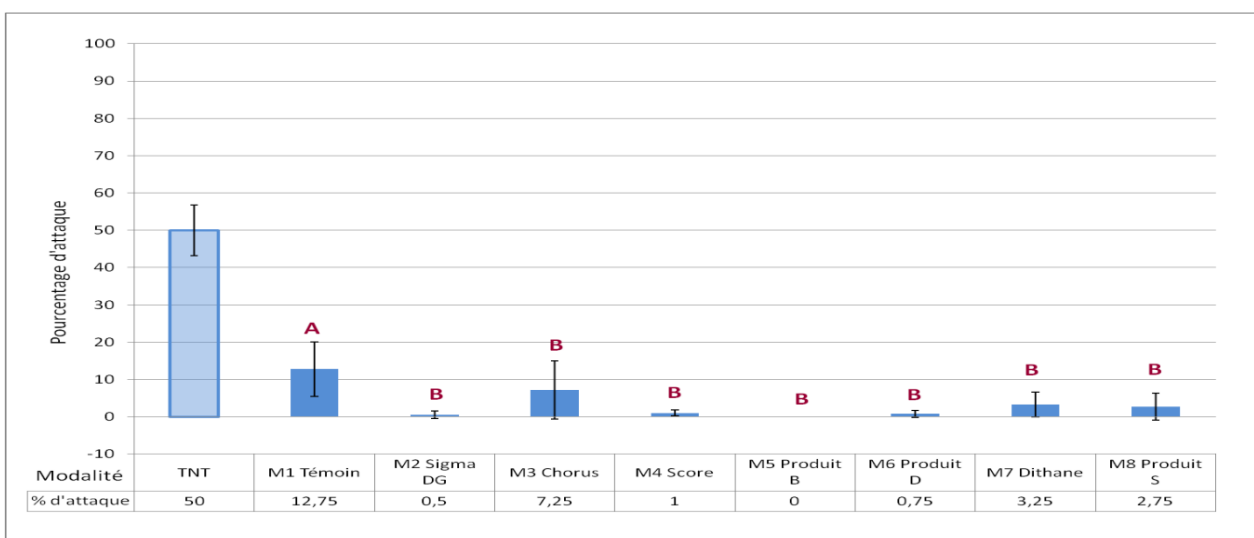


Figure 14 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 27 mai 2013

III.2.1. Essai 1 en pré-floraison

➔ Notations sur pousses

Les notations sur pousses ont débuté le 22 avril 2013 sur l'essai positionnant les produits fongicides contre les contaminations primaires en pré-floraison (N1 sur le graphique de la Figure 11). Cette date correspond aux trois semaines nécessaires à l'expression de symptômes après la première projection contaminatrice d'ascospores relevée par le suivi biologique et la modélisation RIMpro (29 mars), suite à l'arrêt de traitements le 14 mars sur les parcelles témoins (Annexes IV et V). Les notations s'échelonnent sur le mois de mai, les 6 et 27, et se poursuivent les 6 et 24 juin 2013.

La notation du 22 avril est réalisée après les quatre premières applications de chacune des modalités. Cette observation permet de faire un premier bilan de la parcelle. D'après le graphique (Figure 12) nous pouvons observer que le témoin non traité sur la saison (TNT) présente un pourcentage d'attaques de 2,5 %, qui est supérieur aux autres parcelles. De plus, il est à remarquer que le pourcentage d'attaque sur chacune des modalités de l'essai est très faible, voire nul (de 0 % à 1,5 %).

La normalité des résidus, un des postulats de l'ANOVA n'est pas respecté, les indices de normalité ont des probabilités inférieures au seuil de 5 % (Symétrie de probabilité = 0 et Aplatissement de probabilité = 0). Ainsi les résidus ne sont pas homogènes. Un test non paramétrique de Kruskal Wallis est réalisé, afin de poursuivre l'analyse. Celui-ci n'a repéré aucune différence significative entre les modalités de l'essai (Annexe VI). Il n'y a, à ce stade de l'expérimentation, aucune différence d'efficacité entre les traitements.

Le 6 mai une notation sur pousses a été effectuée (Figure 13). La maladie progresse sur le témoin non traité sur la saison, 5,5 % de pousses attaquées. Les dégâts de tavelure sur le témoin de l'essai et les modalités traitées restent très faibles (de 0,25 % à 0,75 %). A cette date, l'ANOVA n'a pu être réalisée car la probabilité de l'indice de symétrie, permettant de valider la normalité des résidus, était de 0,009, de ce fait inférieure à 5 %. L'analyse statistique n'a indiqué aucune différence significative entre les modalités, suite à un test non paramétrique de Kruskal Wallis, (Annexe VII). Au 6 mai, il n'y a toujours pas de différences entre les modalités, et surtout entre les différents produits et le témoin.

Le graphique de la figure 14 illustre les résultats de la notation du 27 mai sur l'essai 1. Le témoin TNT présente 50 % de pousses avec des symptômes de *V. inaequalis*. La modalité témoin de l'essai (M1) et les modalités M3 (Chorus), M7 (Dithane Neotec) et M8 (Produit S) montrent des pourcentages plus élevés d'attaque par rapport aux autres parcelles. L'analyse statistique permet de relever s'il existe une différence entre les modalités de l'essai. L'ANOVA a pu être réalisée, ses conditions d'application ayant été respectées (Annexe VIII). Le lettrage sur le graphique correspond aux résultats du test de Newman-Keuls, indiquant les groupes homogènes. Ainsi il existe bien une différence au sein de l'essai. La modalité témoin M1 se distingue par la lettre A des autres modalités qui sont notées B. À ce stade de l'expérimentation, il existe une différence entre les parcelles traitées et celles qui ne le sont pas.

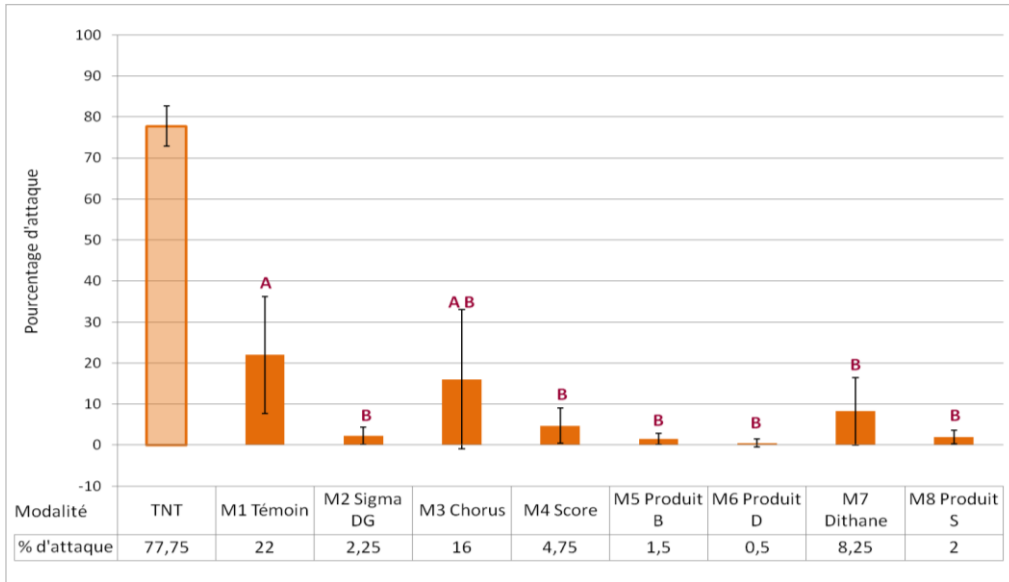


Figure 15 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 6 juin 2013

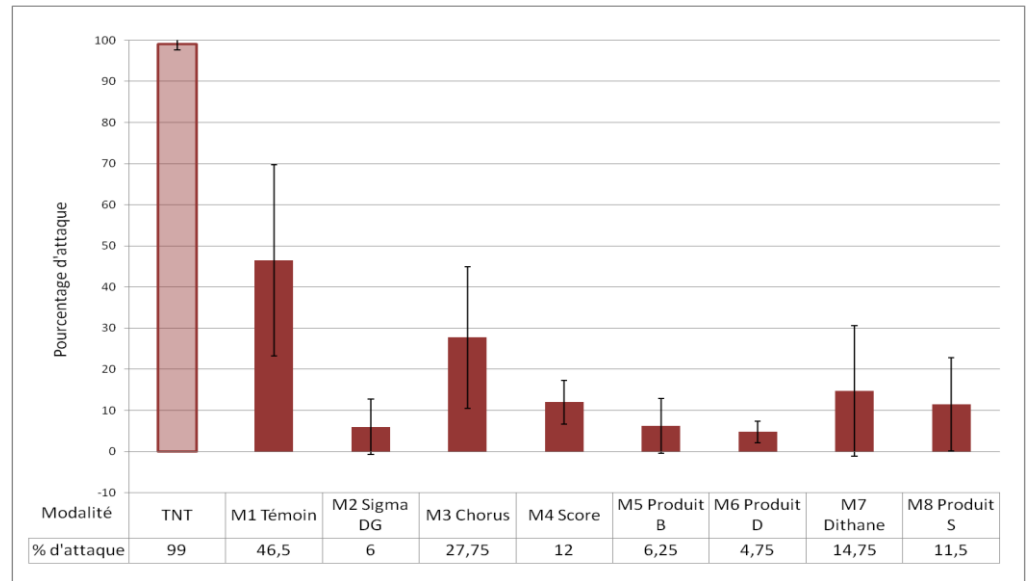


Figure 16 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 24 juin 2013

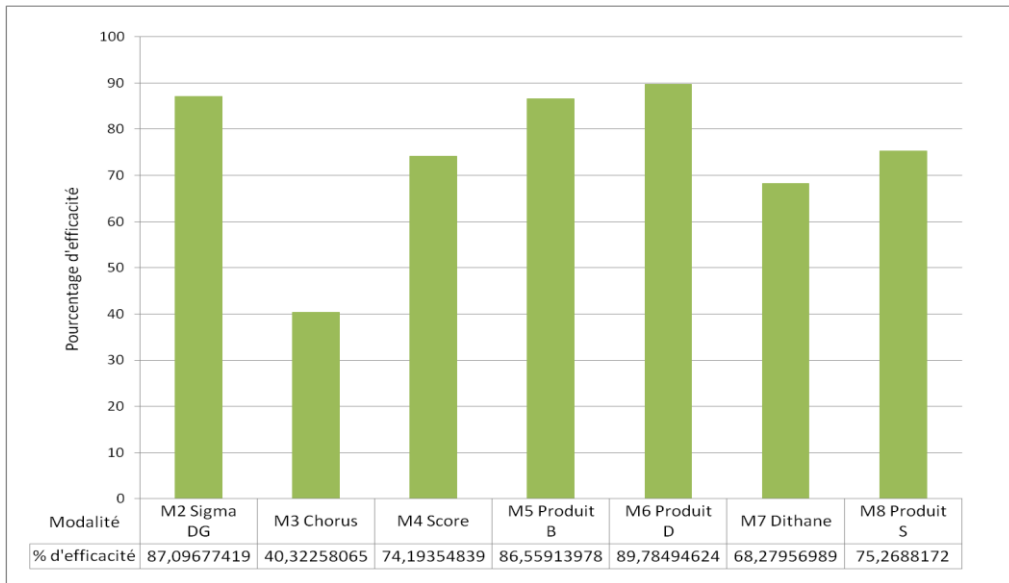


Figure 17 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage d'efficacité sur pousses pour chaque modalité, au 24 juin 2013

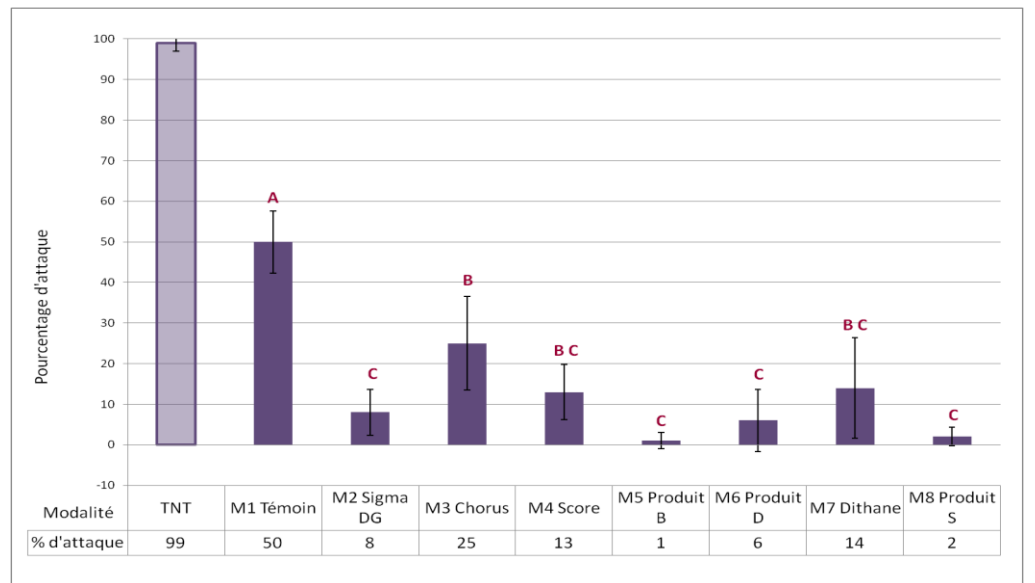


Figure 18 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage de fruits attaqués par la tavelure pour chaque modalité, au 24 juin 2013

La notation du 6 juin, présentée en figure 15, montre une élévation du pourcentage de pousses touchées par la tavelure dans l'ensemble des modalités. L'analyse statistique repose sur une ANOVA. Elle a pu être réalisée, ses conditions d'application ayant été respectées (Annexe IX). Le lettrage sur le graphique correspond aux résultats du test de Newman-Keuls, indiquant les groupes homogènes. Ainsi, la différence se confirme sur cette notation pour la modalité M1 (témoin) appartenant au groupe homogène A. Toutes les autres modalités, à l'exception de M3 (Chorus), appartiennent au groupe homogène B. Cela signifie qu'il n'existe pas de différence significative entre les modalités de ce même groupe. La modalité M3 arbore les lettres A et B, par conséquent elle n'est pas significativement différente du témoin et des autres modalités. Le produit aurait un léger effet par rapport au témoin mais pas suffisant par rapport à l'efficacité des autres produits.

Enfin, la notation du 24 juin réalisée sur les pousses et les fruits est celle qui clôture l'essai, nous permettant ainsi de connaître les résultats sur l'efficacité des produits.

Le graphique de la figure 16 montre une disparité au niveau du pourcentage de pousses attaquées par modalité. De plus il semble qu'il y a une différence entre les modalités traitées. Chorus présente un pourcentage de pousses attaquées (27,75 %) important en comparaison des autres produits (de 4,75 % à 14,75 %). Les conditions d'application de l'ANOVA n'étant pas respectées, des tests non paramétriques ont été réalisés. Les tests de Kruskal Wallis et de Man-Whitney ont été effectués successivement, le premier indiquant une différence entre les modalités (Annexe X). Le test de comparaison deux à deux (Man-Whitney) a montré que la modalité M1 (témoin) était significativement différente des modalités M2 (Sigma DG), M4 (Score), M5 (Produit B), M6 (Produit D), M7 (Dithane Neotec) et M8 (Produit S). Ainsi, on observe un effet de ces produits sur le développement de la tavelure. Par contre la modalité M3 (Chorus) ne se distingue pas, à la fin de cet essai, de l'ensemble des modalités y compris le témoin. L'observation faite à la notation précédente tend à se confirmer. Le produit Chorus présente une efficacité insuffisante, comparées aux autres produits, pour lutter contre la tavelure.

Le graphique de la figure 17 appuie cette idée, car le produit présente une efficacité de 40 % contrairement à la référence (Sigma DG) qui a une efficacité de 87 %. Les produits à base de SDHI présentent une efficacité de 75,2 % pour le produit S, à plus de 85 % d'efficacité pour les produits B et D.

➡ Notation sur fruits

Ce qui intéresse avant tout les producteurs, ce sont les résultats sur la production. De ce fait la dernière notation du 24 juin sur fruits est l'une des plus importantes pour classer les produits.

Le graphique de la figure 18 indique, par le lettrage du test de Newman-Keuls, les différents groupes homogènes qui ressortent de l'analyse statistique après une ANNOVA effectuée dans les règles (Annexe XI). Ainsi, il en ressort quatre groupes homogènes. Le premier sous la lettre A, isole les fruits de la modalité témoin (M1). Le second groupe place la modalité M3, avec le produit Chorus, seule dans le groupe B. Le troisième groupe sous les lettres B C rassemble les modalités M4 (Score) et M7 (Dithane Neotec). Celles-ci sont peu

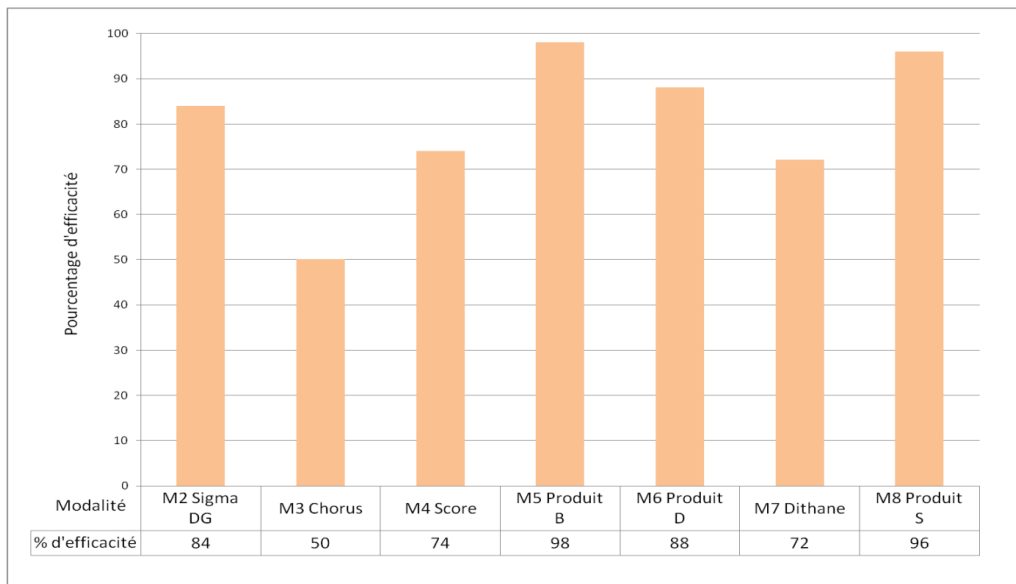


Figure 19 : Essai 1 : Graphique représentant le pourcentage d'efficacité sur fruits pour chaque modalité, au 24 juin 2013

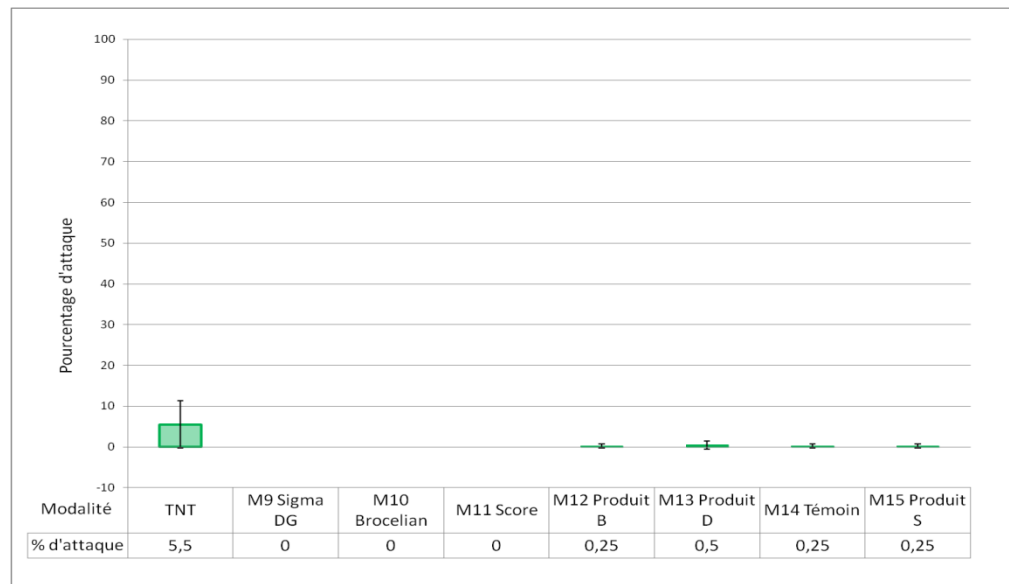


Figure 20 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 6 mai 2013

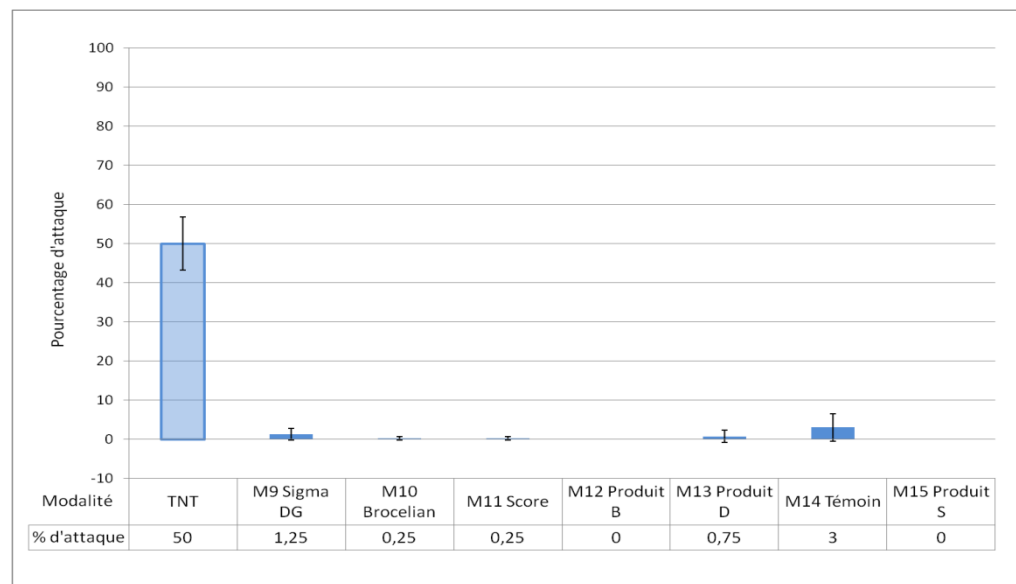


Figure 21 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 27 mai 2013

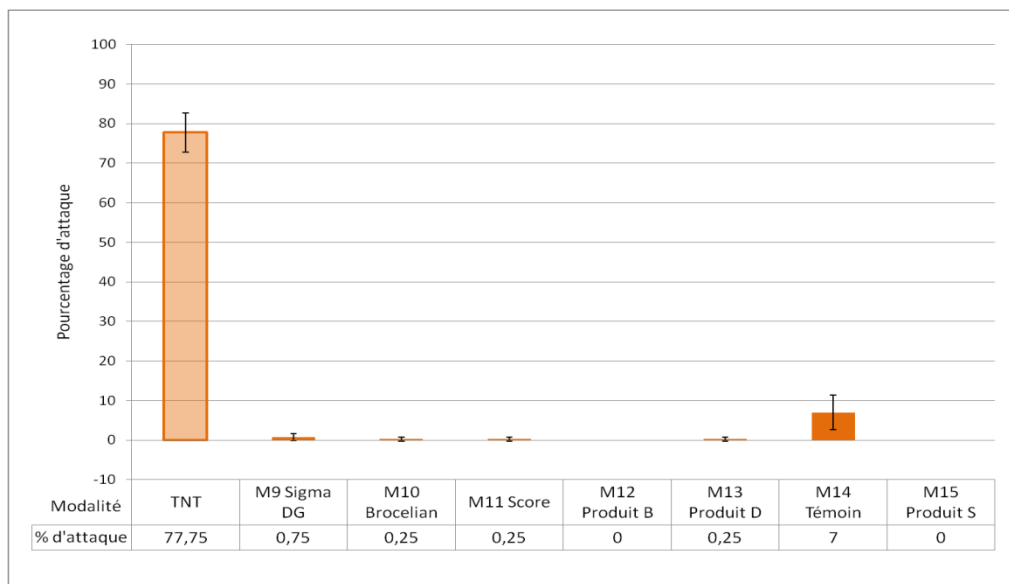


Figure 22 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 6 juin 2013

différentes des groupes homogènes B et C. Enfin, le dernier groupe homogène avec la lettre C regroupe nos produits à base de SDHI et notre produit de référence à base de captane.

En ce qui concerne l'efficacité (Figure 19) des produits sur les fruits, on retrouve la même tendance que sur les pousses. Le produit Chorus est celui qui présente la plus faible efficacité contre la tavelure. Les produits SDHI montrent une efficacité aussi bonne, voire meilleure que celle de la référence.

Les produits à base de SDHI se comportent aussi bien que le produit de référence sur la période du début du débourrement à la floraison.

III.2.2. Essai 2 en post-floraison

➔ Notations sur pousses

Les notations sur pousses ont débuté le 6 mai 2013 (N2 du graphique de la Figure 11) sur l'essai positionnant les produits fongicides contre les contaminations primaires en post-floraison. Les dates de notations sont les mêmes que sur l'essai 1 présenté précédemment : 27 mai, 6 et 24 juin. Le 6 mai correspond aux trois semaines d'incubation essentielles à l'observation de symptômes sur les parcelles témoins, suite à une des projections d'ascospores observées la première quinzaine d'avril grâce au suivi biologique et indiquant un risque de contamination grave au 16 avril (Annexe V).

L'analyse statistique des données relevées lors des notations sur l'essai 2 s'est avérée impossible avec une ANOVA. En effet pour chacune des notations, un des postulats n'était pas respecté. Les probabilités des indices de normalité et de l'écart type des résidus étant dans certains cas inférieur au risque de première espèce de 5 %. Ainsi l'analyse statistique s'est basée sur des tests non paramétriques (Kruskal Wallis et Man-Whitney).

Le 6 mai, une notation sur pousses a été réalisée après les trois premières applications de chacune des modalités. Exactement comme sur le premier essai, cette observation permet de faire un premier bilan de la parcelle. Il est à remarqué (Figure 20) que le pourcentage d'attaque sur chacune des modalités de l'essai est très faible, voire nul (de 0 % à 0,5 %). L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative, suite au test de Kruskal Wallis (Annexe XII). Il n'y a, à ce stade de l'expérimentation, aucune différence entre les modalités.

Le graphique de la figure 21 présente les résultats de la notation du 27 mai. Le témoin (M14) semble différent des autres parcelles, avec un pourcentage légèrement plus élevé, 3 % contre 1,25 % pour la modalité Sigma DG. Toutefois, l'analyse statistique avec le test de Kruskal Wallis (Annexe XIII) n'a indiqué aucune différence significative entre les modalités de l'essai.

Le graphique de la figure 22 illustre les résultats de la notation du 6 juin sur l'essai 2. Il semble que le témoin (7 %) soit différent des autres modalités (de 0 % à 0,75 %) en terme de pourcentage de pousses attaquées. En effet, le test de Kruskal Wallis suivi du test de

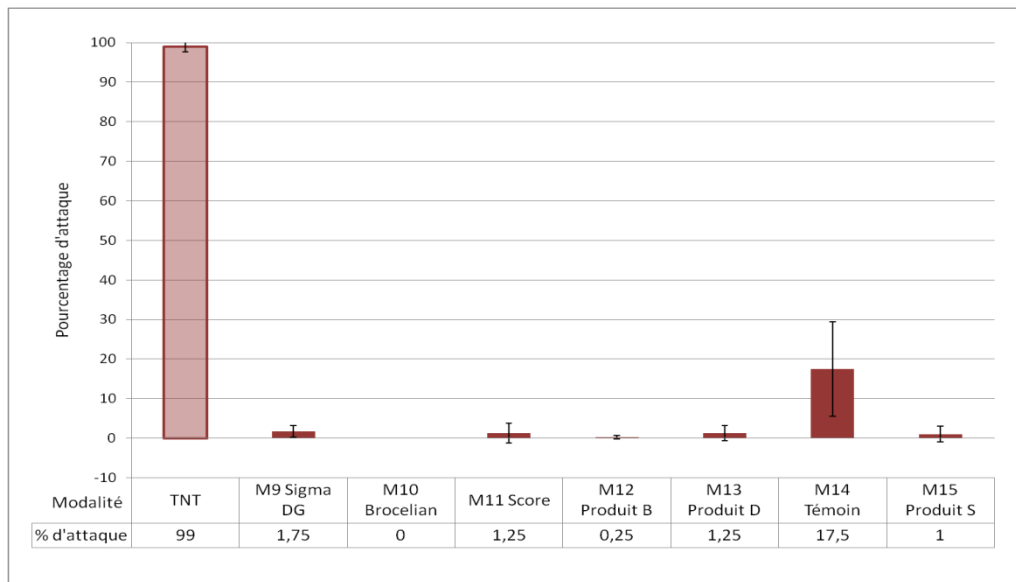


Figure 23 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de pousses attaquées par la tavelure pour chaque modalité, au 24 juin 2013

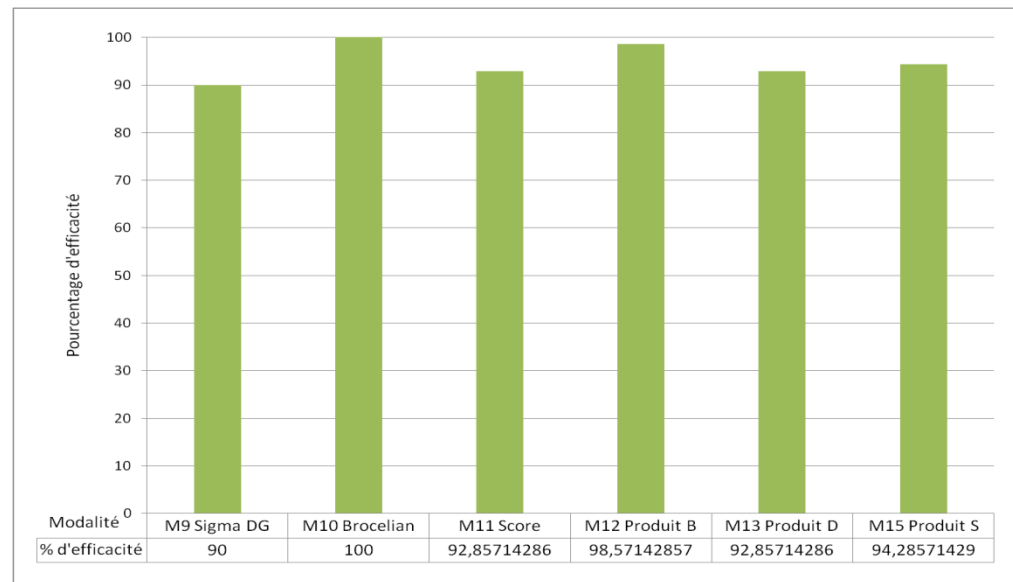


Figure 24 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage d'efficacité sur pousses pour chaque modalité, au 24 juin 2013

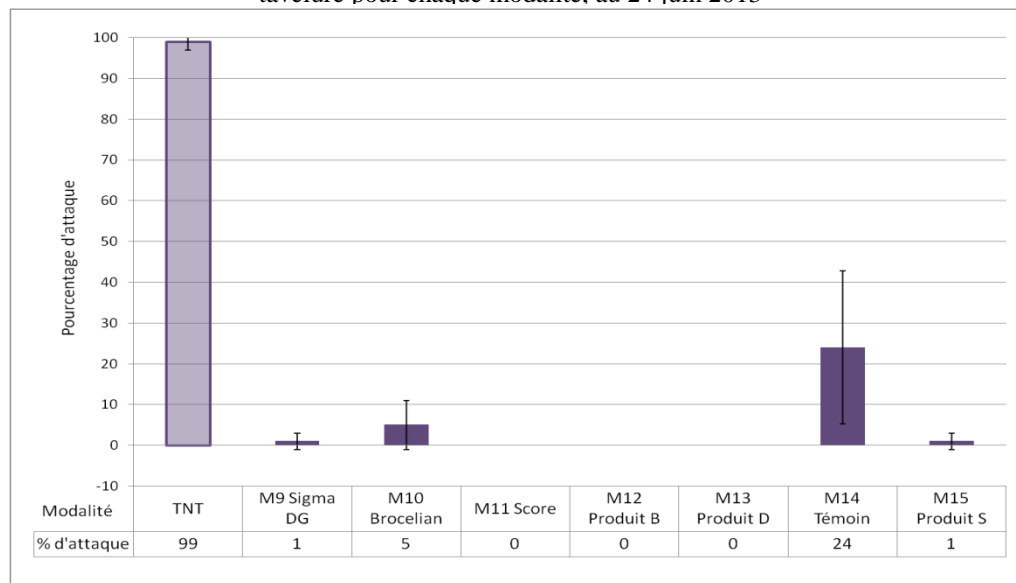


Figure 25 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage de fruits attaqués par la tavelure pour chaque modalité, au 24 juin 2013

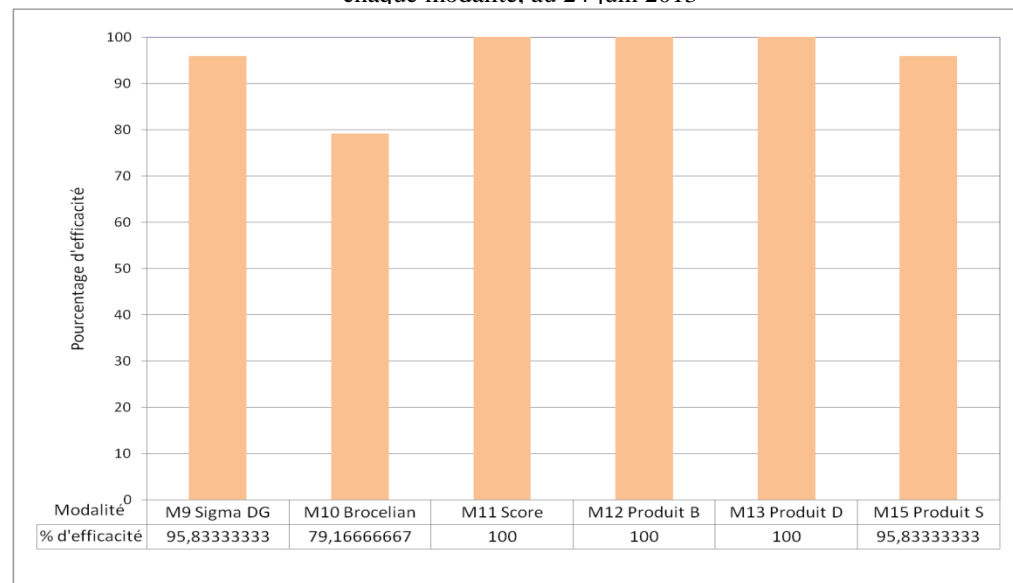


Figure 26 : Essai 2 : Graphique représentant le pourcentage d'efficacité sur fruits pour chaque modalité, au 24 juin 2013

comparaison deux à deux de Man-Whitney révèlent l'existence de cette différence entre le témoin et les produits (Annexe XIV).

Les tendances observées précédemment sur pousses semblent se confirmer lors de la notation du 24 juin (Figure 23). En effet, le témoin M14 comparé à chacune des modalités ressort significativement différent (Annexe XV). De plus une différence existe entre la modalité M10 (Brocélian) et M9 (Sigma DG).

Cette différence est constatée au niveau du pourcentage d'efficacité. Le graphique de la figure 24, indique un pourcentage d'efficacité pour le produit Sigma DG de la modalité M9 légèrement inférieur aux autres. Son efficacité n'est tout de même pas remise en cause car il est de 90 %. Les produits à base de SDHI utilisés en post floraison ont de très bonnes efficacités dans cet essai contre la tavelure.

➡ Notation sur fruits

Il ressort de la notation sur fruits du 24 juin (Figure 25), une différence significative (Annexe XVI) entre le témoin et les modalités traitées sauf avec la modalité M10 (Brocélian). Cette dernière présente un pourcentage de 5 % des fruits attaqués.

L'efficacité de ce produit sur la tavelure sur fruits est malgré tout de 80 % (Figure 26).

Il ressort de l'analyse de l'ensemble des notations réalisées sur les deux essais un comportement globalement satisfaisant des produits à base de SDHI. Les résultats obtenus restent à être confrontés aux conditions climatiques auxquelles les applications ont été soumises.

IV. Discussions

Grâce au témoin non traité sur la saison (TNT) nous pouvons constater que la maladie progresse rapidement sur le végétal non traité chimiquement. Du 6 mai au 27 mai, les parcelles sont passées d'un taux d'attaque de 5,5 % à 50 %. Soit en 20 jours une multiplication par dix du pourcentage des pousses touchées par la tavelure. La maladie se propage très rapidement dans ces parcelles, au 24 juin, date de fin de notation, les pourcentages d'attaque sur pousses et sur fruits étaient de 99 %.

Bien que traités avant le début et à la fin des expérimentations, les témoins inclus dans les essais présentent de forts dégâts de tavelure. Ce niveau d'attaque est certes inférieur à celui du TNT mais atteste d'une pression tavelure importante pendant la durée des essais.

Le manque de discrimination entre les modalités de chaque essai et leur témoin respectif, lors des deux premières notations propres à chacun des essais (22 avril et 6 mai pour l'essai 1, 6 et 27 mai pour l'essai 2), correspond au temps nécessaire à l'expression et au développement de la maladie.

La modalité M3 à base de Chorus montre un pourcentage d'efficacité nettement inférieur aux autres modalités. Ceci pourrait laisser penser qu'un phénomène de résistance apparaîtrait dans ce verger.

Sur les deux essais, aucun traitement ne décroche mis à part le Chorus. Ceci laisse à penser que malgré la pluviométrie important des mois d'avril et de mai, et la contrainte d'essais à cadence, les traitements ont plutôt bien été positionnés.

En effet, les expérimentations, menées par le CEFEL, tiennent compte d'une cadence de sept jours puisqu'il s'agit d'essais efficacité. Ainsi, les conditions climatiques et le développement du végétal n'entrent pas en considération lors du positionnement des applications des traitements dans la stratégie de lutte. Globalement malgré ces contraintes, les fongicides couvrent plutôt bien les plus grosses projections à risques.

Cependant pour l'essai 1, le positionnement du premier traitement est trop précoce (25 mars) pour pouvoir couvrir la projection qui a été observée et le fort risque de contamination simulé (29 mars). De plus le cumul de pluie (38,5 mm) sur la période du 28 au 30 mars, a lessivé le produit. Le traitement du 3 avril arrive trop tard pour être considéré comme un traitement stop et contenir l'infection du 30 mars.

La deuxième période, où les traitements semblent avoir été mal positionnés, correspond au dernier traitement de l'essai, le 30 avril. Lors de ce jour d'application des modalités une pluie de 22 mm a lessivé les traitements. Ne pouvant réintervenir en stop pour consolider la protection contre *V. inaequalis*, la période de fin de l'essai 1 n'était pas protégée.

L'essai 2 a des applications de traitements qui collent mieux aux conditions climatiques et aux projections d'ascospores de *V. inaequalis*, relevées par le suivi biologique. En effet les périodes de fortes pluies contaminatrices (27 avril, 3 mai et 9 mai) ont été protégées en préventif. Si cela n'est pas le cas comme pour la précipitation du 30 avril, le

positionnement de fongicides 2 jours après a eu l'effet d'un traitement stop, contenant ainsi la maladie jusqu'au prochain traitement. Il en est de même pour le traitement du 16 mai qui a été précédé d'une pluie contaminatrice pour laquelle RIMpro donnait un risque d'infection faible.

Le décrochement de certaines modalités peut s'expliquer par ce positionnement des produits imposé par la cadence à sept jours et non par rapport aux conditions terrain (suivi biologique, RIMpro).

Les produits SDHI semblent bien se positionner en traitement de pré-floraison, avec des résultats aussi bons que la référence à base de captane. Pour les produits en association avec une autre molécule, leur bon résultat provient peut être du cumul de différents modes d'actions. Malgré l'absence de différence entre les produits SDHI, le produit D composé d'une seule substance active présente un pourcentage de pousses attaquées supérieur à ceux des produits B et S qui sont en association.

L'analyse statistique des résultats des notations de l'essai de post-floraison, ne distingue pas les modalités de produits à base de SDHI des autres produits homologués. Ceux-ci montrent des résultats d'efficacité aussi bons que ceux de la référence.

La comparaison de ces deux essais ne permet pas de déterminer à quelle période dans la stratégie de lutte contre la tavelure, leur positionnement est le mieux adapté, dans la mesure où ils présentent une excellente efficacité avant comme après fleur.

Ainsi les produits à base de SDHI sont intéressants comme alternative aux produits de référence dans l'optique de varier les familles de substances actives afin d'éviter l'apparition de souches résistantes au captane de *Venturia inaequalis*.

V. Conclusion, Perspectives

Au printemps, les contaminations primaires de *Venturia inaequalis* constituent une période qui nécessite une vigilance toute particulière. En effet, la maîtrise de la maladie pendant les contaminations primaires conditionnent les stratégies de protection pendant les contaminations secondaires. L'absence de dégâts en fin de printemps permet de réduire voire d'arrêter la protection en été. La protection au printemps, basée sur un positionnement préventif des produits, doit être rigoureuse en tenant compte des conditions climatiques et du développement du végétal. Deux outils tels que le suivi biologique et la modélisation par RIMpro des projections d'ascospores permettent d'appuyer la prise de décision d'un traitement. Ce logiciel simulant l'éjection de spores et leur capacité à engendrer une infection, peut permettre, dans une fenêtre de temps optimale, de cibler les contaminations infectieuses. Une bonne utilisation du logiciel peut améliorer le positionnement des traitements et faciliter la diminution des applications de fongicides anti-tavelure. Cet outil a son utilité dans la production fruitière intégrée (PFI). Cependant RIMpro reste un outil, la simulation réalisée est à moduler en fonction de la réalité du terrain. Le producteur, tenant compte de différents facteurs comme les conditions météorologiques du moment et à venir, le stade végétatif, l'historique de la parcelle (pression, inoculum) ainsi que les contraintes liées à l'organisation de l'exploitation, prendra la décision du traitement.

Dans la stratégie de lutte chimique contre *V. inaequalis*, le juste positionnement des fongicides est primordial, afin de maîtriser avant tout les contaminations primaires. L'application des produits est faite de manière à ce qu'ils expriment au mieux leur capacité protectrice vis-à-vis du champignon en limitant l'apparition de résistances. Pour pallier à cette éventualité, de nouvelles substances actives, aux modes d'actions différents de ceux préexistants, arrivent prochainement sur le marché. C'est le cas de trois substances actives, non homologuées, de la famille des SDHI. Actuellement, aucune référence pratique ne figurait sur l'utilisation de ces produits. Ainsi afin de répondre aux questionnements de la profession sur le comportement de ces fongicides en verger par rapport aux produits fréquemment employés, deux essais efficacité sur la période des contaminations primaires ont été mis en place. Le premier positionnait les traitements sur la période de pré-floraison et le second en post-floraison. Les résultats de ces premiers essais d'efficacité de produits à base de SDHI sont concluants.

Il ressort des expérimentations, que la référence CEB à base de captane confirme son efficacité contre la tavelure. Les autres produits homologués ont une efficacité proche mais parfois inférieure, c'est le cas du Chorus. Ce dernier présente des cas de résistance de *V. inaequalis*, ce qui semble expliquer son faible pourcentage d'efficacité. Les produits SDHI présentent des taux d'efficacité très satisfaisants. La réalisation de ces essais n'a pas permis de mettre en évidence une meilleure efficacité des produits qu'ils soient utilisés avant ou après fleur.

Il serait intéressant de réaliser de nouveaux tests de type « stratégie de lutte » afin de constater leur efficacité dans les conditions de pratique d'agriculture raisonnée ; c'est-à-dire en tenant compte des conditions climatiques et du développement du végétal sur la période de contamination primaire et non plus de cadences d'application.

Leur efficacité actuelle étant similaire il serait intéressant de voir sur la durée, leur évolution.

La recherche des sociétés phytopharmaceutiques ajoute de nouveaux moyens de lutte chimique à la stratégie contre la tavelure du pommier. Mais ces solutions utilisées à répétition ne sont que peu durable dans le temps, avec un contournement inévitable du produit par le champignon. La combinaison des méthodes de lutttes contre *Venturia inaequalis* et l'alternance des familles chimiques et des modes d'action au sein de la lutte phytosanitaire font de la lutte raisonnée un enjeu majeur dans la protection des vergers, de l'environnement et de la santé humaine.

BIBLIOGRAPHIE

- ACTA, COUTEUX A., LEJEUNE V.** (2013) Index phytosanitaire. 49^{ème} édition.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE PROTECTION DES PLANTES (AFPP)** (1999)
Commission des essais biologiques, Méthode d'essai d'efficacité pratique de fongicides destinés à combattre les tavelures du poirier et du pommier, *Venturia pirina aderh.* et *Venturia inaequalis aderh.* méthode N° 014
- Agreste** (2012) Agreste Conjoncture, Récolte 2012 prévue en chute par rapport à 2011
Agreste Infos rapides — Fruits — Pommes — Août 2012 — N° 3/6
- BOVEY R., BAGGIOLINI M., BOLAY E., CORBAZ R., MATHYS G., MEYLAN A., MURBACH R., PELET F., SAVARY A., TRIVELLI G.** (1967) La défense des plantes cultivées. Traité pratique de phytopathologie et de zoologie agricole, Payot, Lausanne, 5^{ème} édition. 242-247 pp.
- BOVEY R., BAGGIOLINI M., BOLAY A., BOVEY E., CORBAZ R., MATHYS G., MEYLAN A., MURBACH R., PELET F., SAVARY A., TRIVELLI G.** (1972) La défense des plantes cultivées. Généralités sur les accidents, maladies et ravageurs des plantes cultivées Moyen de lutte, Payot et La Maison Rustique, Lausanne. 247 p.
- BRUN L., DIDELOT F., PARISI L.** (2007) Conférence aux Carrefours de l'innovation agronomique, Stratégies de protection innovantes contre la tavelure du pommier : conception, évaluation et intégration en vergers.
- BULLETIN DE SANTÉ DU VÉGÉTAL Midi Pyrénées** (2013) ARBORICULTURE N° 3
DU 5 MARS 2013
- CRETE X.** (2007) Contribution à la protection intégrée du verger de pommier : réduction de l'inoculum primaire de la tavelure, *Venturia inaequalis* (Cke) Wint. par pulvérisation d'urée. Mémoire en vue de l'obtention du titre d'Ingénieur Diplômé par l'Etat, Spécialité Agriculture. Montpellier SupAgro, CEHM, 82p.
- GADOURY D.M., SEEM R.C., STENSVAND A.** (1993) Ascospore discharge in *Venturia inaequalis*. Norwegian Journal of Agricultural Sciences, N° 17, 112-118 pp.
- GADOURY D.M., STENSVAND A., SEEM R.C.** (1998) Influence of light, relative humidity, and maturity of populations on discharge of ascospores of *Venturia inaequalis*. Norwegian Journal of Agricultural Sciences, N° 88, 112-118 pp.
- GIRAUD M.** (2009) La tavelure du pommier. Comment mesurer les projections d'ascospores ? Info-Ctifl, N° 253, 34-39 pp.
- GIRAUD M., TRAPMAN M.** (2006) Le modèle RIMpro. Intérêt dans la gestion de la tavelure du pommier. L'arboriculture, N° 603, 29-32 pp.
- HIRST J.M., STEDMAN O.J.** (1962) The epidemiology of apple scab (*Venturia inaequalis* (Cke) Wint.). II. Observation on the liberation of ascospores. Ann. Appl. Biol.

- INRA, Ministère de l'Agriculture et de la pêche, CTIFL (2008)** Note nationale tavelure du pommier 2008
- JAMES J.R., SUTTON T.B.** (1982) Environmental factors influencing pseudothecial development and ascospore maturation of *Venturia inaequalis*. *Phytopathology*, N° 72, 1073-1080 pp.
- LEROUX P.** (2003) Résistance des champignons phytopatogènes aux fongicides : un phénomène difficile à maîtriser ? 7^{ème} conférence internationale sur les maladies des plantes.
- LESPINASSE Y., FOUILLET A.** (1990) Création de variété de pommiers résistantes à la tavelure : introduction de mécanismes de résistance à d'autres parasites. *Entretiens techniques*, INRA Angers, 57-59 pp.
- LESPINASSE Y., PARISI C., PINET F., LAURENS F., DUREL CE.** (1999) Résistance du pommier à la tavelure et à l'oïdium. *Phytoma* N° 514, 23-26 pp.
- LOUW A. J.** (1951) Studies of the Influence of Environmental Factors on the Overwintering and Epiphytology of Apple Scab (*Venturia Inaequalis*, (Cke). Wint.) in the Winter-Rainfall Area of the Cape Province. S. Africa. Dept. Agric. Sci. Bull. N° 310, 48 p.
- MACHARDY W.E.** (1996) Apple Scab Biology, Epidemiology and Management. APS Press, The American Phytopathological Society, Minnesota (USA), 545 p.
- MACHARDY W.E., GADOURY D.M., GESSLER C.** (2001) Parasitic and biological fitness of *Venturia inaequalis*: relationship to disease management strategies. *Plant Disease*, Vol. 85, N° 10 : 1036-1051pp.
- Organisation Mondiale de la santé et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture** (2010) Norme codex pour les pommes (CODEX STAN 299-2010)
- PARISI L., DIDELOT F., BRUN L.** (2004) Raisonner la lutte contre la tavelure du pommier. Un enjeu majeur pour une arboriculture durable. AFPP. 7^{ème} conférence internationale sur les maladies des plantes.
- SUTTON K., MACHARDY W.E., LORD W.G.** (2000) Effects of shredding or treating apple leaf litter with urea on ascospore dose of *Venturia inaequalis* and disease buildup. *Plant Disease*, N° 84, 1319-1326 pp.

SITOGRAFIE

- AC** (2011) SDHI-Fongicide céréales hautes performances, SDHI : l'alternative fongicides
http://www.terre-net.fr/dossier_special/SDHI-2011/?idDoss=190 (consulté 5/05/13)
- Agreste** (2013) Statistique agricole annuelle (SAA) RESULTATS 2011 définitifs, 2012 provisoires
<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/saa2013T6saa.pdf> (consulté le 02/05/13)
- Association Nationale Pommes Poires** (2010/2011)
<http://www.lapomme.org/chiffres/consomation.htm> (consulté le 10/05/13)
- BLOT C.** - FranceAgriMer (2012) Fruits et légumes : Evolutions et tendances de consommation
<http://www.franceagrimer.fr/content/download/13422/96341/file/Conf%C3%A9renceFranceAgriMer-SIA+Fruits+et+1%C3%A9gumes+28+02+2012.pdf> (consulté le 10/05/13)
- CARPENTIER M.**, Terre-Net (2012) Extension d'usage du proquinazid et projet Sdhi pour 2013
<http://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturale/appros-phytosanitaire/article/extension-d-usage-du-proquinazid-et-projet-sdhi-pour-2013-216-76318.html> (consulté le 10/08/13)
- CEFEL** (2013)
<http://www.cefel.eu/cefel> (consulté le 07/03/13)
- CHAMONT S., GIL F.** - INRA (2012) *Venturia inaequalis* Description du champignon
http://ephytia.inra.fr/hypp/hypp_utilisateur/index_appli.php?portail=bioagresseurs&produit=hypp&main=3&ssrub1=7&ssrub2=59&ssrub3=93&ssrub4=317&id_fiche=58&theme=93 (consulté le 20/05/13)
- DUPONT** (2013) Nouveaux produits de protection des cultures
<http://www.dupont.ca/fr/products-and-services/crop-protection/articles/future-pipeline.html> (consulté le 10/08/13)
- Eurostat** (2011)
<http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/setupModifyTableLayout.do> (consulté le 13/05/13)
- FranceAgriMer** (2012) Les filières des fruits et légumes, Données 2011.
<http://www.franceagrimer.fr/content/download/19897/161255/file/chiffres%20cl%C3%A9s%202011.pdf> (consulté le 5/03/2013)
- FranceAgriMer** (2013) La pomme en 2011/2012, Bilan de campagne.
<http://www.franceagrimer.fr/content/download/21752/177924/file/BIL-POMME-camp%202011-2012.pdf> (consulté le 05/03/2013)

HIRSCHLER J. Chambre d'Agriculture de l'Orne, **CHAUVIN S.** Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie (2006) Alimentation 2020- Chapitre : les Variables motrices, Les exigences des consommateurs
http://www.normandie.chambagri.fr/vegetarien/Crises_alimentaires.pdf (consulté le 10/05/13)

INRA (2013) Tavelure du Pommier
<http://www7.inra.fr/hyp3/pathogene/3venina.htm> (consulté le 10/05/13)

INRA Angers (2013) Présentation du matériel végétal : pommier, poirier
<http://www-intranet.angers.inra.fr/dossiers/haploidie/matveg.html> (consulté le 20/05/13)

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt (2013) Ecophyto Késako
<http://agriculture.gouv.fr/Ecophyto-Kesako> (consulté le 02/05/13)

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt (2013) Catalogue des usages actuels en pommier, traitements des parties aériennes contre la tavelure
<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/usa/12603203.htm> (consulté le 12/07/2013)

Office Fédérale de l'AGriculture (OFAG), Confédération Suisse (2013) Index des produits phytosanitaires, Moon privilège
<http://www.blw.admin.ch/psm/produkte/index.html?lang=fr&item=1476> (consulté le 10/08/13)

SOPEXA (2013) Fiche technique sur la Pomme française, L'actu
<http://www.franceagroalimentaire.com/agroalimentaire-francais/bon-appetit/fiche-technique-sur-la-pomme-francaise> (consulté le 28/03/13)

SYNGENTA (2013) Produits fongicides - Isopyrazam
<http://www3.syngenta.com/country/be/fr/product> (consulté le 11/08/13)

THOMAS E. (2013) Conférence internationale sur les maladies des plantes, Les fongicides de demain
<http://www.mon-viti.com/content/conference-internationale-sur-les-maladies-des-plantes-les-fongicides-de-demain> (consulté le 10/08/13)

ANNEXES

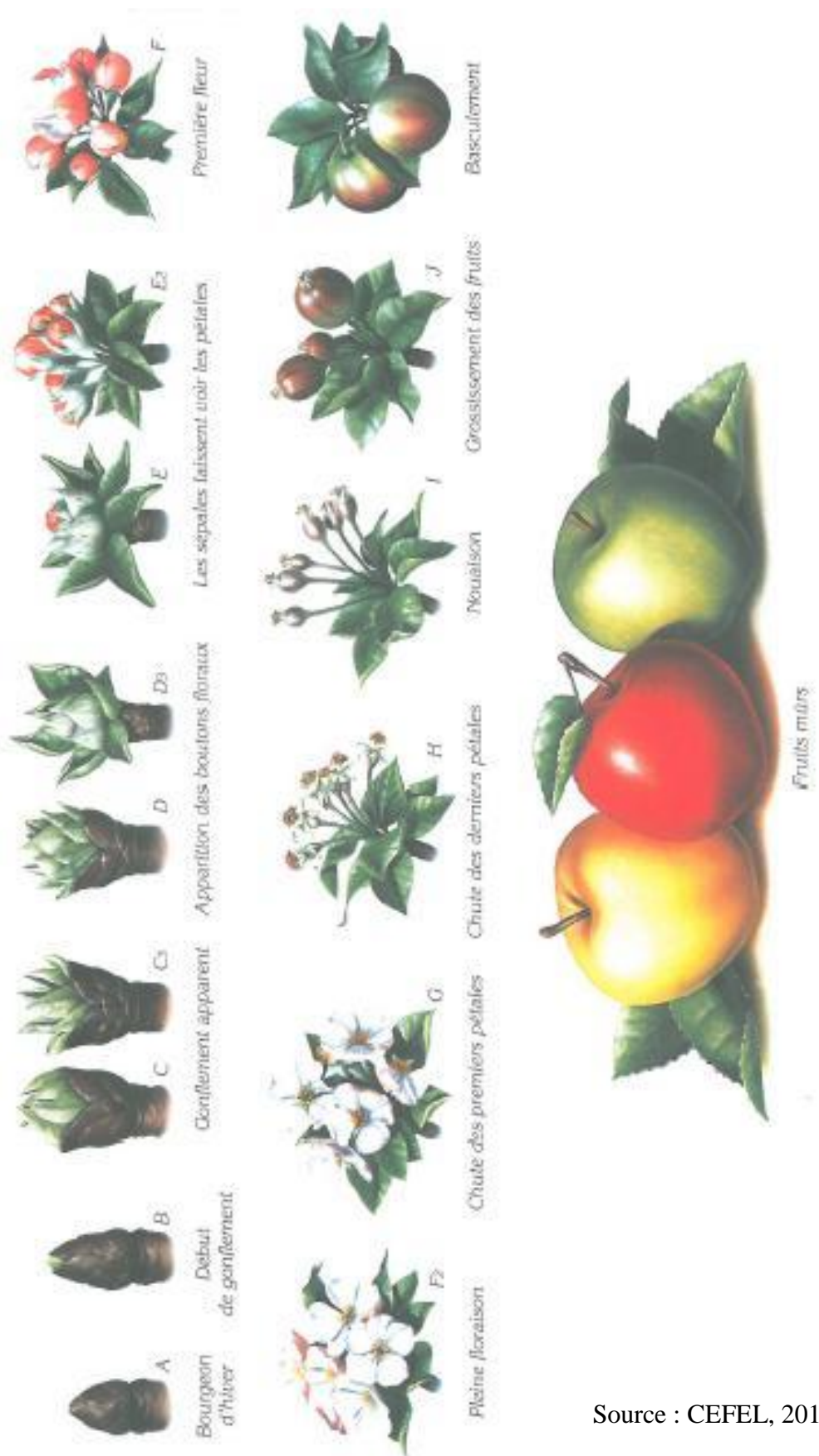
<u>Annexe I</u> : Les stades phénologiques du pommier d'après FLECKINGER	1
<u>Annexe II</u> : Les courbes de MILLS	2
<u>Annexe III</u> : Parcelle 2013 du CEFEL à Montauban.....	3
<u>Annexe IV</u> : Calendrier de traitements phytosanitaires des parcelles d'essais évaluant l'efficacité de produits à base de SDHI contre la tavelure du pommier	4
<u>Annexe V</u> : Données du suivi biologique, des conditions climatiques et de RIMpro au cours de la saison 2013	5
<u>Annexe VI</u> : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 22 avril (pousses) par Statbox	7
<u>Annexe VII</u> : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 6 mai (pousses) par Statbox	8
<u>Annexe VIII</u> : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 27 mai (pousses) par Statbox..	9
<u>Annexe IX</u> : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 6 juin (pousses) par Statbox	11
<u>Annexe X</u> : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 24 juin (pousses) par Statbox	13
<u>Annexe XI</u> : Essai 1, Analyse statistique de la notation du 24 juin (fruits) par Statbox	14
<u>Annexe XII</u> : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 6 mai (pousses) par Statbox ...	16
<u>Annexe XIII</u> : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 27 mai (pousses) par Statbox	17
<u>Annexe XIV</u> : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 6 juin (pousses) par Statbox .	18
<u>Annexe XV</u> : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 24 juin (pousses) par Statbox .	19
<u>Annexe XVI</u> : Essai 2, Analyse statistique de la notation du 24 juin (fruits) par Statbox ...	20

Annexe I :

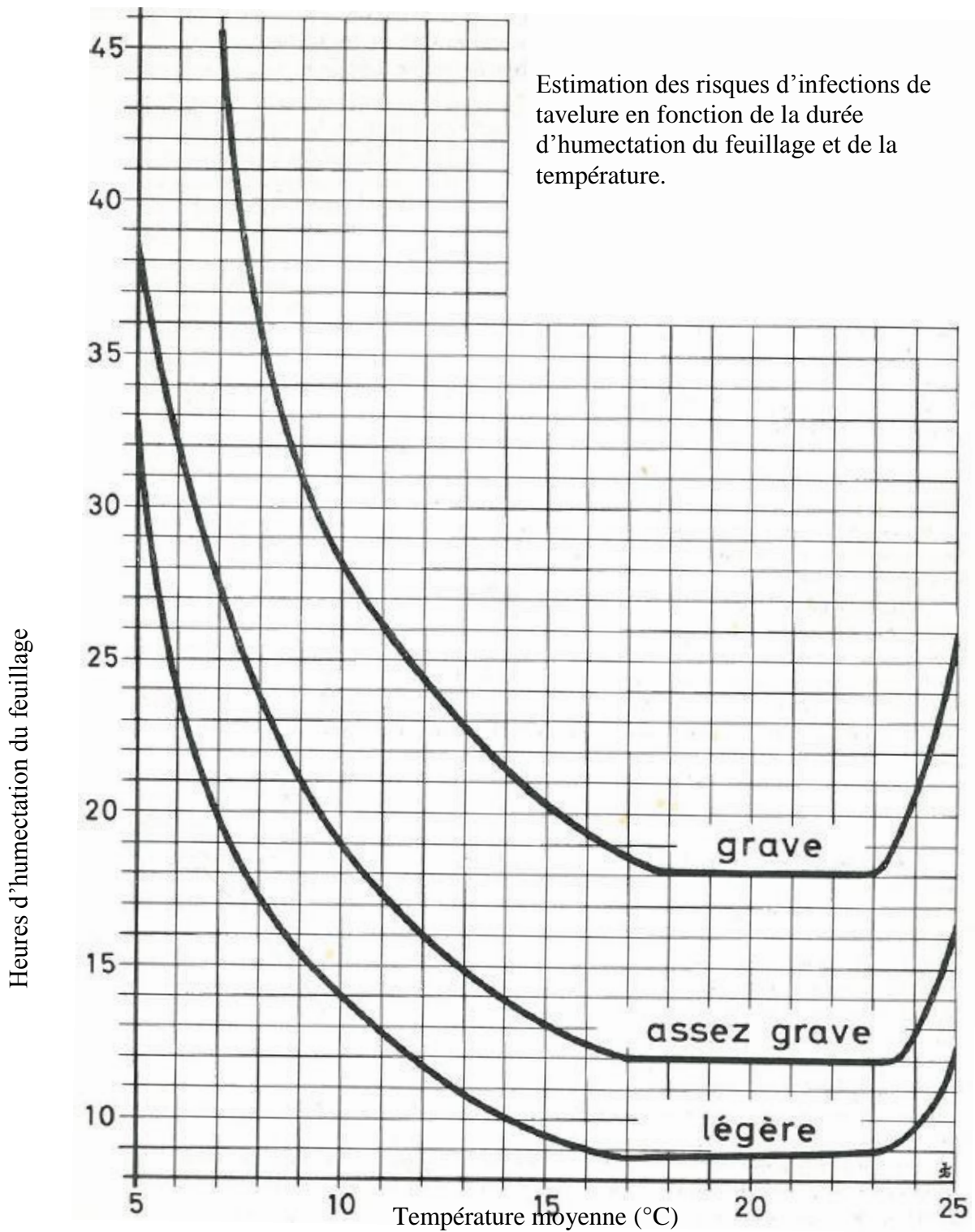
Les stades phénologiques du pommier d'après FLECKINGER

Le Pommier

Stades phénologiques d'après Fleckinger



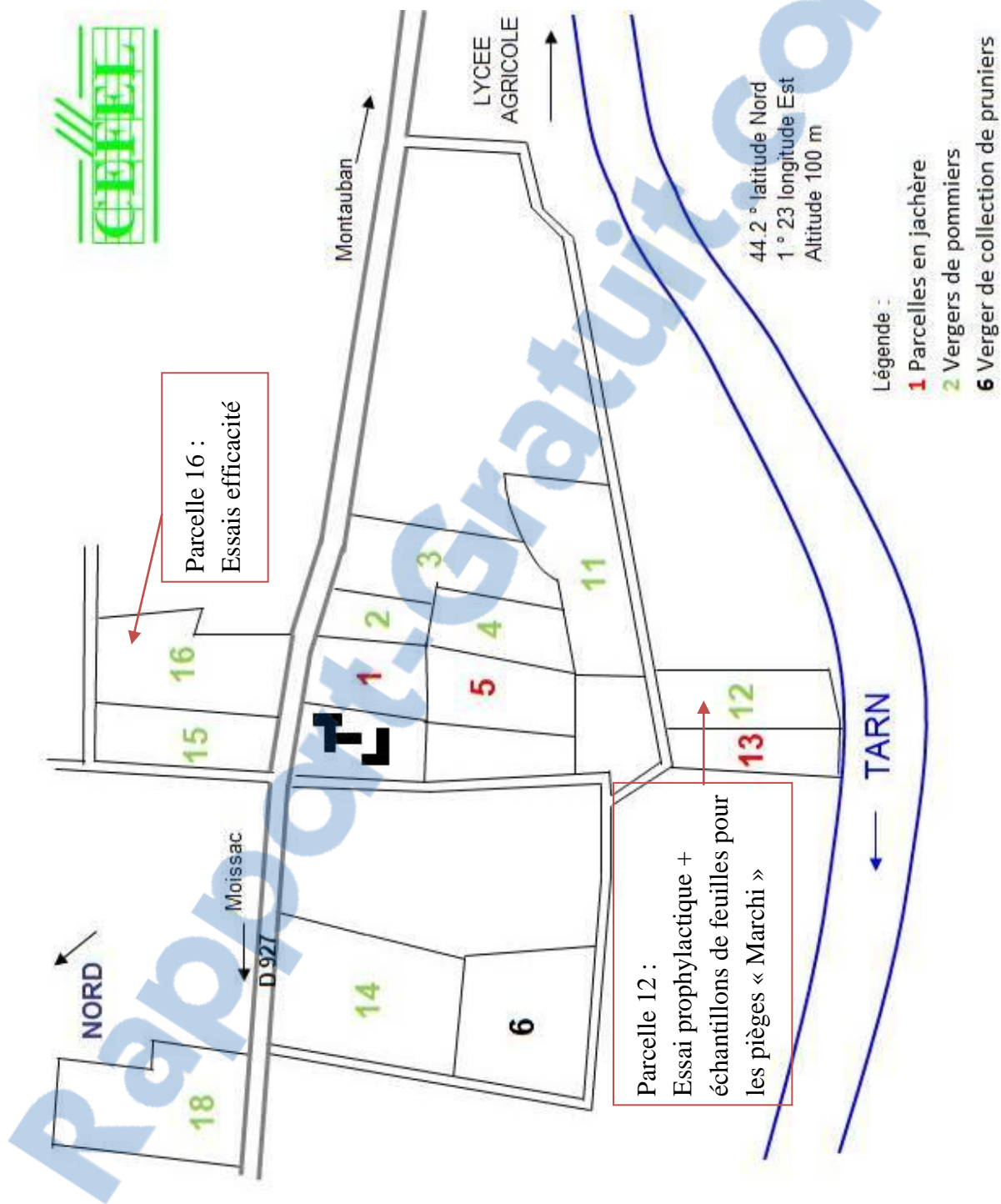
Source : CEFEL, 2013



Source : BOVEY *et al.*, 1972

Annexe III :

Parcellaire 2013 du CEFEL à Montauban



Source : CEFEL, 2013

Annexe IV :

Calendrier de traitements phytosanitaires des parcelles d'essais évaluant l'efficacité de produits à base de SDHI contre la tavelure du pommier

Date	Insecticide	Fongicide		Cible
		Essai 1 pré-floraison	Essai 2 post-floraison	
07/03/2013	-	Bouillie Bordelaise RS		Bactériose, chancre
14/03/2013	-	Bouillie Bordelaise RS		Bactériose, chancre
22/03/2013	KARATE ZEON OLIBLAN ADMIRAL PRO	Traitements propres à l'essai 1 de pré-floraison aux dates : du 25 mars, 3, 9, 15, 22 et 29 avril	DITHANE NEOTEC	Pucerons Acariens Pou de San José Tavelure
27/03/2013			DITHANE NEOTEC	Tavelure
31/03/2013			SYLLIT	
05/04/2013			DITHANE M45	
11/04/2013	SUPREME			Pucerons
18/04/2013				
25/04/2013				
30/04/2013				
03/05/2013				
07/05/2013	TEPPEKI			Pucerons
14/05/2013		AMODE DF DILAN CHORUS	Oïdium Tavelure Tavelure	
17/05/2013		ORDOVAL CHORUS CONCAZ	Tavelure Tavelure Tavelure	
22/05/2013		SIGMA DG	Tavelure	
27/05/2013		SIGMA DG	Tavelure	
31/05/2013		SIGMA DG CONCAZ	Tavelure Tavelure	
07/06/2013	TEPPEKI	SIGMA DG	Tavelure Pucerons	
12/06/2013	CORAGEN		Carpocapse, tordeuses	
20/06/2013		ORDOVAL	Tavelure	
24/07/2013		DILAN	Tavelure	

Annexe V :

Données du suivi biologique, des conditions climatiques et de RIMpro au cours de la saison 2013

Date	Suivi biologique		Conditions climatiques Station CEFEL				RIM pro Station CEFEL				
	Piège 2		T°C moyenne	HR (%)	Pluie (mm)	Humectation (en heure)	Stock ascospores immatures	Ascospores mûres	Ascospores projetées	Pourcentage d'ascospores projetées	R.I.M, (Related Model Infection)
	Nombres ascospores relevées	Pourcentage d'ascospores piégées (%)									
05/03/2013	0		13,5	72	1	0	9 997				
06/03/2013	2	0,55	10,7	91,5	1	16,3	9 997				
07/03/2013	0		13,2	84,5	5,5	9,48	9 997				
08/03/2013	1	0,27	13,3	81	2,5	6,3	9 997				
09/03/2013	0		12,0	83,5	3	8	9 997				
10/03/2013	0		11,2	79	0	7,54	9 997				
11/03/2013	0		10,3	84	2	12,42	9 997				
12/03/2013	0		7,6	85	0	7,54	9 997				
13/03/2013	0		0,9	97	3,5	8,12	9 997				
14/03/2013	0		3,0	81,5	1	3	9 997				
15/03/2013	0		3,2	77	0	3,18	9 997				
16/03/2013	0		6,0	77	0	8,12	9 997				
17/03/2013	1	0,27	8,3	92,5	6,5	15,06	9 997				
18/03/2013	1	0,27	6,2	91,5	5	14,48	9 997				
19/03/2013	0		9,1	79	0	5,12	9 997				
20/03/2013	4	1,10	8,9	86	1	11	9 949	31	10	0,13	
21/03/2013	0		10,2	73,5	0	9,42	9 926	45			
22/03/2013	0		10,7	78,5	4	8,42	9 903	59	1	0,01	
23/03/2013	0		11,8	90,5	3	13,18	9 740	154	115	1,45	
24/03/2013	0		11,5	85,5	2	11,36	9 510	276	67	0,85	59
25/03/2013	0		11,3	88	1,5	3,18	9 289	444	13	0,16	110
26/03/2013	1	0,27	10,9	85	0	9,3	9 063	646	17	0,21	
27/03/2013	0		10,5	81	1	9,3	8 920	778			
28/03/2013	46	12,64	9,6	95,5	4	18	8 647	780	737	9,31	46
29/03/2013	73	20,05	12,5	88	26	13,24	8 295	522	433	5,47	710
30/03/2013	16	4,40	11,7	90	8,5	11,24	7 933	299	408	5,15	1162
31/03/2013	10	2,75	9,5	79	0	1	7 554	479			
Bilan mars	155	42,58241758	9,5	84,3	82,0	9,0				22,7485159	
01/04/2013	6	1,65	8,3	88,5	4	2,24	7 223	642	680	8,59	
02/04/2013	12	3,30	11,0	83,5	0,5	2,24	6 919	352,7424	2	0,03	618
03/04/2013	5	1,37	10,1	78,5	0,0	7,48	6 712	511			3
04/04/2013	3	0,82	9,6	90	3,0	10,42	6 377	608	645	8,15	
05/04/2013	8	2,20	7,1	81	0,0	0,12	5 917	548			48
06/04/2013	0		5,8	86,5	0,0	9,3	5 745	655			155
07/04/2013	10	2,75	7,6	75	2,0	1,18	5 402	930			
08/04/2013	19	5,22	9,1	85,5	4,5	7,12	5 095	977	739	9,33	
09/04/2013	12	3,30	10,3	83	1,0	5,36	4 791	518	356	4,50	560
10/04/2013	0		13,7	74	0,0	5,18	4 587	421			709
11/04/2013	8	2,20	14,1	82,5	5	6,42	4 208	595	470	5,94	
12/04/2013	5	1,37	11,7	88	1,5	14,06	3 673	598	109	1,38	468
13/04/2013	2	0,55	15,6	73	0	7	3 425	754	16	0,20	501
14/04/2013	0		16,6	70	0	6,12	3 284	819			
15/04/2013	0		15,9	78	0,50	3,54	3 101	871	537	6,78	

Annexe V (suite) :

16/04/2013	0		17,9	79,5	0	9,06	2 837	574			493
17/04/2013	0		20	69,5	0	8	2 675	662			
18/04/2013	0		14,6	81	1,5	3,12	2 196	1 069			
19/04/2013	21	5,77	10,5	81,5	5,5	11,18	1 615	1 274	1359	17,17	
20/04/2013	0		10,4	72	0	3,42	1 418	362			20
21/04/2013	0		11,2	69,5	0	3,12	1 344	390			
22/04/2013	0		11,2	68,5	0	6,36	1 267	421			
23/04/2013	0		12,0	80	0	11,3	1 168	475			
24/04/2013	0		15,2	65,5	0	7,42	1 100	501			
25/04/2013	0		18,0	58,5	0	0,06	1 045	514			
26/04/2013	26	7,14	14,5	86	6,5	11,54	871	565	579	7,31	
27/04/2013	16	4,40	8,0	91	3,5	16,24	672	155	161	2,03	571
28/04/2013	13	3,57	8,1	85	0	10,42	571	152			670
29/04/2013	0		7,7	94,5	22	18,24	507	179	175	2,21	670
30/04/2013	4	1,10	10,7	93,5	1,5	11,36	454	48			824
Bilan avril	170	46,7032967	11,88333	79,683	62,5	7,28733333				73,6137426	
01/05/2013	10	2,75	14,0	80	8,0	8,42	413	67			824
02/05/2013	7	1,92	12,8	88	11,5	13,42	356	79	78	0,99	824
03/05/2013	0		12,8	90,5	0,0	12,24	291	65			893
04/05/2013	0		13,7	81,5	0,0	10,5	253	87			
05/05/2013	0		15,7	71,5	0,0	9,06	231	93			
06/05/2013	0		16,3	68,5	1	10,48	212	98			
07/05/2013	2	0,55	15,7	88,5	1	11,36	171	112	15	0,19	
08/05/2013	0		17,4	89,5	5,5	15,48	123	138	135	1,71	15
09/05/2013	0		16	91	11,5	16,12	94	30	28	0,35	130
10/05/2013	0		12,8	79,5	0,0	7,3	80	14			150
11/05/2013	0		12,9	77,5	0,0	2,48	65	20			
12/05/2013	0		12,9	82	0,0	2,3	51	29			
13/05/2013	0		14	78,5	0,0	6,48	41	35			
14/05/2013	0		14,8	79,5	1,5	9,36	37	35			
15/05/2013	8	2,20	11	92	13,5	15,3	30	35	32	0,40	1
16/05/2013	0		11	85,5	0,0	11,18	24	3			17
17/05/2013	0		12,5	76,5	0	8,36	20	3			
18/05/2013	1	0,27	11,9	84,5	3,5	6,18	16	3			
19/05/2013	0		12,3	83	2	8,12	13	2			
20/05/2013	0		11,2	85	0,00	13,36	11	2			
21/05/2013	2	0,55	10,3	97,5	4,0	24	9	2			
22/05/2013	0		14,6	83,5	0,5	10,06	7	2			
23/05/2013	5	1,37	12,9	82	2,5	9,24	6	1			
24/05/2013	0		9,9	86	5,50	13,36	5	1			
25/05/2013	2	0,55	10,4	81	3,5	12,12	4	1			
26/05/2013	1	0,27	11,3	75	0	10,36	3	1			
27/05/2013	0		14,4	71	0	7,3	3	1			
28/05/2013	0		11,5	92	17,0	17,42	2	1			
29/05/2013	1	0,27	9,9	92	8,0	15,06	2	1			
30/05/2013	0		11,3	96	43,5	20	2	1			
31/05/2013	0		14,4	86	0,0	6,48	2	1			
Bilan mai	39	10,71428571	13,0	83,597	143,5	11,0606452				3,63774157	
TOTAL 2013	364	100,00			288,0				7917,00	100,00	

22/04/2013

Statbox 7.2 - Comparaison de k échantillons indépendants

Variables étudiées : S M1 Témoin / S M2 Sigma DG / S M3 Chorus / S M4 Score / S M5 Produit B / S M6 Produit D / S M7 Dithane / S M8 Produit S

[Test de Kruskal Wallis](#)

Annexe VI :

Test de Kruskal Wallis :

Remarque : le H de Kruskal-Wallis a été calculé en tenant compte des ex æquo **Essai 1, Analyse statistique de la notation du 22 avril (pousses) par Statbox**

Valeur observée du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 7) : 6,202

P-value associée : 0,516

Le test étant unilatéral, la p-value est comparée au seuil de signification Alpha : 0,050

Résultats du test non paramétrique de Kruskal Wallis suite à la vérification des postulats de l'ANOVA (non respectés).

Valeur critique du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 7) : 14,049

22/04/2013

Conclusion de normalité (coefficients de K.PEARSON) :

Au seuil de signification Alpha : 0,050 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 8 groupes

Autrement dit, la différence entre les groupes n'est pas significative

Symétrie (valeur théorique = 0) : Beta 1 = 5,564 Prob. : 0,000

Aplatissement (valeur idéale théorique = 3) : Beta 2 = 11,959 Prob. : 0,000

Résidus suspects (méthode de GRUBBS) :

résidu suspect n°1 : observation n°7; facteur 1 = Modalité, niveau 1 = M1

Cartographie des résidus :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									

Légende :

	Donnée manquante
	< - 0,317
	< 0,000
	< 0,317
	< 999999,000

Ecart type des résidus :

Ecart-types facteur 1 = Modalité	
	E.T.
1 (M1)	1,335
2 (M2)	0,530
3 (M3)	0,177
4 (M4)	0,177
5 (M5)	0,177
6 (M6)	0,177
7 (M7)	0,177
8 (M8)	0,177

$\chi^2 = 30,233$ Prob. = 0,00011

22/04/2013

ATTENTION : les hypothèses de l'analyse de variance ne sont pas bien respectées

Statbox 7.2 - Comparaison de k échantillons indépendants

Les variances intra-traitement (blocs) ne sont pas homogènes

Variables étudiées : S M1 Témoin / S M2 Sigma DG / S M3 Chorus / S M4 Score / S M5 Produit B / S M6 Produit D / S M7 Dithane / S M8 Produit S

Ecart-types blocs = Bloc

[Test de Kruskal Wallis](#)

	E.T.
1 (B1)	0,401
2 (B2)	0,267
3 (B3)	0,267
4 (B4)	0,267

Remarque : le H de Kruskal-Wallis a été calculé en tenant compte des ex æquo

Valeur observée du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 7) : 6,202

P-value associée : 0,516

Le test étant unilatéral, la p-value est comparée au seuil de signification Alpha : 0,050

Valeur critique du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 7) : 14,049

Conclusion :

Au seuil de signification Alpha : 0,050 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 8 groupes

Autrement dit, la différence entre les groupes n'est pas significative

Annexe VII :

Essai 1, Analyse statistique de la notation du 6 mai (pousses) par Statbox

Résultats du test non paramétrique de Kruskal Wallis suite à la vérification des postulats de l'ANOVA (non respectés).

06/05/2013

Indices de normalité (coefficients de K.PEARSON) :

Symétrie (valeur idéale théorique = 0) : Beta 1 = 1,185 Prob. : 0,009

Aplatissement (valeur idéale théorique = 3) : Beta 2 = 3,811 Prob. : 0,317

Résidus suspects (méthode de GRUBBS) :

Aucun résidu suspect

Cartographie des résidus :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									

Légende :

	Donnée manquante
	< - 0,317
	< 0,000
	< 0,317
	< 999999,000

Ecart type des résidus :

Ecart-types facteur 1 = Modalité

	E.T.
1 (M1)	0,848
2 (M2)	0,468
3 (M3)	0,621
4 (M4)	0,797
5 (M5)	0,228
6 (M6)	0,228
7 (M7)	0,368
8 (M8)	0,228

$khi^2 = 10,595$ Prob. = 0,15633

Ecart-types blocs = Bloc

	E.T.
1 (B1)	0,582
2 (B2)	0,598
3 (B3)	0,443
4 (B4)	0,267

$khi^2 = 4,535$ Prob. = 0,20762

06/05/2013

Statbox 7.2 - Comparaison de k échantillons indépendants

Variables étudiées : S M1 Témoin / S M2 Sigma DG / S M3 Chorus / S M4 Score / S M5 Produit B / S M6 Produit D / S M7 Dithane / S M8 Produit S

[Test de Kruskal Wallis](#)

Test de Kruskal Wallis :

Remarque : le H de Kruskal-Wallis a été calculé en tenant compte des ex æquo

Valeur observée du H de Kruskal-Wallis distribué comme un khi^2 (ddl = 7) : 5,757

P-value associée : 0,568

Le test étant unilatéral, la p-value est comparée au seuil de signification Alpha : 0,050

Valeur critique du H de Kruskal-Wallis distribué comme un khi^2 (ddl = 7) : 14,049

Conclusion :

Au seuil de signification Alpha : 0,050 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 8 groupes

Autrement dit, la différence entre les groupes n'est pas significative

Annexe VIII :

Essai 1, Analyse statistique de la notation du 27 mai (pousses) par Statbox

Résultats du test de l'ANOVA

27/05/2013

Indices de normalité (coefficients de K.PEARSON) :

Symétrie (valeur idéale théorique = 0) : Beta 1 = 0,272 Prob. : 0,208

Aplatissement (valeur idéale théorique = 3) : Beta 2 = 3,040 Prob. : 0,961

Résidus suspects (méthode de GRUBBS) :

Aucun résidu suspect

Cartographie des résidus :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									

Légende :

	Donnée manquante
	< - 2,077
	< 0,000
	< 2,077
	< 999999,000

Ecart type des résidus :

Ecarts-types facteur 1 = Modalité

	E.T.
1 (M1)	5,079
2 (M2)	1,921
3 (M3)	5,817
4 (M4)	2,017
5 (M5)	2,377
6 (M6)	1,672
7 (M7)	3,663
8 (M8)	2,670

$kh^2 = 8,294$ Prob. = 0,30692

Ecarts-types blocs = Bloc

	E.T.
1 (B1)	3,155
2 (B2)	4,374
3 (B3)	2,059
4 (B4)	2,825

$kh^2 = 3,753$ Prob. = 0,28881

Test de Tukey :

SCE test de TUKEY = 157,873 Prob. = 0,000

ATTENTION : les hypothèses de l'analyse de variance ne sont pas bien respectées

Il y a une interaction Traitements * Blocs

Analyse de variance :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	965,969	31	31,160		
Var.FACTEUR 1	541,219	7	77,317	5,615	0,001
Var.BLOCS	135,594	3	45,198	3,283	0,041
VAR.RESIDUELLE 1	289,156	21	13,769		

Indicateurs :

	Valeur
Moyenne générale	3,531
Ecart type résiduel	3,711
Coef. variation %	105,082

Annexe VIII (suite):

Moyennes :

Moyennes facteur 1 = Modalité

	Moyenne
1 (M1)	12,750
2 (M2)	0,500
3 (M3)	7,250
4 (M4)	1,000
5 (M5)	0,000
6 (M6)	0,750
7 (M7)	3,250
8 (M8)	2,750

Moyennes blocs = Bloc

	Moyenne
1 (b1)	0,750
2 (b2)	5,250
3 (b3)	5,750
4 (b4)	2,375

Puissance de l'essai :

Puissance facteur 1 : Modalité

		Risque de 1ère espèce (%)		
Ecart	Ecart	5	10	20
En %	V.Absolue	Puissance a priori (%)		
5	0,180	5	10	20
10	0,350	5	10	20
		Puissance à posteriori (%)		
Moyennes observées		96	98	99

Comparaisons de moyennes

Test de Newman-Keuls au seuil 5% :

FACTEUR 1 : Modalité

Valeur des PPAS

Nombre de moyennes	PPAS
2	5,459
3	6,610
4	7,311
5	7,816
6	8,209
7	8,530
8	8,802

Groupes homogènes

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes
1	M1	12,750	A
3	M3	7,250	B
7	M7	3,250	B
8	M8	2,750	B
4	M4	1,000	B
6	M6	0,750	B
2	M2	0,500	B
5	M5	0,000	B

Annexe IX :

Essai 1, Analyse statistique de la notation du 6 juin (pousses) par Statbox

Résultats du test de l'ANOVA

06/06/3013

Indices de normalité (coefficients de K.PEARSON) :

Symétrie (valeur idéale théorique = 0) : Beta 1 = 0,002 Prob. : 0,920

Aplatissement (valeur idéale théorique = 3) : Beta 2 = 2,401 Prob. : 0,460

Résidus suspects (méthode de GRUBBS) :

Aucun résidu suspect

Cartographie des résidus :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									

Légende :

	Donnée manquante
	< - 3,978
	< 0,000
	< 3,978
	< 999999,000

Ecart type des résidus :

Ecarts-types facteur 1 = Modalité

	E.T.
1 (M1)	9,316
2 (M2)	5,384
3 (M3)	11,816
4 (M4)	2,571
5 (M5)	5,000
6 (M6)	4,655
7 (M7)	4,872
8 (M8)	4,615

$khi^2 = 8,359$ Prob. = 0,3015

Ecarts-types blocs = Bloc

	E.T.
1 (B1)	6,437
2 (B2)	5,169
3 (B3)	7,478
4 (B4)	5,246

$khi^2 = 1,264$ Prob. = 0,74151

Test de Tukey :

SCE test de TUKEY = 745,191 Prob. = 0,000

ATTENTION : les hypothèses de l'analyse de variance ne sont pas bien respectées

Il y a une interaction Traitements * Blocs

Analyse de variance :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	3494,219	31	112,717		
Var.FACTEUR 1	1729,969	7	247,138	4,891	0,002
Var.BLOCS	703,094	3	234,365	4,638	0,012
VAR.RESIDUELLE 1	1061,156	21	50,531		

Indicateurs :

	Valeur
Moyenne générale	7,156
Ecart type résiduel	7,109
Coef. variation %	99,333

Annexe IX (suite):

Moyennes :

Moyennes facteur 1 = Modalité	
	Moyenne
1 (M1)	22,000
2 (M2)	2,250
3 (M3)	16,000
4 (M4)	4,750
5 (M5)	1,500
6 (M6)	0,500
7 (M7)	8,250
8 (M8)	2,000

Moyennes blocs = Bloc

	Moyenne
1 (b1)	0,875
2 (b2)	8,875
3 (b3)	13,625
4 (b4)	5,250

Puissance de l'essai :

Puissance facteur 1 : Modalité

		Risque de 1ère espèce (%)		
Ecart	Ecart	5	10	20
En %	V. Absolue	Puissance a priori (%)		
5	0,360	5	10	20
10	0,720	5	10	20
Moyennes observées		Puissance à posteriori (%)		
		94	97	99

Comparaisons de moyennes

Test de Newman-Keuls au seuil 5% :

FACTEUR 1 : Modalité

Valeur des PPAS

Nombre de moyennes	PPAS
2	10,457
3	12,662
4	14,006
5	14,972
6	15,725
7	16,341
8	16,862

Groupes homogènes

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes	
1	M1	22,000	A	
3	M3	16,000	A	B
7	M7	8,250		B
4	M4	4,750		B
2	M2	2,250		B
8	M8	2,000		B
5	M5	1,500		B
6	M6	0,500		B

Annexe X :

Essai 1, Analyse statistique de la notation du 24 juin (pousses) par Statbox

Résultats des tests non paramétriques de Kruskal Wallis et de Man-Whitney suite à la vérification des postulats de l'ANOVA (non respectés).

(Afin d'alléger la présentation des résultats de l'analyse statistique, seul un exemple de réalisation du test Man-Whitney est présenté. Un tableau récapitulatif rassemble les résultats des tests effectués.)

24/06/2013

Statbox 7.2 - Comparaison de k échantillons indépendants

Variables étudiées : S M1 Témoin / S M2 Sigma DG / S M3 Chorus / S M4 Score / S M5 Produit B / S M6 Produit D / S M7 Dithane / S M8 Produit S

Test de Kruskal Wallis :

Remarque : le H de Kruskal-Wallis a été calculé en tenant compte des ex aequo

Valeur observée du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 7) : 14,212

P-value associée : 0,048

Le test étant unilatéral, la p-value est comparée au seuil de signification Alpha : 0,050

Valeur critique du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 7) : 14,049

Conclusion :

Au seuil de signification Alpha : 0,050 on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 8 groupes

Autrement dit, la différence entre les groupes est significative

24/06/2013

Statbox 7.2 - Comparaison de 2 échantillons indépendants

Echantillon 1 : S M1 Témoin

Echantillon 2 : S M2 Sigma DG

Test de Mann-Whitney :

Siegel (S.) 1956. Nonparametric statistics for the behavioural sciences. McGraw-Hill Kogakusha

La table des p-values du U de Mann-Whitney est donnée pp. 272-273

Remarque : la variance du U de Mann-Whitney a été calculée en tenant compte des ex aequo

Valeur observée du U de Mann-Whitney : 16,000

Espérance du U de Mann-Whitney : 8,000

Variance du U de Mann-Whitney : 11,857

Le U de Mann-Whitney est centré réduit et testé par rapport à la loi normale

Valeur observée de la statistique centrée réduite z : 2,323

P-value associée : 0,010

Le test étant bilatéral, la p-value est comparée au seuil de signification Alpha/2 : 0,025

Valeur critique de la statistique centrée réduite z : 1,960

Conclusion :

Au seuil de signification total Alpha : 0,050 on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre échantillons

Autrement dit, la différence entre échantillons est significative

Tableau de résumé des résultats des tests non paramétriques (Kruskal Wallis et Man-Whitney)

Modalité	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
M9		NS	NS	NS	NS	S	NS
M10			NS	NS	NS	S	NS
M11				NS	NS	S	NS
M12					NS	S	NS
M13						S	NS
M14							S
M15							

NS : Non significatif

S : Significatif

Annexe XI :

Essai 1, Analyse statistique de la notation du 24 juin (fruits) par Statbox

Résultats du test de l'ANOVA

Indices de normalité (coefficients de K.PEARSON) :

Symétrie (valeur idéale théorique = 0) : Beta 1 = 0,001 Prob. : 0,944

Aplatissement (valeur idéale théorique = 3) : Beta 2 = 2,769 Prob. : 0,775

Résidus suspects (méthode de GRUBBS) :

Aucun résidu suspect

Cartographie des résidus :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									

Légende :

	Donnée manquante
	< - 3,797
	< 0,000
	< 3,797
	< 999999,000

Ecart type des résidus :

Ecarts-types facteur 1 = Modalité

	E.T.
1 (M1)	7,609
2 (M2)	3,637
3 (M3)	7,364
4 (M4)	5,250
5 (M5)	4,715
6 (M6)	6,575
7 (M7)	9,050
8 (M8)	4,679

$khi^2 = 3,346$ Prob. = 0,85226

Ecarts-types blocs = Bloc

	E.T.
1 (B1)	5,423
2 (B2)	5,655
3 (B3)	6,675
4 (B4)	5,668

$khi^2 = 0,350$ Prob. = 0,94925

Test de Tukey :

SCE test de TUKEY = 16,213 Prob. = 0,572

Test non significatif

Analyse de variance :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	8775,500	31	283,081		
Var.FACTEUR 1	7299,500	7	1042,786	22,658	0,000
Var.BLOCS	509,500	3	169,833	3,690	0,028
VAR.RESIDUELLE 1	966,500	21	46,024		

Indicateurs :

	Valeur
Moyenne générale	14,875
Ecart type résiduel	6,784
Coef. variation %	45,607

Annexe XI (suite):

Moyennes :

Moyennes facteur 1 = Modalité

	Moyenne
1 (M1)	50,000
2 (M2)	8,000
3 (M3)	25,000
4 (M4)	13,000
5 (M5)	1,000
6 (M6)	6,000
7 (M7)	14,000
8 (M8)	2,000

Moyennes blocs = Bloc

	Moyenne
1 (b1)	8,500
2 (b2)	15,500
3 (b3)	19,500
4 (b4)	16,000

Puissance de l'essai :

Puissance facteur 1 : Modalité

		Risque de 1ère espèce (%)		
Ecarts	Ecarts	5	10	20
En %	V. Absolue	Puissance a priori (%)		
5	0,740	5	10	20
10	1,490	5	11	21
		Puissance à posteriori (%)		
Moyennes observées		99	99	99

Comparaisons de moyennes

Test de Newman-Keuls au seuil 5% :

FACTEUR 1 : Modalité

Valeur des PPAS

Nombre de moyennes	PPAS
2	9,980
3	12,084
4	13,366
5	14,289
6	15,008
7	15,596
8	16,092

Groupes homogènes

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes		
1	M1	50,000	A		
3	M3	25,000		B	
7	M7	14,000		B	C
4	M4	13,000		B	C
2	M2	8,000			C
6	M6	6,000			C
8	M8	2,000			C
5	M5	1,000			C

Annexe XII :

Essai 2, Analyse statistique de la notation du 6 mai (pousses) par Statbox

Résultats du test non paramétrique de Kruskal Wallis

06/05/2013

Statbox 7.2 - Comparaison de k échantillons indépendants

Variabes étudiées : S M9 Sigma DG / S M10 Brocelian / S M11 Score / S M12 Produit B / S M13 Produit D / S M14 Témoin / S M15 Produit S

[Test de Kruskal Wallis](#)

Test de Kruskal Wallis :

Remarque : le H de Kruskal-Wallis a été calculé en tenant compte des ex æquo

Valeur observée du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 6) : 3,390

P-value associée : 0,759

Le test étant unilatéral, la p-value est comparée au seuil de signification Alpha : 0,050

Valeur critique du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 6) : 12,571

Conclusion :

Au seuil de signification Alpha : 0,050 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 7 groupes

Autrement dit, la différence entre les groupes n'est pas significative

Annexe XIII :

Essai 2, Analyse statistique de la notation du 27 mai (pousses) par Statbox

Résultats du test non paramétrique de Kruskal Wallis

27/05/2013

Statbox 7.2 - Comparaison de k échantillons indépendants

Variabes étudiées : S M9 Sigma DG / S M10 Brocelian / S M11 Score / S M12 Produit B / S M13 Produit D / S M14 Témoin / S M15 Produit S

[Test de Kruskal Wallis](#)

Test de Kruskal Wallis :

Remarque : le H de Kruskal-Wallis a été calculé en tenant compte des ex æquo

Valeur observée du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 6) : 6,060

P-value associée : 0,417

Le test étant unilatéral, la p-value est comparée au seuil de signification Alpha : 0,050

Valeur critique du H de Kruskal-Wallis distribué comme un χ^2 (ddl = 6) : 12,571

Conclusion :

Au seuil de signification Alpha : 0,050 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 7 groupes

Autrement dit, la différence entre les groupes n'est pas significative

Annexe XIV :

Essai 2, Analyse statistique de la notation du **6 juin** (pousses) par Statbox

Tableau de résumé des résultats des tests non paramétriques (Kruskal Wallis et Man-Whitney)

Modalité	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
M9		NS	NS	NS	NS	S	NS
M10			NS	NS	NS	S	NS
M11				NS	NS	S	NS
M12					NS	S	NS
M13						S	NS
M14							S
M15							

NS : Non significatif

S : Significatif

Annexe XV :

Essai 2, Analyse statistique de la notation du **24 juin** (pousses) par Statbox

Tableau de résumé des résultats des tests non paramétriques (Kruskal Wallis et Man-Whitney)

Modalité	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
M9		S	NS	NS	NS	S	NS
M10			NS	NS	NS	S	NS
M11				NS	NS	S	NS
M12					NS	S	NS
M13						S	NS
M14							S
M15							

NS : Non significatif

S : Significatif

Annexe XVI :

Essai 2, Analyse statistique de la notation du **24 juin** (fruits) par Statbox

Tableau de résumé des résultats des tests non paramétriques (Kruskal Wallis et Man-Whitney)

Modalité	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
M9		NS	NS	NS	NS	S	NS
M10			NS	NS	NS	NS	NS
M11				NS	NS	S	NS
M12					NS	S	NS
M13						S	NS
M14							S
M15							

NS : Non significatif

S : Significatif



Diplôme / Mention :

Master 2 Biologie et Technologie du Végétal

Spécialité :

Production et Technologie du Végétal (ProTeV)

Parcours :

Productions Végétales Spécialisées

Option :

Produits phytosanitaires, réglementation, méthodes alternatives

Auteur : Marie-Neige HEBRARD

Organisme d'accueil : CEFEL

Adresse : 49 chemin des Rives
82000 MONTAUBAN

Nb pages : 34

Annexes : 16

Année de soutenance : 2013

Maîtres de stage :

Marie-Eve BIARGUES et Emile KOKE

Titre français :

La tavelure en vergers de pommier : Suivi de la contamination primaire et évaluation de nouvelles substances actives SDHI contre *Venturia inaequalis*.

Titre anglais :

Scab in apple orchards : Monitoring of primary contamination and evaluation of new SDHI active substances against *Venturia inaequalis*.

Résumé :

La tavelure causée par l'agent pathogène *Venturia inaequalis* est l'une des maladies cryptogamiques des plus préjudiciables en vergers de pommiers. Un fruit taché n'est pas commercialisable. La lutte chimique est la technique la plus fréquemment employée pour contrôler la maladie. Elle repose sur une stratégie de lutte préventive, s'effectuant au printemps lors des contaminations primaires.

Deux outils tels que le suivi biologique et la modélisation par RIMpro des projections d'ascospores permettent d'améliorer le positionnement des traitements et de faciliter la diminution des applications de fongicides anti-tavelure. Malgré tout, des phénomènes de résistances sont observés en verger. Pour pallier à cette éventualité, la recherche phytopharmaceutique propose de nouvelles solutions dans la lutte chimique contre la tavelure. C'est le cas de trois substances actives issues de la famille des SDHI, destinées d'ici 2014 au marché des fongicides.

Ne disposant pas de références techniques sur leur comportement en vergers, deux expérimentations ont été mises en place sur le site du CEFEL. Les essais efficacité ont été positionnés à deux moments distincts sur la période des contaminations primaires. Les résultats des expérimentations ont mis en évidence que les produits à base de SDHI ont des efficacités tout aussi bonnes, voire meilleure, que la référence CEB à base de captane, quel que soit leur positionnement avant ou après fleur.

Abstract :

Apple scab caused by the pathogen *Venturia inaequalis* is one of the most damaging fungal diseases in apple orchards. A stained fruit is not marketable. Chemical control is the most frequently used technique against the disease. It is based on a preventive strategy, taking place in the spring during the primary contamination.

Two tools such as biological monitoring and modelling by RIMpro ascospores discharge can improve the positioning of the treatment and facilitate the reduction of applications of anti-scab fungicides. Nevertheless, resistance phenomena are observed in the orchard. To avoid this risk, plant protection research offers new solutions for chemical control against apple scab. Such is the case of three active substances belonging to the family of SDHI, for the fungicide market in 2014.

Lacking technical references on their behavior in orchards, two experiments were implemented on the site CEFEL. The efficacy trials were positioned at two different times during the period of primary contamination. The results of experiments have shown a good efficiency of the three SDHI products or better than the CEB reference containing captan, whichever of their position before or after flower.

Mots-clés :

tavelure, *Venturia inaequalis*, contaminations primaires, essais efficacité, fongicides, famille des SDHI.

Key Words :

apple scab, *Venturia inaequalis*, primary contamination, efficacy trials, fungicides, family SDHI

