



UFR Sciences  
2, Bd Lavoisier  
49045 ANGERS Cedex 01

AGROCAMPUS OUEST  
65 rue de St Brieuc, CS 84 215, BP 35042  
- RENNES Cedex  
Université de Rennes I  
1, 2 rue du Thabor, CS 46510 - 35065  
RENNES Cedex

Ctifl de Lanxade  
Route des Nébouts  
24130 PRIGONRIEUX

### Mémoire de Fin d'Etudes

#### **Master 2 Sciences Technologie Santé Mention Biologie et Technologie du Végétal**

#### **Spécialité : Production et Technologie du Végétal (ProTeV)**

Parcours : I Productions Végétales Spécialisées / Option : Produits phytosanitaires, méthodes alternatives et règlementation

Année universitaire 2013-2014

#### **Adaptation des doses et des volumes des traitements phytosanitaires à la végétation du pommier**

Par : Nicolas ANDRE



Soutenu à Angers le : 15 septembre 2014

Maître de stage : Florence VERPONT



UFR Sciences  
2, Bd Lavoisier  
49045 ANGERS Cedex 01

AGROCAMPUS OUEST  
65 rue de St Brieuc, CS 84 215, BP 35042  
- RENNES Cedex  
Université de Rennes I  
1, 2 rue du Thabor, CS 46510 - 35065  
RENNES Cedex

Ctifl de Lanxade  
Route des Nébouts  
24130 PRIGONRIEUX

### Mémoire de Fin d'Etudes

## **Master 2 Sciences Technologie Santé Mention Biologie et Technologie du Végétal**

### **Spécialité : Production et Technologie du Végétal (ProTeV)**

Parcours : I Productions Végétales Spécialisées / Option : Produits phytosanitaires, méthodes alternatives et règlementation

Année universitaire 2013-2014

## **Adaptation des doses et des volumes des traitements phytosanitaires à la végétation du pommier**

Par : Nicolas ANDRE



Soutenu à Angers le : 15 septembre 2014

Maître de stage : Florence VERPONT



**ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT****M2 PROTeV****2013-2014**

Je, soussigné (e) : Nicolas ANDRE déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.

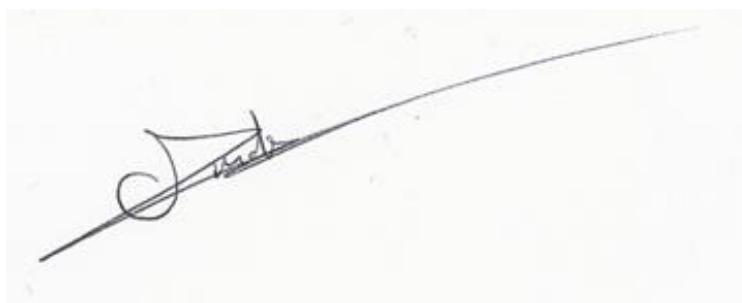
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour ce rapport, rédigé au cours de mon master 2 Production et Technologie du Végétal (ProTeV).

Je m'engage également à respecter les consignes données pour la rédaction de ce rapport.

A : PRIGONRIEUX

Le : 29 août 2014

Signature :





## **Remerciements**

Tout d'abord, je tiens à remercier Florence VERPONT, ma maître de stage, pour la confiance qu'elle m'a témoigné tout au long du stage, en m'accordant une pleine autonomie dans la réalisation de mes travaux. Je la remercie aussi pour le temps qu'elle m'a accordé dans la rédaction de ce rapport et les connaissances qu'elle m'a transmises et permis d'acquérir au travers du stage mais aussi lors des différentes rencontres techniques.

Je tiens également à remercier Jean Marc JOURDAIN, directeur du Ctifl de Laxnade, pour l'intérêt et le suivi dont il a fait preuve à l'égard des stagiaires.

Je remercie aussi Joël FAVAREILLE pour ses conseils, son aide lors des traitements phytosanitaires et le partage de son expérience.

Mes remerciements s'adressent également au personnel de l'atelier et du domaine pour leur disponibilité, notamment Jean Paul qui a réalisé la majorité des applications phytosanitaires de la saison pour mon essai.

Je n'oublie pas l'ensemble des stagiaires qui ont su faire régner pendant ces six mois de stage une ambiance très agréable. Je leur souhaite à tous une très bonne continuation.

Enfin, merci à Mickaël DELAIRE pour sa lecture attentive de mon rapport et ses conseils avisés.



# Table des matières

Introduction .....	1
Partie I. Synthèse bibliographique.....	2
1.1    LA CULTURE DU POMMIER, QUELQUES GENERALITES .....	2
1.1.1    Aspects économiques .....	2
1.1.2    Classification .....	2
1.1.3    Biologie et physiologie.....	2
1.2    LA MISE EN ŒUVRE DE LA PROTECTION PHYTOSANITAIRE .....	2
1.2.1 <i>Les principaux bioagresseurs du pommier</i> .....	2
1.2.1.1    La tavelure du pommier .....	3
1.2.1.2    Le puceron cendré .....	4
1.2.2 <i>Le matériel de pulvérisation en fruits à pépins</i> .....	4
1.2.2.1    Les pulvérisateurs .....	4
1.2.2.2    Les buses .....	5
1.3    LA QUALITE DE LA PULVERISATION EN ARBORICULTURE FRUITIERE.....	6
1.3.1 <i>Généralité</i> .....	6
1.3.2 <i>Critères d'évaluation de la qualité de la pulvérisation</i> .....	6
1.3.3 <i>Méthodes de quantification des dépôts de bouillie phytosanitaire</i> .....	7
1.4    FACTEURS INFLUENÇANT L'EFFICACITE D'UNE PULVERISATION .....	7
1.4.1 <i>La météorologie et le mode d'action du produit</i> .....	7
1.4.2 <i>Le matériel de pulvérisation et son réglage</i> .....	8
1.4.3 <i>La structure et le stade végétatif du pommier</i> .....	9
1.5    L'EVALUATION DE LA SURFACE FOLIAIRE .....	9
1.5.1 <i>Mesure directe</i> .....	9
1.5.2 <i>Mesure indirecte</i> .....	10
1.5.2.1    Tree Row Volume (TRV) et Leaf Wall Area (LWA).....	10
1.5.2.2    L'analyse du spectre lumineux .....	10
1.6    EXPRESSIONS ET METHODES D'UTILISATION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES .....	11
1.6.1 <i>Mode d'expression de la dose homologuée</i> .....	11
1.6.2 <i>Une expression et une utilisation des doses inadaptées</i> .....	11
1.6.3 <i>Les outils d'adaptation en Europe</i> .....	12
1.6.3.1    L'outil Français « Optidose » en vigne .....	12
1.6.3.2    Le modèle anglais : PACE .....	13



1.6.3.3	Le modèle Espagnol : Dosafrut .....	14
<b>Partie II.</b>	<b>Adaptation des doses et des volumes .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJECTIF DE L'ETUDE .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Description du site expérimental.....</i>	15
<b>2.2.1.1</b>	La parcelle d'essai.....	15
<b>2.2.1.2</b>	La stratégie de protection employée.....	16
<b>2.2.2</b>	<i>Facteurs et modalités étudiés.....</i>	16
<b>2.2.2.1</b>	Les facteurs.....	16
<b>2.2.2.2</b>	Les modalités de l'essai .....	17
<b>2.2.3</b>	<i>Dispositif expérimental.....</i>	18
<b>2.2.4</b>	<i>Matériel de pulvérisation .....</i>	18
<b>2.2.5</b>	<i>Observations et mesures .....</i>	18
<b>2.2.5.1</b>	Suivi de pousse .....	18
<b>2.2.5.2</b>	Caractérisation de la végétation.....	18
<b>2.2.5.3</b>	Condition d'une application .....	19
<b>2.2.5.4</b>	Présence et dégâts des bioagresseurs.....	19
<b>2.2.5.5</b>	Indicateurs.....	19
<b>2.2.6</b>	<i>Traitements des données .....</i>	19
<b>2.3</b>	<b>RESULTATS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Conditions météorologiques printanières et estivales.....</i>	19
<b>2.3.2</b>	<i>Conséquences sur la végétation et la pression des bioagresseurs .....</i>	20
<b>2.3.2.1</b>	Sur le volume de végétation et les stades phénologiques.....	20
<b>2.3.2.2</b>	Sur le développement de la pousse.....	20
<b>2.3.2.3</b>	Sur les risques de tavelure.....	20
<b>2.3.2.4</b>	Sur les ravageurs .....	21
<b>2.3.3</b>	<i>Suivi des attaques de tavelure.....</i>	21
<b>2.3.4</b>	<i>Suivi des principaux ravageurs .....</i>	21
<b>2.3.4.1</b>	Puceron cendré .....	21
<b>2.3.4.2</b>	Acarien rouge .....	22
<b>2.3.4.3</b>	Carpocapse et tordeuses .....	22
<b>2.3.5</b>	<i>L'application des traitements .....</i>	23
<b>2.3.6</b>	<i>Les indicateurs de la saison .....</i>	23
<b>2.3.6.1</b>	Pression phytosanitaire (IFT) .....	23



2.3.6.2	Coûts de la protection phytosanitaire .....	24
2.4	DISCUSSION .....	25
2.4.1	<i>Suivi des attaques et efficacité biologique</i> .....	25
2.4.1.1	Sur les ravageurs .....	25
2.4.1.2	La tavelure .....	25
2.4.2	<i>La réduction des IFT et l'impact sur les coûts des traitements</i> .....	26
2.4.3	<i>Limites du protocole et proposition d'amélioration</i> .....	26
2.4.3.1	Choix de la parcelle.....	26
2.4.3.2	Méthodes d'observation .....	27
2.4.3.3	Choix des indicateurs.....	27
2.4.3.4	Prise de décision des traitements.....	27
2.4.3.5	L'application des traitements .....	28
2.4.3.6	Le choix du volume de bouillie .....	28
2.4.3.7	Choix des modalités.....	29
	CONCLUSION.....	30
	Références bibliographiques .....	31
	ANNEXES.....	35



## **Glossaire**

Ascospore : spore caractéristique au phylum *Ascomycota* et prenant naissance dans un asque (Lepoivre, 2003).

Dégât : altération touchant la fonction de la plante, le produit de la culture ou le potentiel de production (Lepoivre, 2003).

Dérive : quantité de produits phytopharmaceutiques transportée hors de la zone soumise à pulvérisation sous l'action des courants d'air lors du processus d'application (Normes ISO 22866 :2005).

Essai système : comparaison de systèmes de culture conduits par des règles de décisions différentes. Il se distingue d'un essai factoriel classique (un ou deux facteurs isolées) par un ensemble de facteurs dont chacun est raisonné en cohérence avec l'autres.

L'efficience du traitement : équivaut à la part de produit phytosanitaire atteignant la cible. La part qui ne l'atteint pas correspond à la perte par dérive.

Infection : établissement d'une relation parasitaire entre un agent pathogène et une plante-hôte (Lepoivre, 2003).

Multisites : qualifie les pesticides qui agissent sur de nombreux sites du métabolisme d'un parasite (Lepoivre, 2003).

Périthèce : appareil fructifère globuleux, ouvert par un ostiole et contenant des asques (Lepoivre, 2003).

Spore : propagule représentant l'unité de propagation d'un champignon (Lepoivre, 2003).

Symptômes : altération du phénotype par rapport au phénotype attendu (Lepoivre, 2003).

Systémique : qui se répand dans une plante *via* le système conducteur (Lepoivre, 2003).

Unisites : qualifie les pesticides qui n'agissent que sur un site du métabolisme d'un parasite (Lepoivre, 2003).



## Liste des abréviations

BPE : Bonnes pratiques d'expérimentation

CEB : Commission des Essais Biologiques

Ctifl : Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes

DGAL : Direction générale de l'alimentation

DOSAFRUT : determination del volumen de caldo en tratamientos fitosanitarios de plantaciones frutales ou détermination du volume de bouillie des traitements phytosanitaires en vergers fruitier.

DVM : Diamètre du volume médian

DMN : Diamètre du nombre médian

Ha : Hectare

HL : Hectolitre

IBS : Inhibiteur de la biosynthèse des stérols

IFT : Indice de fréquence de traitement

IFV : Institut Français de la Vigne et du Vin

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

Kg : Kilogramme

L : Litre

LAI : Leaf Area Index ou Indice de la surface foliaire

LIDAR : Light Detection And Ranging

LWA : Leaf Wall Area ou Surface de la haie foliaire

Max : Maximum

PFI : Protection fruitière intégrée

PACE : Pesticide dose rate Adjustement to the Crop Environment ou ajustement de la dose de pesticide à l'environnement de la culture.

RIM : Relative infection measure ou Indice du risque d'infection

SFT : Surface foliaire totale

TRV : Tree Row Volume ou Volume de la haie foliaire

ZNT : Zone non traitée



## **Liste des annexes**

Annexe I : Les autres principaux bioagresseurs du pommier. (Orts et al., 2006)

Annexe II : Les points essentiels de la méthode Caliset. (Viret et Siegfried, 2005b)

Annexe III : Présentation du Ctifl.

Annexe IV : Description des principaux produits phytosanitaires utilisés dans le Sud-Ouest et leurs propriétés. (Lessoult et al., 2013 ; E-phy, 2014)

Annexe V : Tableau récapitulatif des périodes d'observations et d'activités effectuées en verger.

Annexe VI : Les volumes de bouillie appliqués et préconisés d'après les mesures effectuées pendant la saison 2014 dans la parcelle d'essai.

Annexe VII : Contrôle du débit des buses à turbulence ATR 80 (couleur marron et jaune) du pulvérisateur Nicolas Magistral ASI 1000 d'après la méthode Caliset.

Annexe VIII : Coût d'une application de traitements phytosanitaires.

Annexe IX : Suivi de pousses et étage des feuilles tavelées.

Annexe X : Conditions météorologiques, risque de contamination tavelure et traitements.

Annexe XI : Traitements phytosanitaires de la saison.

Annexe XII : Différence d'IFT, du nombre de passages et des coûts d'applications des traitements avec ou sans les 4 derniers traitements carpocapse et tordeuses.

Annexe XIII : Résultats statistiques.



## Table des figures

Figure 1 : Prévision de la récolte française de 2013. (Source : lapomme.org) .....	2
Figure 2 : Pousse de bourse. (Source : Ctifl, 2014) .....	2
Figure 3 : Stades phénologiques du pommier. (D'après Fleckinger, 1964).....	2
Figure 4 : Symptômes de tavelure sur feuille. (Source : Ctifl, 2014).....	3
Figure 5 : Symptômes de tavelure sur fruit. (Source : Ctifl, 2014) .....	3
Figure 6 : Cycle biologique de <i>Venturia inaequalis</i> . (d'après Agrios, 1988).....	3
Figure 7 : Courbe d'infection des ascospores de tavelure en fonction des conditions climatiques et couverture curative et résiduelle d'un traitement phytosanitaire selon le modèle RIMpro. (Source Ctifl 2014).....	4
Figure 8 : Colonie de <i>Dysaphis plantaginea</i> sur pousse. (Source Ctifl 2014).....	4
Figure 9 : Symptôme provoqué par <i>Dysaphis plantaginea</i> sur pousse. (Source Ctifl 2014) .....	4
Figure 10 : Schéma de fonctionnement des types de pulvérisation. (Osaer et al., 2004) .....	5
Figure 11 : Schéma d'un pulvérisateur axial classique à jet porté. (Osaer et al., 2004).....	5
Figure 12 : Schéma de fonctionnement des différents types de buses. (Osaer et al., 2004) .....	5
Figure 13 : Schéma représentatif du nombre de gouttelettes à la surface d'un ravageur selon leur diamètre. (Source Phytofar) .....	6
Figure 14 : Schéma représentant le diamètre médian volumique (à gauche) et le diamètre médian numérique (à droite). (Source Dobson 2001).....	6
Figure 15 : Schéma et coefficient d'homogénéité du spectre de pulvérisation. (d'après Dobson 2001)	6
Figure 16 : Représentation du dépôt de bouillie pulvérisée sur les arbres à différents niveaux et plans par rapport au passage du pulvérisateur. (Polvêche et Mralles, 1996) .....	7
Figure 17 : Exemple de quantité moyenne de dépôts sur une feuille de pommier au stade pleine végétation et estimation des quantités de produits dans les différents compartiments. (d'après Verpont, 2014a) .....	7
Figure 18 : Variation des dépôts moyens de pesticides sur une large gamme de vergers traiter à différents stades de végétation à la dose homologuée avec le même pulvérisateur. « 1 correspond au dépôt moyen efficient de la dose homologuée » (Cross et Walklate, 2008 d'après Verpont, 2014a) .....	9
Figure 19 : Représentation schématique des critères intervenant dans le calcul du Tree Row Volume. (d'après Viret, 2005a) .....	10
Figure 20 : Représentation des catégories d'organes servant à l'établissement de la surface foliaire. R1 et R2 = petite et grande rosette ; M1 et M2 = petite et grande mixte ; P1 et P2 = petite et grande pousse. (Monney et Henriot., 2003) .....	10
Figure 21 : Caractéristiques d'arbres à partir des enregistrements du LIDAR. La zone grisée des arbres indique la voilure de l'arbre. Les bulles représente la répartition et la densité de la canopée (proportionnelle au diamètre des bulles). (Cross et Walklate, 2008) .....	11
Figure 22 : Evolution du dépôt moyen de traceur selon l'indice de surface foliaire de la vigne. (Hebrard, 2012) .....	13



Figure 23 : Abaque déterminant le pourcentage de la dose/ha à apporter selon l'expression végétative, la pression de la maladie et le stade phénologique. (Claverie et al., 2011) .....	13
Figure 24 : Pictogrammes de pommiers reproduits à partir de scans LIDAR. (Source PACE 2014) ...	14
Figure 25 : Pictogrammes de pommiers reproduits à partir de scans LIDAR et pourcentage de vide dans la canopée (d'après Dosafrut 2014) .....	14
Figure 26 : Plan de l'essai : adaptation des doses et des volumes de traitements phytosanitaires en verger de pommier. ....	18
Figure 27 : Suivi des mesures déterminant le TRV, principaux stades phénologiques et dates du changement de volume de bouillie.....	19
Figure 28 : Projections d'ascospores en fonction des conditions météorologiques et traitements phytosanitaires anti tavelure réalisés en fonction des risques de contaminations primaires et secondaires sur feuilles et fruits. ....	20
Figure 29 : Intensité d'attaque de tavelure moyenne sur feuille pour chaque modalité ainsi qu'en haut et en bas des arbres (supérieur et inférieur à 2 m). ....	21
Figure 30 : Fréquence d'attaques de tavelure sur pousses et fruits de chaque modalité.....	21
Figure 31 : Pourcentage de pousses avec présence de puceron cendré de chaque modalité .....	22
Figure 32 : Pourcentage de feuilles occupées par le Bryobe de chaque modalité. ....	22
Figure 33 : Suivi de piégeage du carpocapse et des tordeuses dans la parcelle (1 piège par ravageur). ....	22
Figure 34 : IFT des traitements réalisés contre les principaux bioagresseurs de chaque modalité dans la saison et pour 3 périodes liées au volume de bouillie.....	23
Figure 35 : Pourcentage de réduction des IFT de chaque modalité par rapport à la référence. ....	24
Figure 36 Coût des applications de traitements de chaque modalité dans la saison et pour 3 périodes liées au volume de bouillie .....	24
Figure 37 : Pourcentage de réduction des coûts d'application des traitements phytosanitaires pour chaque modalité par rapport à la référence. ....	25
Figure 38 : Comparaison théorique de la rémanence d'un produit à pleine dose et à ½ dose.....	28



## Table des tableaux

Tableau I : Temps de vie et distance parcourue de différentes tailles de gouttelettes selon deux conditions météorologiques. (Source Dacquin et al.,2013).....	8
Tableau II : Nombre de gouttes par cm <sup>2</sup> nécessaires pour obtenir une bonne efficacité selon différents mode d'action des produits. (Source BASF 2014) .....	8
Tableau III : Classement des facteurs influençant le pourcentage de verger ayant reçu la dose efficiente, sur une large gamme de vergers traités à différents stades de végétation, à la même dose, avec le même pulvérisateur. (Cross et Walklate, 2008).....	9
Tableau IV : Mode d'expression des doses homologuées en arboriculture pour différents pays d'Europe. (VERPONT, 2014a) .....	11
Tableau V : Outils d'adaptation des doses et des volumes de traitements en Europe, avec leur principe ainsi que les données à rentrer et en sortie du model (d'après Verpont, 2014b) .....	12
Tableau VI: Pourcentages et quantités de dépôt dans les compartiments : vigne, sol et air selon la végétation, la dose de produit et le matériel de pulvérisation utilisé. (d'après Hebrard, 2012) .....	13
Tableau VII : Les facteurs qui déterminent la perte de produit de protection des plantes et la valeur maximale des pertes. (Source Dosafrut 2014).....	14
Tableau VIII : Règle de décision des traitements contre les principaux bioagresseurs du pommier....	16
Tableau IX : Evolution des doses de produits, des volumes de bouillies phytosanitaires et des concentrations pour les différentes modalités de l'essai selon le développement végétatif du pommier avec l'exemple d'un produit homologué à 0,1 kg/hl ou 1 kg/ha. ....	17
Tableau X : Vitesse d'avancement, type de buse et pression pour obtenir un volume de bouillie donné. .....	18
Tableau XI : Présentation des observations réalisées dans l'essai. ....	19
Tableau XII : Précipitations et températures moyennes mensuelles depuis 2004 au Ctifl de Lanzade. .....	19
Tableau XIII : Nombre de passages contre les principaux bioagresseurs de chaque modalité .....	23
Tableau XIV : Coûts et temps d'application des traitements en prenant en compte les temps morts (environ 20 min) pour 1 ha et une exploitation moyenne de 20 ha (1 traitement de 1000 l/ha = 1 cuve = 1 temps mort).....	27
Tableau XV : Coût de protection et des temps mort des modalités pour un verger de 20 ha et la différence par rapport à la référence, ainsi que le gain de temps toujours par rapport à la référence. 27	
Tableau XVI : Proposition d'une modalité supplémentaire sur l'essai avec pulvérisation tractée et proposition de modalités pour un essais avec pulvérisateur à dos.....	29



## **Introduction**

La prise de conscience des risques environnementaux et sanitaires potentiels de l'utilisation des produits phytosanitaires entraîne une pression politique et sociétale importante sur le monde agricole. De nombreux travaux, complémentaires, concourent à limiter leur recours : résistance génétique, molécules naturelles de substitution, outils d'aide à la décision, protection mécanique, lutte biologique. Cependant, ils porteront leurs fruits par pallier et à des échelles de temps très variables. Face aux problématiques actuelles (vergers à proximité des habitations, pollution de l'air et des eaux, intensification des contrôles de la zone non traitée (ZNT) Eau, détection de molécules résiduelles « non autorisées » souvent liée à la dérive) et face à la réglementation existante et à venir (mise en application de la ZNT Arthropodes non cibles, changement du mode d'expression des doses) une réduction urgente de leur emploi s'impose. Depuis le lancement du Plan Ecophyto 2018, qui vise à réduire, si possible, de 50 % les intrants phytosanitaires, les premiers résultats d'essais systèmes sur pommier ont mis en évidence la difficulté à atteindre cet objectif, et ceux, malgré plusieurs impasses de traitements. A défaut d'accéder aux objectifs par une réduction du nombre de traitements, certains pays européens ont déjà initiés plusieurs projets visant à optimiser la pulvérisation des traitements en verger et donc l'utilisation des intrants. Au niveau national, ce domaine est encore peu travaillé alors qu'il apparaît comme une piste concrète pour atteindre ou se rapprocher des objectifs du Plan Ecophyto 2018. En effet, dans la pratique française, les produits sont appliqués avec une dose par hectare quel que soit le stade végétatif ou l'âge de l'arbre. La dose homologuée est déterminée pour être efficace lorsque les conditions sont favorables au développement des bioagresseurs et pour une végétation bien développée. Or ce n'est pas toujours le cas. Ceci laisse entrevoir des marges de progrès non négligeable. La réduction des doses est déjà pratiquée, de manière empirique, par nombre de producteur. Dans ce contexte, l'objectif du Ctifl est de proposer des règles de décision, simples à utiliser, qui sécurisent ces pratiques sans nuire à l'efficacité de la protection. Cette efficacité est néanmoins très variable d'une situation à l'autre et dépend de nombreux facteurs tels que les pratiques des producteurs (type de pulvérisateur et son réglage), les contraintes liées à la culture (mode de conduite) et aux conditions météorologiques lors de l'application.

L'objectif de ce stage est d'effectuer une synthèse bibliographique sur les différents outils et méthodes d'adaptation des volumes et doses de traitements et d'étudier, pour la première fois en France, leur pertinence et leur adaptabilité au travers d'un essai. Pour chaque outil, l'efficacité biologique, la réduction des doses et le gain économique éventuel seront traités, comparés et discutés. Ensuite, des améliorations du protocole seront proposées en vue d'essais en réseau sur les différents modes de conduites du verger français.

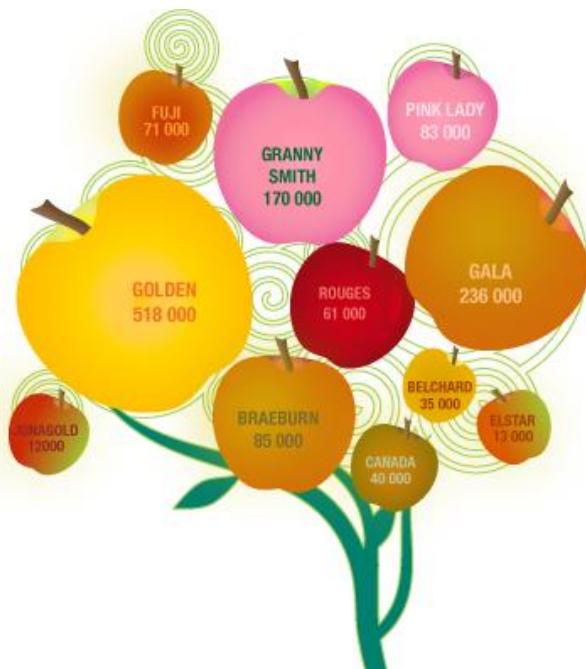


Figure 1 : Prévision de la récolte française de 2013. (Source : lapomme.org)

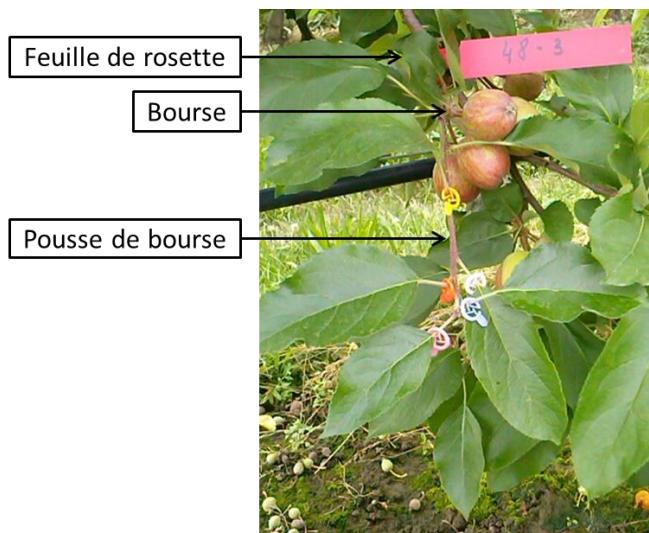


Figure 2 : Pousse de bourse. (Source : Ctifl, 2014)

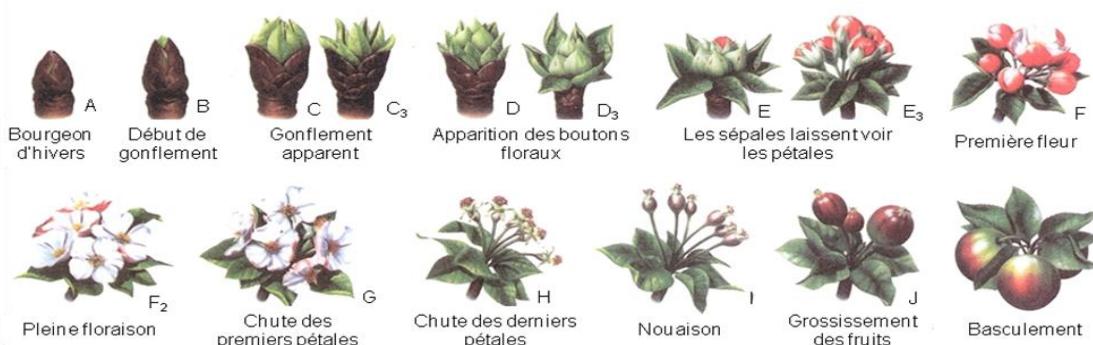


Figure 3 : Stades phénologiques du pommier. (D'après Fleckinger, 1964)

## **Partie I. Synthèse bibliographique**

### **1.1 La culture du pommier, quelques généralités**

#### **1.1.1 Aspects économiques**

En 2013, la production européenne de pommes était de 10,8 millions de tonnes (FAO stat, 2013). La France est le troisième pays producteur d'Europe après la Pologne et l'Italie. Avec ses 41 milliers d'hectares et ses 4 653 exploitations, elle a produit 1,5 millions de tonnes en 2013. La pomme est la première production fruitière du pays et occupe un tiers des surfaces de verger (Agreste, 2013). De nombreuses variétés existent mais la production française concerne principalement : Golden, Gala, Granny Smith, Braeburn et Pink lady (Figure 1).

#### **1.1.2 Classification**

Le pommier appartient à la famille des Rosacées, à la sous-famille des Pomoïdées et au genre *Malus*. Le pommier cultivé, dénommé *Malus x domestica* Borkh, proviendrait de *Malus sieversii* Ledeb. M. Roem endémique d'Asie centrale (Trillot et al., 2002).

#### **1.1.3 Biologie et physiologie**

Le pommier est un arbre à feuilles caduques, hermaphrodite, pouvant atteindre 15 mètres de hauteur et vivre plus de 100 ans. L'hiver, les températures basses permettent la levée de dormance des bourgeons végétatifs et floraux. Au printemps, des températures plus élevées favorisent leurs développements. Le développement des bourgeons apicaux et axillaires a lieu durant toute la période végétative. Celle de laousse de bourse, indexée à l'inflorescence, s'arrête début juillet, soit environ 90 jours après le débourrement (Mehri et Crabbé, 2002) (Figure 2). La croissance est liée à un ensemble de facteurs en interaction tels que : la variété, le porte greffe, le climat, le sol ainsi qu'à différentes pratiques culturales comme le mode de conduite et fertilisation. Sous nos climats, la floraison a lieu courant avril. Selon les variétés, la maturité du fruit est atteinte d'août à novembre (Trillot et al., 2002). En 1964, Fleckinger a établi une nomenclature des stades phénologiques du pommier (Figure 3). Elle est utilisée pour connaître l'avancement de la végétation et sert de repère, notamment pour le positionnement des interventions contre les bioagresseurs.

### **1.2 La mise en œuvre de la protection phytosanitaire**

#### **1.2.1 Les principaux bioagresseurs du pommier**

Les arboriculteurs ont besoin d'assurer une production « 0 défauts » pour que celle-ci soit commercialement acceptable. Une multitude de ravageurs (acarien rouge: *Panonychus ulmi* ; carpocapse : *Cydia pomonella* L.) et de maladies (oïdium : *Podosphaera leucotricha*), présents durant le cycle du pommier, peut compromettre la récolte (Annexe I). Le coût de la protection du pommier est élevé (environ 1300€ hectare)



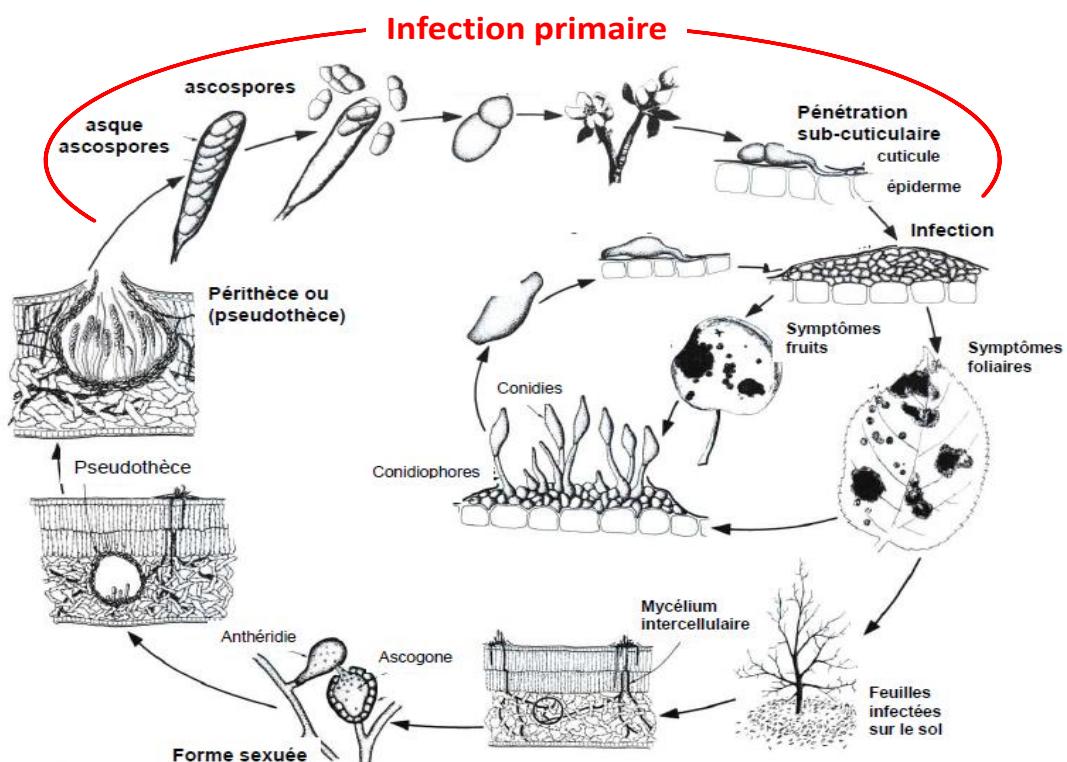
**Figure 4 : Symptômes de tavelure sur feuille.**

(Source : Ctifl, 2014)



**Figure 5 : Symptômes de tavelure sur fruit.**

(Source : Ctifl, 2014)



**Figure 6 : Cycle biologique de *Venturia inaequalis*. (d'après Agrios, 1988)**

mais se justifie par un risque économique trop important. En fonction des régions, certains ravageurs sont plus ou moins préjudiciables. En France, les principaux bioagresseurs sont la tavelure (*Venturia inaequalis*) et le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea P.*).

#### 1.2.1.1 La tavelure du pommier

- Généralités

La tavelure est une menace permanente pour les arboriculteurs. Dans certaines régions, la protection contre cette maladie fongique représente 50 à 75% des traitements phytosanitaires réalisés au verger. Le pathogène responsable est *Venturia inaequalis*. Il provoque de nombreux dégâts sur feuilles (tâches brunâtres, chute des feuilles) (Figure 4) et sur fruits (croutes noirâtres liègeuses) (Figure 5) (Orts et al., 2006).

- Cycle biologique

L'inoculum primaire correspond aux ascospores contenues dans les périthèces se trouvant dans la litière en décomposition. À maturité et à la faveur des pluies printanières, les périthèces libèrent les ascospores (90% à 95% des ascospores sont projetées le jour). Grâce aux courants d'air, ils sont déposés sur les organes de la plante. Si la durée d'humectation et la température sont suffisantes, les spores vont germer et infecter la plante (Figure 6). Ensuite, un mycélium sous-cuticulaire se développe. Après incubation de 20 à 25 jours, des tâches apparaissent. Ce sont des fructifications porteuses de conidies. Ces nouvelles spores sont un second inoculum. Après leur dissémination par la pluie et le vent, des conditions climatiques favorables peuvent entraîner des infections secondaires.

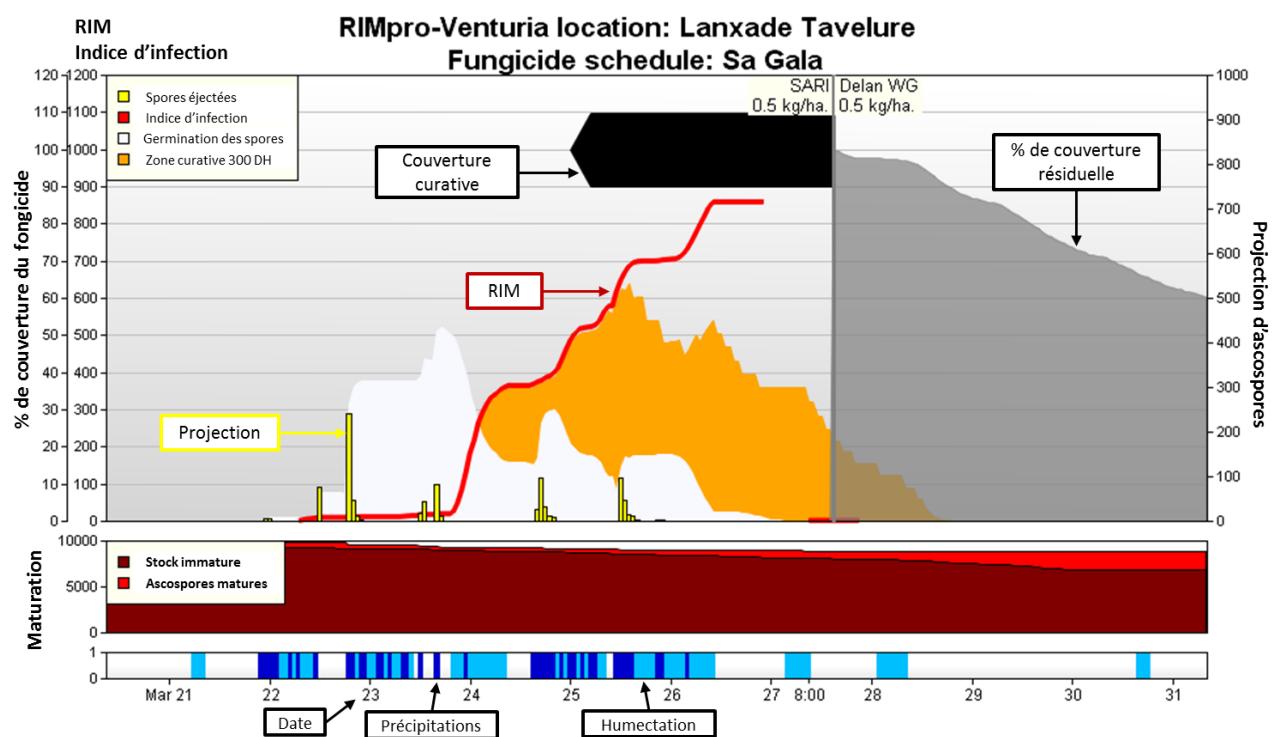
- Méthodes de lutte

L'objectif de la lutte est d'éviter toute infection primaire depuis le stade sensible C3 (gonflement apparent du bourgeon) jusqu'à la fin des projections d'ascospores (fin mai à fin juin) (Orts et al., 2006). À cette date, si le verger est indemne, la protection s'arrête. Autrement, les traitements se poursuivent jusqu'à la récolte.

Il existe trois types de traitements :

- Les traitements préventifs : ils consistent à intervenir avec un produit de contact à action multisites ou pénétrant avant une période de contamination (précipitations avec stocks d'ascospores projetables). Ces traitements empêchent la germination.
- Les traitements « stop » : ils sont réalisés 24 à 48 heures après le début d'une pluie contaminatrice. Ils bloquent l'infection dans ses premiers stades.
- Les traitements curatifs : ils permettent d'intervenir jusqu'à 4 jours après la pluie contaminatrice. Les fongicides utilisés sont des unisites de la famille des inhibiteurs la biosynthèse des stérols (IBS) ou des anilinopyrimidines (ANP) (Lessoult et al., 2013).

Dans la pratique, une combinaison des types de traitements est réalisée selon le risque et



**Figure 7 : Courbe d'infection des ascospores de tavelure en fonction des conditions climatiques et couverture curative et résiduelle d'un traitement phytosanitaire selon le modèle RIMpro. (Source Ctifl 2014)**



**Figure 8 : Colonie de *Dysaphis plantaginea* sur pousse. (Source Ctifl 2014)**



**Figure 9 : Symptôme provoqué par *Dysaphis plantaginea* sur pousse. (Source Ctifl 2014)**

pour limiter l'apparition de résistance. Les traitements sont renouvelés en fonction de la rémanence des produits et de la croissance des pousses. En effet, les feuilles nouvellement sorties après un traitement non systémique ne sont pas protégées (Orts et al., 2006).

- Outil d'aide à la décision

Il existe des modèles de prévision et de simulation des risques tavelure basés d'après les données climatiques et biologiques de la tavelure (Orts et al., 2006). Le modèle RIMpro est actuellement le plus répandu en Europe (Giraud et Trapman, 2006). Il permet de déterminer les périodes de projection d'ascospores et de calculer un indice d'infection : RIM (Relative Infection Measure) (Figure 7). Cet indice correspond à la sévérité de l'infection en absence de traitement. S'il est inférieur à 100, il s'agit d'un risque faible. Lorsqu'il est supérieur à 300, le risque est très élevé (Giraud, com. perso). Ce modèle permet aussi de visualiser dans le temps et en fonction du cycle de *V. inaequalis* la couverture curative et résiduelle des produits de traitement réalisés par parcelle (Giraud et Trapman, 2006) (Figure 7).

### **1.2.1.2 Le puceron cendré**

- Généralités

Le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea P.*), très dommageable sur pommier, est un insecte piqueur-suceur de l'ordre des Hémiptères. Il hiverne sous forme d'œufs dans les bourgeons. Au démarrage de la végétation, les femelles fondatrices forment des colonies sans ailes (aptères) (Figure 8). Par leurs piqûres, ces derniers provoquent l'enroulement des feuilles et la déformation des rameaux et fruits (Figure 9). Ces fruits sont dépréciés à la récolte. Fin mai, les pucerons ailés migrent sur leur hôte secondaire : le plantain. Puis, ils reviennent à l'automne pour la ponte.

- Méthodes de lutte

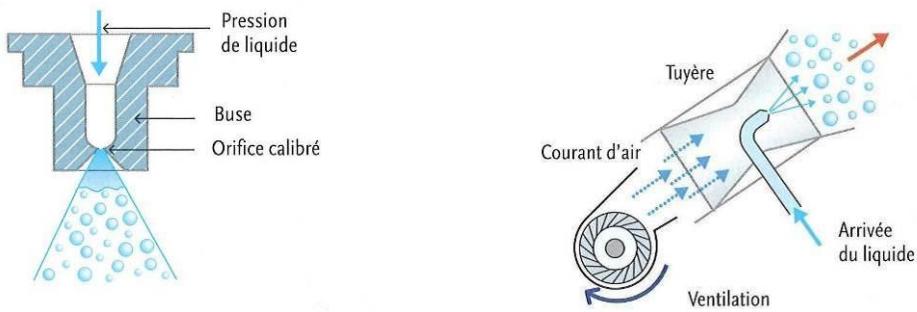
La lutte chimique se déroule en deux étapes avec un traitement pré-floral et post-floral si la présence du puceron est avérée. Les substances actives utilisées sont des neurotoxiques de la famille des carbamates, chloronicotinyles, pyridine carboxamides (Lessoult et al., 2013).

L'utilisation de produits phytosanitaires contre ces bioagresseurs requiert l'usage d'un matériel de pulvérisation adapté au verger. Pour comprendre l'influence du matériel sur l'efficacité des traitements, il est essentiel de connaître les différents pulvérisateurs et buses.

### **1.2.2 Le matériel de pulvérisation en fruits à pépins**

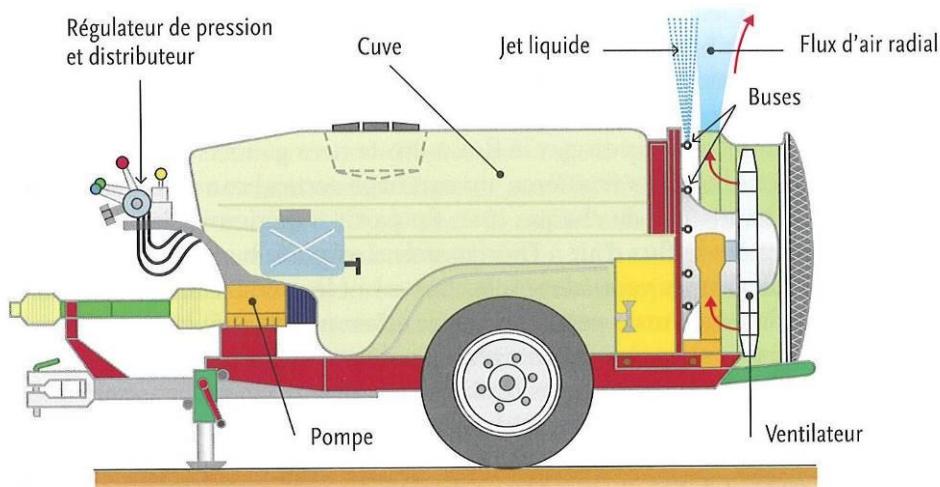
#### **1.2.2.1 Les pulvérisateurs**

En arboriculture, une application phytosanitaire réussie se traduit par une répartition homogène de la bouillie sur toute la surface foliaire (au-dessus et en dessous des feuilles) du volume à traiter, sans pulvériser inutilement l'extérieur de ce volume (Osaer et al., 2004). La technologie et les nécessités de la production (évolution des pratiques culturales, respect

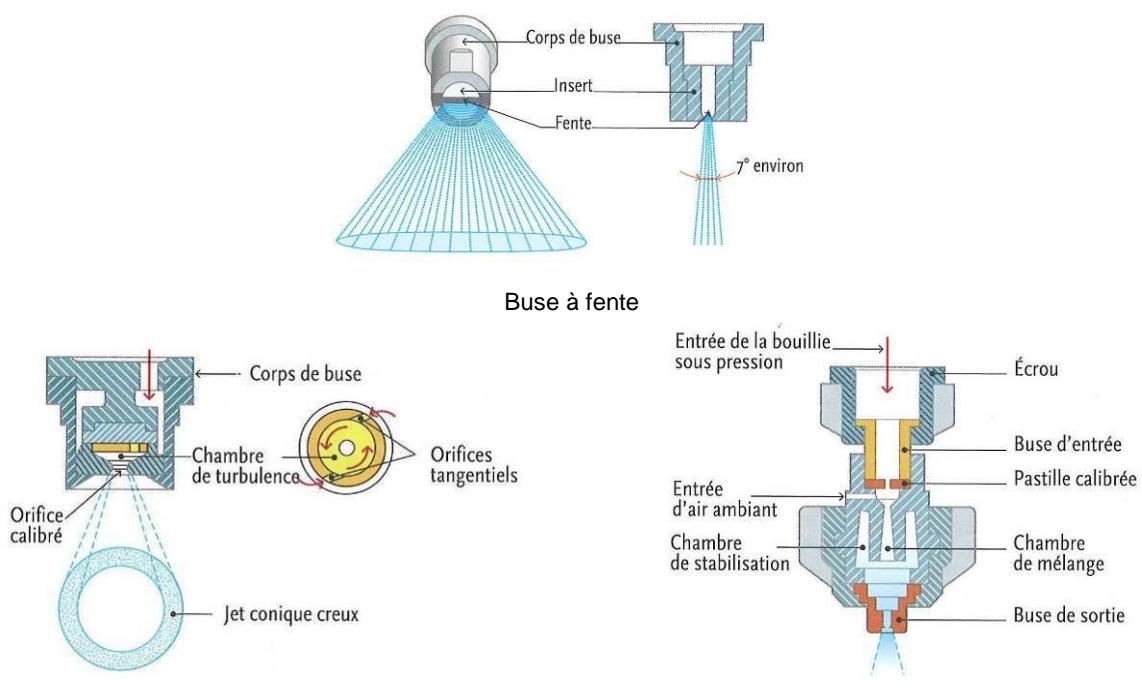


Pulvérisation projeté  
Pulvérisation pneumatique

**Figure 10 : Schéma de fonctionnement des types de pulvérisation. (Osaer et al., 2004)**



**Figure 11 : Schéma d'un pulvérisateur axial classique à jet porté. (Osaer et al., 2004)**



Buse à fente  
Buse à turbulence  
Buse à injection d'air

**Figure 12 : Schéma de fonctionnement des différents types de buses. (Osaer et al., 2004)**

de l'environnement...), ont engendré différents types d'appareils (Figure 10).

- Le pulvérisateur à pression et à jet projeté

Ce sont les pulvérisateurs les plus anciens. Les gouttelettes sont formées par le passage du liquide en pression à travers une buse. On parle de « jet projeté » car c'est la pression qui permet aux gouttes d'atteindre leurs cibles. Cette méthode est utilisée pour le désherbage.

- Le pulvérisateur à pression et à jet porté

Un pulvérisateur à jet porté fonctionne aussi avec une bouillie sous pression (9 à 15 bar) et des buses. Il est également équipé d'une puissante turbine qui crée un flux d'air pour transporter les gouttelettes jusqu'au végétal. Cela permet aussi de brasser le feuillage pour maximiser et homogénéiser la répartition du produit. En France, les traitements en verger sont majoritairement (92 %) réalisés avec ce type d'appareil (GIP Pulves, 2014) (Figure 11).

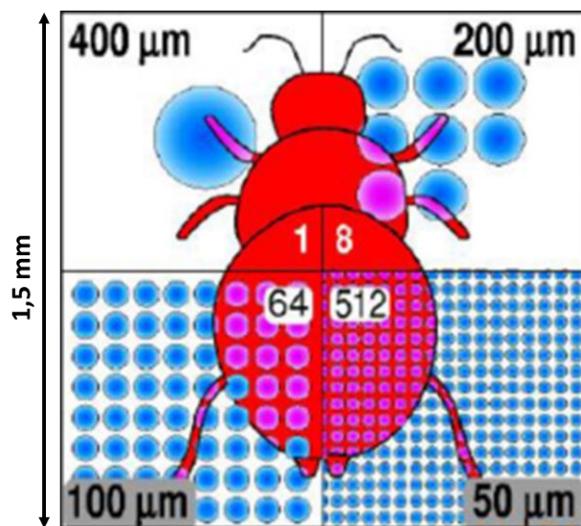
- Le pulvérisateur pneumatique

Ce type de pulvérisateur est le plus récent. Il permet de traiter à plus faibles volumes par hectare. Contrairement aux précédents, la bouillie est à basse pression (1,5 à 3 bar) et les gouttelettes sont créées par l'air et non par des buses. L'assistance d'air remplit trois fonctions : le fractionnement du liquide en gouttelettes très fines, leur transport jusqu'au végétal et un brassage du feuillage. Toutefois, le faible poids de ces gouttelettes les rend plus sensibles à l'effet de dérive (Osaer et al., 2004).

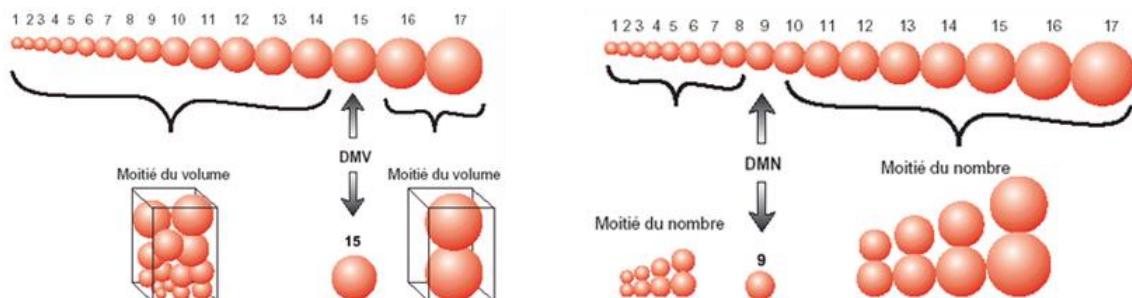
### **1.2.2 Les buses**

Une buse est un dispositif permettant de fragmenter un liquide en gouttelettes. Les buses doivent garantir la meilleure répartition de la bouillie et le minimum de perte de produit dans l'environnement (Osaer et al., 2004). En fonction de la pression appliquée, le calibre de la buse (taille de l'orifice de sortie du liquide) permet d'ajuster le débit de pulvérisation ainsi que la quantité et la finesse des gouttes pulvérisées. Selon l'utilisation et le spectre de pulvérisation recherché, différentes buses peuvent être utilisées (Figure 12).

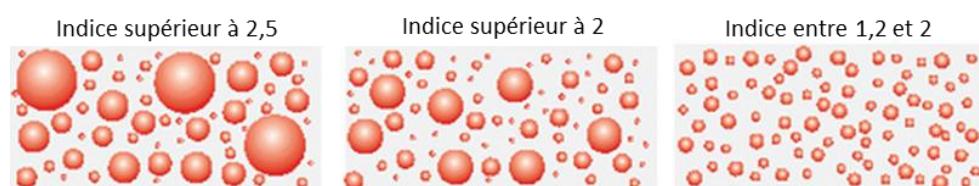
- Les buses à fentes forment un jet plat. Elles sont couramment utilisées pour le désherbage en arboriculture et pour tous types de traitements en grandes cultures.
- En verger, les traitements sont principalement réalisés avec les buses à turbulence. Le liquide sous pression est mis en rotation avant de sortir par un orifice calibré. Le jet conique, plein ou creux, forme des gouttelettes qui, pour 45 % d'entre elles, auront des diamètres entre 30 et 100 µm. Elles sont sujettes à la dérive (Landers & Farooq, 2004).
- Les buses à injection d'air chargent le liquide de fines bulles d'air afin d'augmenter la taille des gouttelettes. L'air est aspiré par une dépression, créée par le passage de bouillies dans la buse. Il est mélangé au liquide sous forme de bulles. L'augmentation de la taille des gouttes permet ainsi de réduire la dérive (Osaer et al., 2004).



**Figure 13 : Schéma représentatif du nombre de gouttelettes à la surface d'un ravageur selon leur diamètre. (Source Phytofar)**



**Figure 14 : Schéma représentant le diamètre médian volumique (à gauche) et le diamètre médian numérique (à droite). (Source Dobson 2001)**



**Figure 15 : Schéma et coefficient d'homogénéité du spectre de pulvérisation. (d'après Dobson 2001)**

## 1.3 La qualité de la pulvérisation en arboriculture fruitière

### 1.3.1 Généralité

Un traitement est dit de qualité s'il est efficace (les bioagresseurs sont maintenus en dessous du seuil de nuisibilité) et s'il entraîne un faible impact sur l'environnement (contamination des milieux) (Raynal et al., 2004). Scientifiquement, il est difficile d'établir un lien entre l'efficacité et les caractéristiques de la pulvérisation. Cependant, deux conditions doivent être remplies pour obtenir une bonne pulvérisation : la quantité de substance active appliquée sur la cible doit être suffisante pour contrôler le bioagresseur et la répartition de la bouillie doit être la plus homogène possible dans la canopée (Siegfried et al., 1999).

### 1.3.2 Critères d'évaluation de la qualité de la pulvérisation

Le spectre et la qualité de pulvérisation sont caractérisés par des paramètres physiques :

- Le pourcentage de surface couverte par les gouttelettes : il dépend de l'éloignement du pulvérisateur par rapport à la cible. La diminution du diamètre des gouttes permet d'obtenir une surface impactée supérieure et une économie de volume de bouille (Osaer et al., 2004). En effet, à volume de liquide égal, des gouttelettes de 50µm couvrent 8 fois plus de surface qu'une seule goutte de 400µm (Figure 13).
- La densité d'impact par cm<sup>2</sup> : elle diminue avec l'éloignement de la cible. La face du rang la plus proche du pulvérisateur (directe) présente une densité d'impact de gouttelettes supérieure à la face la plus éloignée (indirecte).
- La granulométrie du spectre de pulvérisation : elle apporte une information par le classement des gouttes selon leurs diamètres. Dans un jet, la taille des gouttelettes est très variable et influence leur mobilité. Les indicateurs les plus utilisés pour caractériser le spectre de pulvérisation, sont le diamètre médian volumique (VMD) et le diamètre médian numérique (DMN) (Figure 14). Le VMD correspond à la médiane des volumes d'une population de gouttes (50% des gouttes ont un volume inférieur au VMD et 50% un volume supérieur) et le DMN désigne le diamètre séparant la population en deux groupes de même effectif. Le rapport entre VMD et DMN donne un coefficient d'homogénéité du spectre de pulvérisation. Plus il se rapproche de 1, plus les gouttelettes sont similaires et inversement s'il s'en éloigne (Figure 15).
- Le nombre d'impacts par cm<sup>2</sup> et le pourcentage de recouvrement sont faciles à obtenir par la mise en place de papiers hydro-sensibles au sein de la canopée. Ces papiers cartonnés sont imprégnés d'une substance jaune qui vire au bleu en présence d'eau. Leurs contrôles s'effectuent à l'aide d'une loupe ou d'un logiciel d'analyse d'images.

Ces critères de qualité ne permettent pas de quantifier la substance active déposée sur le végétal.

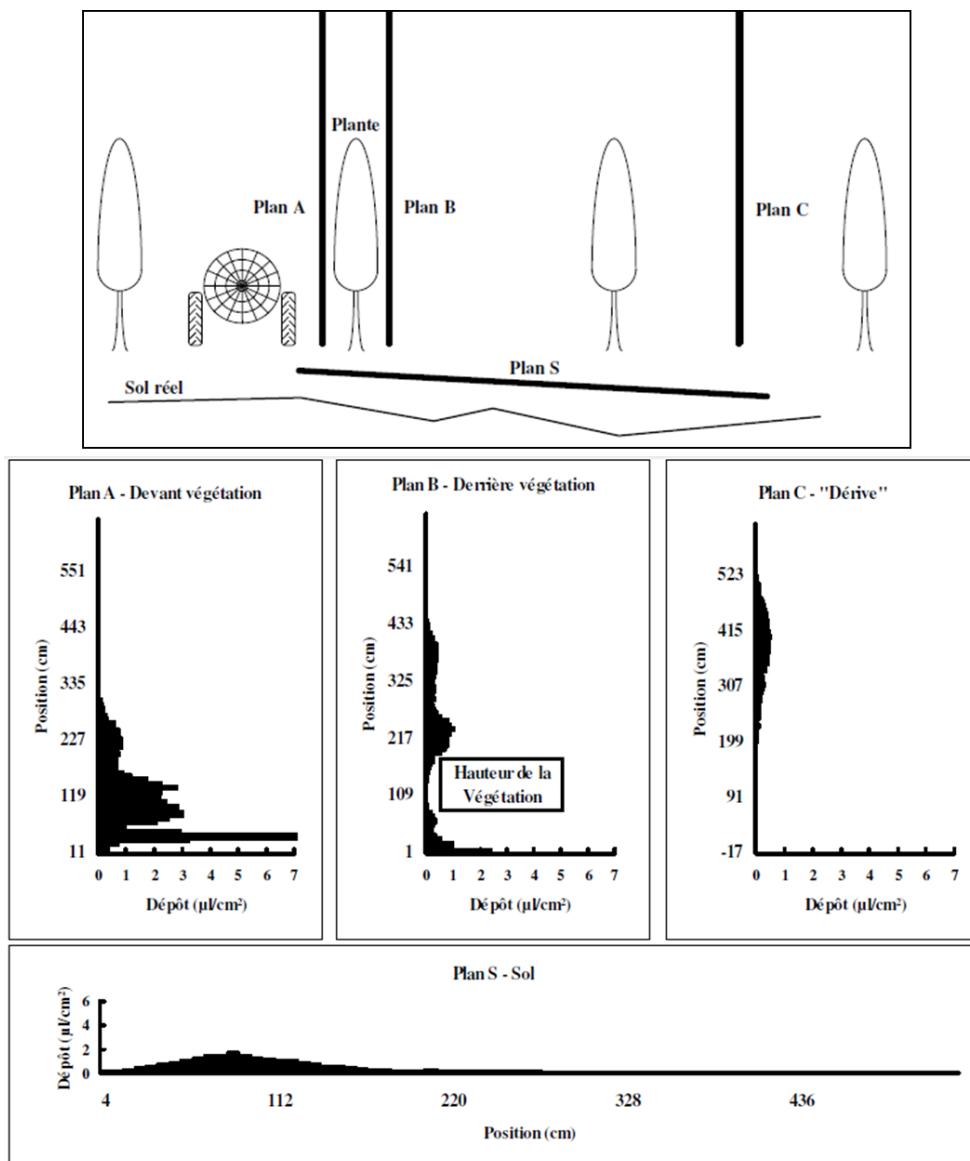


Figure 16 : Représentation du dépôt de bouillie pulvérisée sur les arbres à différents niveaux et plans par rapport au passage du pulvérisateur. (Polvêche et Mralles, 1996)

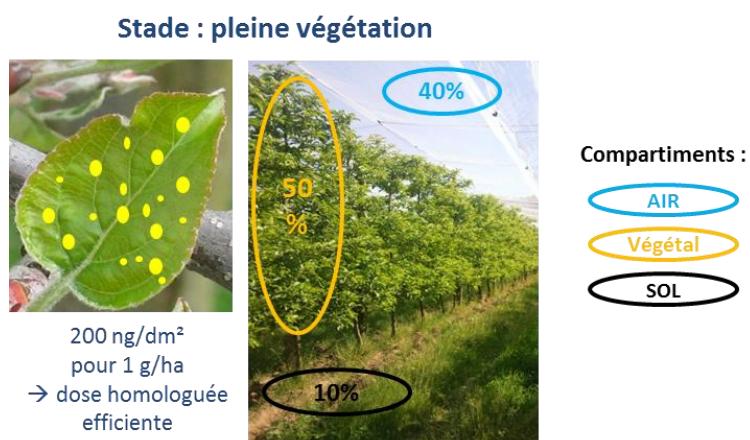


Figure 17 : Exemple de quantité moyenne de dépôts sur une feuille de pommier au stade pleine végétation et estimation des quantités de produits dans les différents compartiments. (d'après Verpont, 2014a)

### **1.3.3 Méthodes de quantification des dépôts de bouillie phytosanitaire**

La mesure des dépôts captés par le végétal ou les pertes de bouillie dans l'environnement est techniquement lourde à réaliser. Elle nécessite l'utilisation de traceurs et de collecteurs. Pour obtenir une bonne indication de la répartition de la pulvérisation, les collecteurs de type papiers filtres sont disposés à différentes hauteurs à l'extérieur et au centre de la canopée. La perte de bouillie par dérive est récupérée par des boîtes de Pétri posées sur le sol perpendiculairement au rang. Ces deux types de collecteurs (lavables, simple d'utilisation et au coût réduit) sont des outils très utilisés dans les études de la pulvérisation (Figure 16) (Balsari et al., 2005). Pour faciliter les manipulations lors des essais, le produit phytosanitaire est remplacé par un traceur (composés métalliques, fluorescents ou colorants alimentaires). Le choix du traceur repose sur plusieurs critères : sa photosensibilité, sa solubilité, son taux d'extraction, sa dangerosité pour l'opérateur et l'environnement, son coût et le type d'essai. Une fois la substance trace pulvérisée, les dépôts sont extraits des collecteurs par un lavage, avec un volume d'eau défini (Balsari et al., 2002). L'analyse par spectrophotométrie, pour la tartrazine par exemple, permet de déterminer la concentration et la quantité du traceur. Connaissant la surface du collecteur, la valeur déterminée est ramenée à un volume ou un poids en  $\mu\text{l}$  ou  $\text{ng}$  capté par  $\text{cm}^2$  ou  $\text{dm}^2$  de surface (Loque et al., 2008). Ensuite, il est possible d'estimer le pourcentage du traitement attribué au trois compartiments : végétal, sol et air (Figure 17).

## **1.4 Facteurs influençant l'efficacité d'une pulvérisation**

Comme expliqué précédemment, une répartition homogène de la bouillie phytosanitaire au sein de la canopée garantit une pulvérisation de qualité. Il est donc important de comprendre les phénomènes qui régissent sa distribution et les facteurs qui interviennent dans sa répartition sur le végétal. Il faut aussi appréhender les pertes de produits qui entraînent deux problèmes : un d'ordre économique pour le producteur et un d'ordre environnemental pour la société. Aussi, la précision d'une pulvérisation et l'importance des pertes par dérive est dépendante de plusieurs facteurs : les conditions météorologiques, le mode d'action du produit, le type de matériel et son réglage, la structure et le stade végétatif du pommier.

### **1.4.1 La météorologie et le mode d'action du produit**

Lors d'un traitement, les conditions météorologiques vont conditionner la qualité de la pulvérisation au sein de la canopée et son efficacité. Trois paramètres l'influencent :

- Le vent qui transporte les embruns de fines gouttelettes. Plus sa vitesse augmente, plus les gouttes sont transportées loin de leur lieu d'émission (Panneton & Piché, 2005). Aussi, pour réduire cette dérive, aucun traitement ne doit être réalisé si l'intensité du vent est supérieure à 3 sur l'échelle de Beaufort (19 km/h) (Arrêté du 12 sept. 2006).

**Tableau I : Temps de vie et distance parcourue de différentes tailles de gouttelettes selon deux conditions météorologiques. (Source Dacquin et al., 2013)**

Taille des gouttes (en µm)	Température 20°C Hygrométrie 80%		Température 30°C Hygrométrie 50%	
	Temps de vie (en seconde)	Distance avant évaporation (en mètre)	Temps de vie (en seconde)	Distance avant évaporation (en mètre)
50	12,5	0,127	3,5	0,0032
100	50	6,7	14	1,8
200	200	81,7	56	21

**Tableau II : Nombre de gouttes par cm<sup>2</sup> nécessaires pour obtenir une bonne efficacité selon différents mode d'action des produits. (Source BASF 2014)**

Modes d'action des produits	Nombre de gouttes par cm <sup>2</sup>
Insecticide systémique	20
	30
Fongicide systémique Insecticide de contact ou d'ingestion*	40
	50
Herbicide foliaire et racinaire Fongicide de contact	60
	70

\*pour les ravageurs

- La pluviométrie qui pendant ou après un traitement peut aussi créer un risque de perte de produit par ruissellement et lessivage.
- L'humidité relative de l'air qui conditionne la rapidité d'évaporation des gouttelettes pulvérisées. Plus le diamètre d'une goutte est petit, plus elle s'évapore vite (Tableau I). La substance active une fois dans l'atmosphère se retrouve alors soumise au phénomène de dérive. Par ailleurs, en dessous de 200 µm, l'évaporation de la bouillie est plus rapide que l'absorption par la cible (Barthélemy et al., 1994).

Les conditions météorologiques doivent donc être optimales pour obtenir un compromis entre une surface impactée importante grâce aux fines gouttes pour les produits de contact, une bonne absorption pour les produits systémiques et un minimum de dérive (Tableau II).

#### **1.4.2 Le matériel de pulvérisation et son réglage**

- Le pulvérisateur

En arboriculture, plus de 90% du parc matériel est composé de pulvérisateurs à jet portés. Leur turbine permet d'obtenir les dépôts de bouillie les plus importants sur les cibles éloignées (Godyn et al., 2004) et dans la partie basse des canopées denses. Ils apportent ainsi une répartition homogène du produit sur la hauteur du pommier (Panneton et al., 2005)

- Les buses

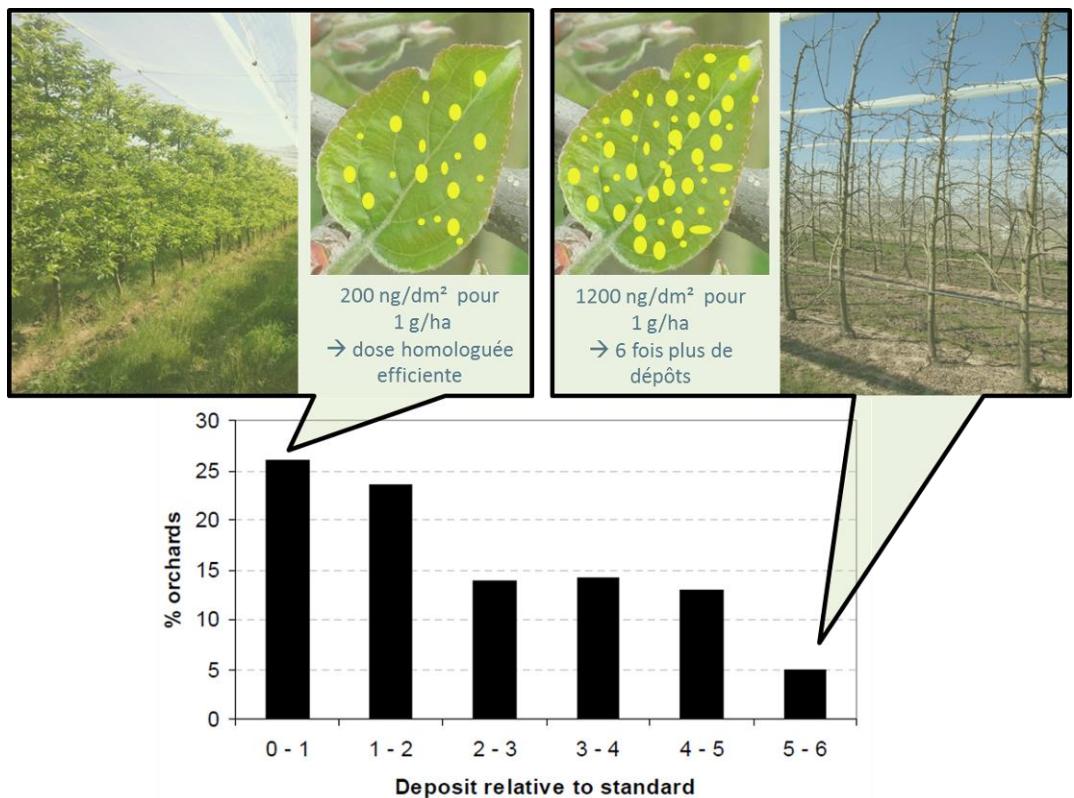
Plusieurs travaux montrent que le type de buse utilisé a un effet considérable sur le dépôt de bouillie et sa répartition dans la végétation (Balsari et al., 2001 ; Loquet, 2006 ; Jaeken, 2003 dans Destombes 2010). Néanmoins, d'autres études ont montré que ces quantités de dépôts étaient fortement influencées par les conditions météorologiques (Holownicki et al., 2004). En effet, lors d'une pulvérisation par vent soutenu, les buses à turbulence donnent un dépôt significativement inférieur à celui des buses à injection d'air. Inversement, lorsque le vent est nul, les buses à turbulence produisent le dépôt le plus important sur la végétation. Toutefois, l'efficacité biologique de ces buses est équivalente en verger (Heinkel et al., 2000).

- Le réglage du matériel

Le réglage d'un pulvérisateur est complexe. Plusieurs paramètres sont à prendre en compte : la vitesse de la turbine, la vitesse d'avancement, le débit et la pression des jets.

Un flux d'air trop fort à la sortie du ventilateur provoque une augmentation du pourcentage de gouttes sensibles à la dérive (Fritz et al., 2010) et une réduction d'environ 20 % du dépôt sur les feuilles à l'extérieur de la canopée (Triloff 2004 et 2012). L'inverse provoque une augmentation des dépôts à proximité du ventilateur. Ces variations n'entraînent néanmoins pas de baisse d'efficacité contre le puceron cendré et la tavelure (Cross et al., 2002).

Le volume de bouillie appliquée par hectare est fonction du débit des jets, de la vitesse d'avancement du tracteur et de la distance entre les rangées d'arbre. La vitesse



**Figure 18 : Variation des dépôts moyens de pesticides sur une large gamme de vergers traiter à différents stades de végétation à la dose homologuée avec le même pulvérisateur.**

« 1 correspond au dépôt moyen efficient de la dose homologuée »

(Cross et Walklate, 2008 d'après Verpong, 2014a)

**Tableau III : Classement des facteurs influençant le pourcentage de verger ayant reçu la dose efficiente, sur une large gamme de vergers traités à différents stades de végétation, à la même dose, avec le même pulvérisateur. (Cross et Walklate, 2008)**

Scheme	Dose adjustment factor	% of orchards where dose adjustment is correct
label recommendation	row spacing	5%
0.4 x label recommendation	row spacing	50%
	tree width	55
	tree height	56
	canopy density	80
PACE	canopy density, tree height	93
Tree Row Volume	tree height, row spacing, tree width	66

et la pression doivent être les plus stables possibles. En effet, en l'absence d'un système de régulation, une pression trop faible diminue la quantité de bouillie pulvérisée et entraîne un sous dosage. L'inverse provoque un surdosage sur les feuilles (Gentet, 1986). La vitesse d'avancement influe aussi sur les dépôts. Travis et al., (1997a) ont montré qu'une vitesse basse (2,4 km/h) favorise un dépôt plus important. En effet, les quantités de dépôts sont corrélées au volume appliqué (Panneton et Piché, 2005). En 2002, Balsari l'a confirmé en montrant que pour deux volumes différents (500 et 100L par hectare), le volume atteignant le végétal diminuait de 80 à 65 %. Une autre étude complémentaire a montré qu'en mai, lorsque la canopée n'est pas encore très développée, l'utilisation d'un volume réduit (300 l/ha) permettait d'obtenir le meilleur dépôt sur la végétation. En juin et en aout, les meilleurs dépôts étaient obtenu avec un volume de 500 et 1000 l/ha (Balsari et al., 2002). D'après l'auteur, adapter le volume pulvérisé au stade phénologique des arbres permettrait d'optimiser la répartition et la distribution du produit au sein de la canopée.

#### **1.4.3 La structure et le stade végétatif du pommier**

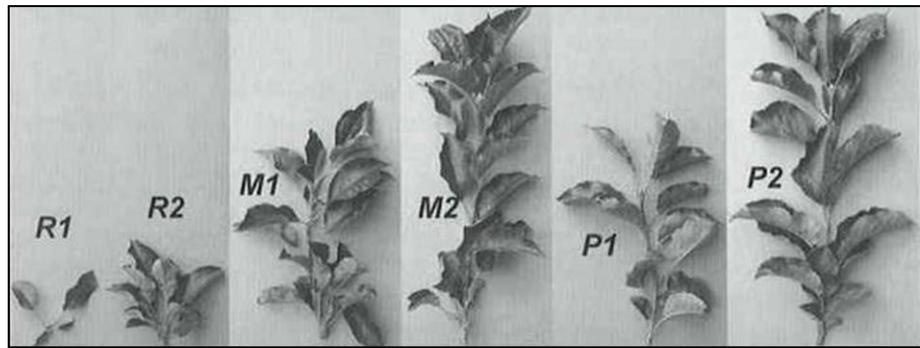
La structure du pommier varie énormément selon le stade végétatif, le système de conduite, la variété et la densité de plantation (Walklate et al., 2006). Tous ces paramètres affectent la relation entre le volume de bouillie pulvérisé et le dépôt obtenu sur la culture. Une étude, menée sur plus de 10 années, a montré qu'entre différents vergers de pommiers, traité à différents stades de croissance, la quantité de dépôts moyens de pesticides pouvait sextupler (Figure 18) (Cross et Walklate, 2008). En effet, seulement 26 % des vergers traitées (grands arbres aux couverts denses) avaient reçu un dépôt efficient (répondant à l'homologation) alors que les 74% restant avaient des dépôts 2 à 6 fois supérieures à la norme (Walklate et al., 2006). Ces dépôts plus importants correspondent aux petits et jeunes arbres, aux canopées moins denses (Travis et al., 1997b). Par une analyse statistique, les auteurs ont déterminé les paramètres de la structure du pommier qui influencent cette variabilité des dépôts (Tableau III). Ainsi, 80 % de la variabilité serait dû à la densité de la canopée. La combinaison de la hauteur et de la densité montre que ce sont ces deux paramètres qui influencent à 93 % la variation des dépôts (Cross et Walklate, 2008). Aussi, d'après les auteurs, en ajustant correctement la dose et le volume d'eau, il est possible d'obtenir des quantités de dépôts similaires entre vergers.

### **1.5 L'évaluation de la surface foliaire**

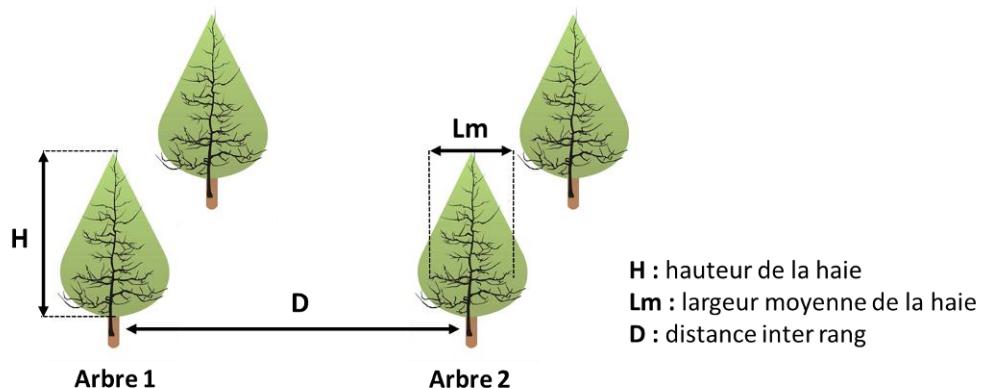
La quantité de dépôt est liée à la surface foliaire et à la densité de végétation. L'acquisition de ces informations en verger est indispensable pour envisager une adaptation des doses.

#### **1.5.1 Mesure directe**

Il est possible d'estimer la surface foliaire totale (SFT) en déterminant la surface moyenne



**Figure 20 : Représentation des catégories d'organes servant à l'établissement de la surface foliaire. R1 et R2 = petite et grande rosette ; M1 et M2 = petite et grande mixte ; P1 et P2 = petite et grande pousse. (Monney et Henriot., 2003)**



**Figure 19 : Représentation schématique des critères intervenant dans le calcul du Tree Row Volume. (d'après Viret, 2005a)**

des feuilles de six types d'organes du pommier (Figure 20). L'occupation de l'espace étant différente dans la canopée, il paraît important de distinguer le haut, le milieu et le bas de l'arbre. L'évaluation de la SFT peut s'effectuer par différents procédés : avec un planimètre (mesure réelle par un logiciel d'analyse d'image qui traduit les pixels en cm<sup>2</sup>), avec une mesure de poids (basé sur un abaque qui corrèle la surface et le poids des feuilles) ou avec une mesure de section (basée sur une corrélation entre surface foliaire et section de branche, soit des m<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>). Cette dernière méthode est relativement constante pour un site, une variété et un stade végétatif donné (Monney et Henriot, 2003). Les extrapolations des mesures permettent d'obtenir la SFT d'un verger. Cependant, l'intensité de floraison, le porte greffe et le mode de conduite entraînent des variations significatives de la vigueur des pousses et de la taille des feuilles. Aussi, la transposition d'un verger à un autre est difficile.

### 1.5.2 Mesure indirecte

#### 1.5.2.1 Tree Row Volume (TRV) et Leaf Wall Area (LWA)

La SFT peut être déterminée indirectement en mesurant le volume de la haie foliaire ou TRV. Ce concept a été proposé en 1971 (Viret et Siegfried, 2005a). Il a été adapté pour le traitement des arbres fruitiers à pépins et à noyaux. Il permet d'évaluer rapidement le volume de haie foliaire à traiter en appliquant la formule suivante :

$$\text{TRV (m}^3/\text{ha}) = \frac{\text{Hauteur de la haie (m)} \times \text{Largeur de la haie (m)}}{\text{Distance inter rang (m)}} \times \mathbf{10.000 \text{ (m}^2)}$$

Le TRV doit être régulièrement calculé au cours de la saison (Figure 19). En Suisse, cette méthode permet d'importantes réductions de volume de bouillie en traitements pré-floraux (Viret et al., 2010). La formule pour des arbres dont le TRV est inférieur à 17 000 m<sup>3</sup> est :

$$\text{Volume de bouillie (l/ha)} = \text{TRV} \times 0,02 + 200 \text{ (l)}$$

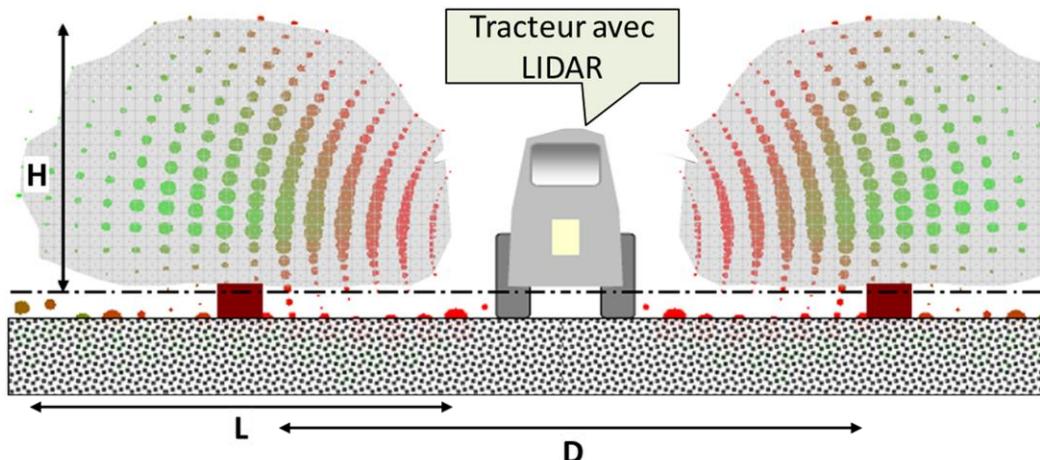
En Belgique, un autre indicateur, plus facile à acquérir mais moins précis, consiste à calculer la surface de la haie foliaire (LWA) (Codis et al., 2012a).

$$\text{LWA (m}^2/\text{ha}) = \frac{2 \times \text{Hauteur de la haie (m)}}{\text{Distance inter rang (m)}} \times \mathbf{10.000 \text{ (m}^2)}$$

Néanmoins, ces outils ne tiennent pas compte de la densité de la canopée fortement liée à la variété, au porte-greffe, à la conduite et à la forme de l'arbre.

#### 1.5.2.2 L'analyse du spectre lumineux

Deux techniques permettent d'estimer la SFT et/ou le volume de la canopée. La première consiste à mesurer la quantité de lumière disponible au cœur de la végétation, après le passage du flux lumineux au travers de la canopée. Ce dernier est inversement proportionnel à la surface de végétation ou Leaf Area Index (LAI). Les corrélations trouvées entre la SFT réelle et mesurées grâce au LAI sont très satisfaisantes ( $R^2$  proche de 90%) (Bachelier, 2005). De plus, des corrélations intéressantes ont été montrées entre les dépôts



**Figure 21 : Caractéristiques d'arbres à partir des enregistrements du LIDAR.** La zone grisée des arbres indique la voilure de l'arbre. Les bulles représentent la répartition et la densité de la canopée (proportionnelle au diamètre des bulles). (Cross et Walklate, 2008)

**Tableau IV : Mode d'expression des doses homologuées en arboriculture pour différents pays d'Europe.**  
(VERPONT, 2014a)

Pays	Expression des doses homologuées en arboriculture
Espagne, Portugal, Italie, Grèce	% (kg ou l/hl) avec un volume max/ha précisé
France, Angleterre	kg ou l/hl ou kg ou l/ha avec dose ou volume max/ha précisé
Suisse	kg ou l/10 000m <sup>3</sup> de TRV : quantité de produit pour 10 000m <sup>3</sup> de volume de haie foliaire
Allemagne, Autriche	kg ou l/m de Crow Height (CH) : quantité de produit par hectare de sol et par mètre de hauteur de canopée avec dose ou volume max/ha précisé
Belgique	kg ou l/10 000m <sup>2</sup> de LWA : quantité de produit pour 10 000m <sup>2</sup> de surface de haie foliaire avec dose max/ha précisée
Norvège	kg ou l/100m de rang : quantité de produit pour 100 mètres de rang
Pays Bas	% (kg ou l/hl) avec un volume max/ha précisé

\* % : correspond à une dose de produit exprimée en concentration

de bouillie et le LAI en verger de pommier (Gil, 2003 dans Rinaldi et al., 2013). La seconde repose sur la technique de Light Detection And Ranging (LIDAR) qui mesure le temps de parcours d'une impulsion laser (infra rouge) envoyée sur une cible et réfléchit vers son émetteur. Ce type de capteur permet une acquisition rapide et précise des paramètres de l'arbre scanné (hauteur, volume et densité de canopée) et une représentation en 3 dimensions (Figure 21) (Cross et Walklate, 2008). De bonnes corrélations sont obtenues avec les mesures réelles de TRV, LWA, SFT et surtout de LAI (Rinaldi et al., 2013). Cet appareil a été très utilisé pour l'étude de Cross en Angleterre, en 2008 et dernièrement en Espagne.

## **1.6 Expressions et méthodes d'utilisation des produits phytosanitaires**

### **1.6.1 Mode d'expression de la dose homologuée**

La dose correspond à la quantité de produit à appliquer pour une surface donnée (dose/cm<sup>2</sup> de feuillage) et qui assure un niveau satisfaisant d'efficacité (Codis et al., 2012a). Elle est déterminée pour des conditions d'application spécifiques : culture, système de plantation, bioagresseurs, système de pulvérisation et conditions météorologiques. En France, elle est exprimée en masse/volume par unité de surface (kg ou l/ha), ou bien en masse/volume par volume sur la base de 1000 litres de bouillie épandus par hectare (kg ou l/ha) (Tableau IV).

### **1.6.2 Une expression et une utilisation des doses inadaptées**

Initialement, les essais d'homologation étaient menés en utilisant le produit phytosanitaire à une concentration définie pour 100 litres de bouillie, dite dose hectolitre (dose/hl) (Codis et al., 2012a). Lors des essais en verger, la bouillie était appliquée par jet projeté jusqu'au point de ruissellement. Aussi, le volume de bouillie utilisée, indirectement la dose appliquée à l'hectare (dose/ha), suivait l'évolution de la surface foliaire du végétal à protéger. Aujourd'hui, l'évolution des techniques d'application et l'arrivée des pulvérisateurs pneumatiques (à dos pour les essais d'homologation et au verger) ont entraîné une forte diminution des volumes d'application compris entre 250 et 600 l/ha (Bourgouin, 2014). De ce fait, le volume de bouillie pulvérisé ne dépend plus de la surface foliaire du verger mais de la performance du matériel de pulvérisation. L'objectif reste néanmoins le même : obtenir la dose efficace par cm<sup>2</sup> de feuillage. Pour compenser cette réduction du volume de bouillie, les concentrations ont augmenté de manière à amener une dose constante sur la végétation (Codis et al., 2012a). En effet, dans la pratique, les arboriculteurs français multiplient la dose/hl par 10, puis appliquent cette dose unique sur tous leurs vergers et ce quel que soit le stade végétatif (Bourgouin, 2014). L'usage a fait que l'homologation française des produits s'effectue avec une dose correspondant à l'application de 1000 l/ha. Parfois, cette dose/ha est définie comme maximum. Pour le producteur, la mise en application est simple.

**Tableau V : Outils d'aptation des doses et des volumes de traitements en Europe, avec leur principe ainsi que les données à rentrer et en sortie du modèle**  
 (d'après Verpong, 2014b)

Pays	Outils	Principe	Entrées du modèle	Sorties du modèle
Suisse	Dosage adapté	On applique un volume variable croissant selon le développement de la végétation en ayant une concentration constante dans la cuve.	Hauteur et largeur de la canopée Distance entre rangs Surface à traitée Nom du produit Dose homologuée en concentration ou kl ou l/ha	Volume foliaire : TRV (en m <sup>3</sup> /ha) Volume de bouillie à appliquer en l/ha Quantité de produit en kg ou l/ha pour la surface traitée
France	Optidose en vigne	On applique un volume variable croissant selon le développement de la végétation. La concertation dans la cuve varie selon la pression des bioagresseurs.	Hauteur et largeur de la canopée Distance entre rangs Surface à traitée Stade phénologique Pression des bioagresseurs Dose homologuée en concentration ou kl ou l/ha	Volume foliaire : TRV (en m <sup>3</sup> /ha) Volume de bouillie à appliquer en l/ha Quantité de produit en kg ou l/ha pour la surface traitée
Angleterre	PACE : Modulation préconisée seulement en cas de pression faible à moyenne des bioagresseurs	Ajustement de la dose en fonction de la hauteur et de la densité de la canopée pour obtenir une quantité constante de dépôts quelle que soit la structure du verger et son évolution au cours de la saison.	Hauteur de la canopée Distance entre rangs Nombre de buses ouvertes Stade végétatif Caractéristique de la canopée selon les pictogrammes proposés	Dose exprimée en pourcentage de la dose pleine homologuée
Espagne	DOSAFRUT Dernier modèle sortie en arboriculture fruitière	Outils prenant en compte les caractéristiques du verger et la qualité de pulvérisation.  Le modèle calcule la part de bouillie efficace par rapport à la quantité totale de bouillie appliquée.	Caractéristiques du verger Densité en % de vide dans la canopée	LAI = surface foliaire en m <sup>2</sup> /ha
			Caractéristiques du produit Bioagresseur cible	D = indice de dosage en litres de bouillie efficace/m <sup>2</sup> de feuille
			Caractéristiques du pulvérisateur Conditions météorologiques	E = pourcentage d'efficience de la pulvérisation
				Volume d'application en l/ha $= \frac{2 \times LAI \times D}{E}$

Cependant, plusieurs études ont montré que les quantités de dépôts étaient très variables selon les conditions d'application et conduisant à des sur-dosages dans les vergers (cf. 1.4).

Dans d'autres pays, l'expression de la dose intègre différentes formes de modulation. En Espagne, la dose homologuée est définie par une fourchette de concentration : basse et haute, exprimée en dose/hl. Seulement, aucune préconisation n'est indiquée sur l'étiquette. Le choix de la dose revient au producteur (Codis et al., 2012b). En Suisse, l'homologation en verger est fondée sur la mesure indirecte de la surface foliaire par le TRV depuis 1996. La dose, exprimée en % fixe ou en dose/ha, est basée sur un volume de bouillie de 1600 l/ha ou sur 400 l/ha (quatre fois concentré) pour des applications à bas volume. Cette dose est définie comme le 100% du volume de bouillie calculé d'après le TRV qui correspond à 10 000m<sup>3</sup>/ha (cf. 1.5.2.1). La quantité de produit étant proportionnelle au volume de bouillie défini par le TRV, la réduction du volume et de la dose se fait au prorata du TRV mesuré sur une dizaine d'arbres représentatifs de la parcelle (Codis et al., 2012b).

### **1.6.3 Les outils d'adaptation en Europe**

De manière à répondre aux objectifs politiques et sociétaux, différents outils d'adaptation des doses aux conditions rencontrées lors de l'application des traitements phytosanitaires ont été développés en Europe (Tableau V). La réduction des doses est déjà largement pratiquée, de manière empirique, par les producteurs de fruits à pépin (Cross et Walklate, 2008). Aussi, l'objectif et la principale difficulté des instituts de recherche a été d'élaborer des règles qui optimisent à la fois les économies et le risque pour le producteur (Claverie et al., 2011).

#### **1.6.3.1 L'outil Français « Optidose » en vigne**

En France, les essais d'adaptation des doses de fongicides ont été entrepris à l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV) de Bordeaux en 1996. Les règles de décision de l'outil Optidose ont été construites de manière similaire à celles du « Dosage adapté » Suisse, basé sur le TRV des fruits à pépins, mais en ajoutant deux paramètres : la pression parasitaire et le stade phénologique (Davy, 2007). Du fait des particularités du vignoble français (densité de plantation, mode de conduite, cépages), le volet végétation a été retravaillé en trois étapes : trouver des règles de décisions d'adaptation à la surface foliaire, les valider en conditions expérimentales et les tester en conditions réelles (Claverie, 2013). Les premiers essais ont donc eu pour objectif de mesurer l'influence des particularités des vignobles sur la quantité de dépôt retrouvée sur le feuillage à différentes dates dans la saison. A chaque observation, la SFT, le TRV et le LAI ont été mesurés, un traceur fluorescent a été appliqué avec un pulvérisateur à dos sur le rang où des papiers filtres étaient placés dans le feuillage (Claverie et al., 2011). En termes de dépôts, il ressort qu'à même dose/ha de traceur : plus le TRV et le LAI augmentent, plus le dépôt/cm<sup>2</sup> de feuillage diminue. Ces résultats confirment qu'à réglage identique et optimal du pulvérisateur,

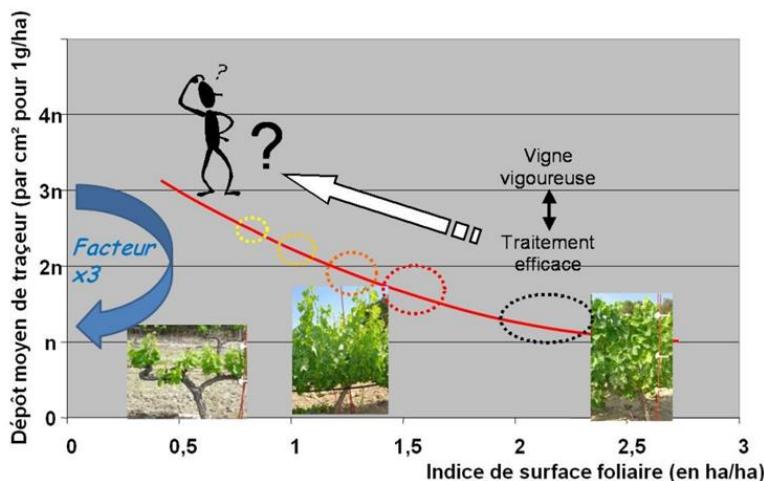


Figure 22 : Evolution du dépôt moyen de traceur selon l'indice de surface foliaire de la vigne. (Hebrard, 2012)

Tableau VI: Pourcentages et quantités de dépôt dans les compartiments : vigne, sol et air selon la végétation, le dose de produit et le matériel de pulvérisation utilisé. (d'après Hebrard, 2012)

	Application de la dose homologuée par hectare		Dose hectare divisée par 3 « Optidose »	« Optidose » avec du bon matériel
	Pleine végétation	Début de végétation		
Dose/ha	1 g/ha	1 g/ha	0.33 g/ha	0.083 g/ha
Vigne	60 % (200ng/dm²)	20 % (600ng/dm²)	20 % (200ng/dm²)	80 % (200ng/dm²)
Sol	30 %	40 %	40 %	10 %
Air	10 %	40 %	40 %	10 %

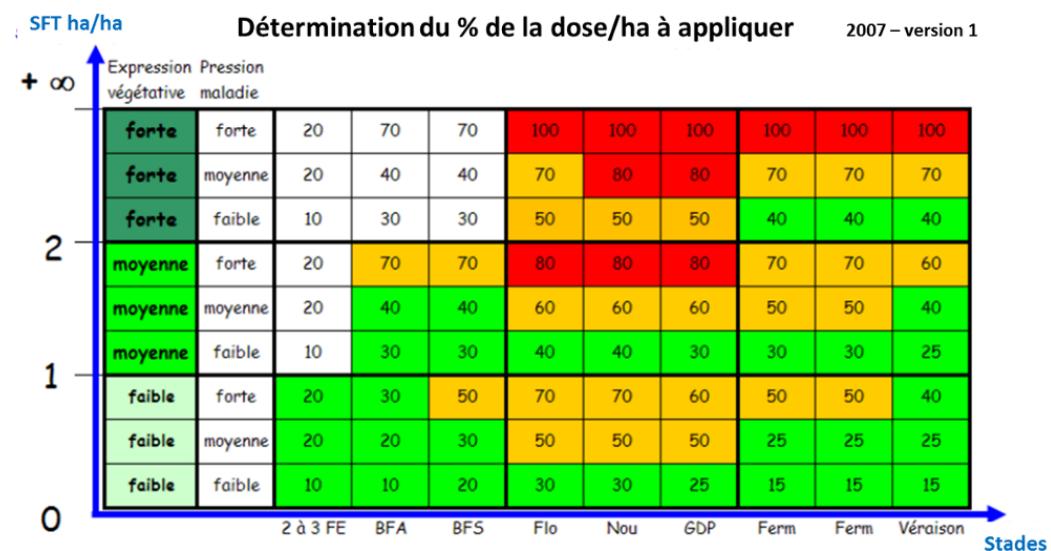


Figure 23 : Abaque déterminant le pourcentage de la dose/ha à apporter selon l'expression végétative, la pression de la maladie et le stade phénologique. (Claverie et al., 2011)

une vigne reçoit d'autant plus de bouillie que son nombre de feuilles est faibles (facteur de 3) (Figure 22 ; Tableau VI). La dose homologuée en pleine végétation étant efficace en conditions favorables au développement des pathogènes, l'adaptation de la dose peut se faire au prorata du gain de dépôt moyen observé (Claverie 2010, Hebrard, 2012). L'idée étant de maintenir un dépôt constant toute l'année, en adaptant la concentration du produit.

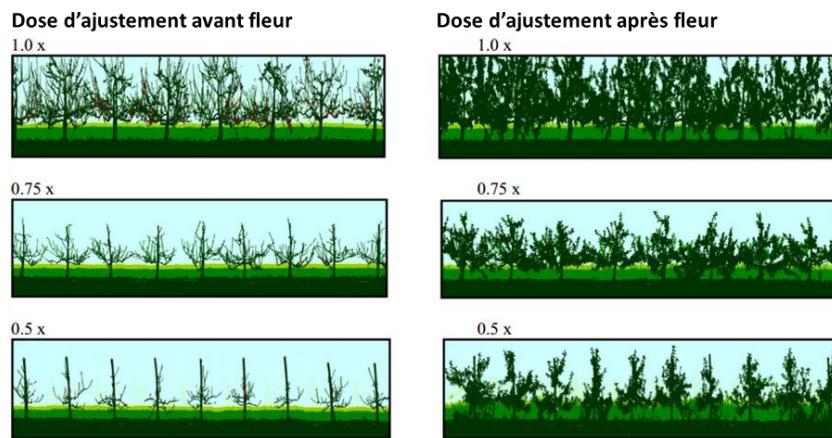
Pour valider les règles de décisions d'Optidose, un réseau d'essais a été constitué et suivi de manière pluri-annuelles dans différentes conditions pédoclimatiques, en comparant trois modalités : la dose adaptée à la végétation dite « Optidose », la pleine dose et le témoin. Les données acquises (risques épidémiques, observations de témoins non traités, météorologie, itinéraire phytosanitaire) ont permis de dresser, *a posteriori*, un inventaire des situations de réussite ou d'échec rencontrées dans des situations variées (Davy, 2010). Au fil des saisons, ces résultats ont fait évoluer l'abaque mis en ligne sur le site EPICURE de l'IFV (Figure 23).

Globalement, avec l'Optidose, il est possible de réduire de 35% la quantité d'intrants destinée à lutter contre le mildiou et l'oïdium par rapport aux pratiques des producteurs. En effet, la protection est très bonne en cas de pression parasitaire moyenne, bonne dans les situations où la pression est plus forte (gradient d'efficacité avec la modalité référence mais non significatif). Cependant, en cas de situation parasitaire exceptionnellement forte la modalité Optidose "décroche" et la référence producteur est limite acceptable (Davy, 2010).

Il faut noter qu'en début de végétation, si les dépôts sont plus importants, les pertes dans l'environnement (sol et air) le sont aussi. Ce constat est dû à une dose/ha inadaptée mais aussi au matériel de pulvérisation. En effet, en comparant les types de matériels utilisés en vigne, Hebrard (2012) a montré qu'avec du matériel performant et réglé selon la méthode Caliset (Annexe II) (Viret et Siegfried, 2005b), il était possible de réduire d'un facteur 4 la dérive et 12 la dose/ha tout en garantissant un dépôt constant sur la végétation (Tableau VI).

#### **1.6.3.2 Le modèle anglais : PACE**

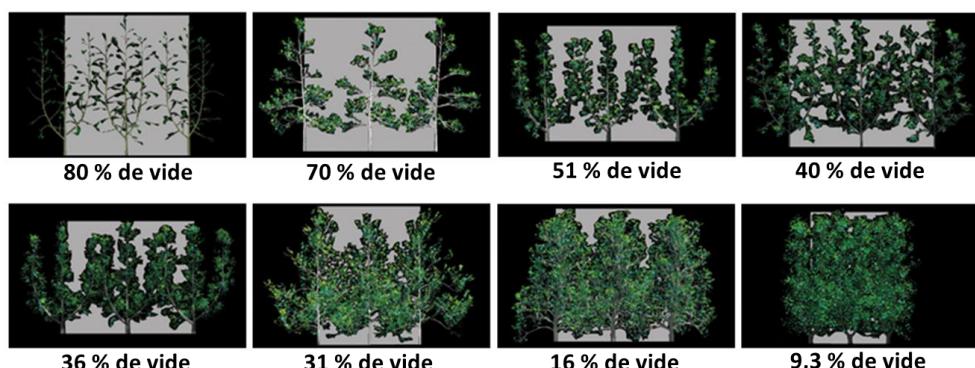
Le modèle PACE a été développé sur pommier en Angleterre en 2006. Il a été élaboré d'après les travaux menés sur la détermination des facteurs qui causent la variabilité des dépôts dans les vergers (Cross et Walklate, 2008). Dans leur démarche, les auteurs ont traité un large éventail de vergers différents à plusieurs stades de croissance, notamment avant la fin de la floraison et vers la fin du développement du fruit (Walklate et al., 2006). Le même pulvérisateur axial à jet porté a été utilisé, à la même vitesse d'avancement, avec le même débit des jets (volume de bouillie), à dose constante de composés métalliques. Pour chaque traitement, une mesure de dépôt a été effectuée et un tracteur couplé au LIDAR a permis de caractériser la structure du verger (Walklate et al., 2006). Les résultats ont permis de montrer que la variabilité des dépôts pouvait s'expliquer à 66% par le TRV mais à 93% par la hauteur et la densité de canopée (Figure 18). Cette étude a montré que



**Figure 24 : Pictogrammes de pommiers reproduits à partir de scans LIDAR.**  
**(Source PACE 2014)**

**Tableau VII : Les facteurs qui déterminent la perte de produit de protection des plantes et la valeur maximale des pertes. (Source Dosafrut 2014)**

Facteurs	Composants limitants	Les effets négatifs	Pertes maximales
Structure de plantation	La largeur / densité de l'arbre	Difficulté de pénétration	15%
	La hauteur de l'arbre	Difficile d'atteindre la cime	35%
Caractéristiques de pulvérisation	Le système de distribution	Transport des gouttes insuffisant	30%
	Le type de buse	Taille des gouttes hétérogène et/ou inappropriée	20%
Paramètres de fonctionnement	Vitesse d'avancement	Perte au sol par dérive, dépôt non uniforme	30%
	Volume d'air du ventilateur		
Conditions météorologiques	Températures	Evaporation des gouttelettes, dérive	30%
	Vitesse du vent		
	Humidité relative		



**Figure 25 : Pictogrammes de pommiers reproduits à partir de scans LIDAR et pourcentage de vide dans la canopée (d'après Dosafrut 2014)**

l'ajustement de la dose doit se faire par rapport à ces deux derniers paramètres. Le modèle PACE propose cet ajustement de la dose homologuée (Cross et Walklate, 2008). Dans ce modèle, la densité de la canopée est évaluée visuellement par le producteur et classée selon des pictogrammes de pommiers reconstruits à partir de scans LIDAR (Figure 24). Afin d'avoir un ajustement correct par les producteurs, une série de séminaires et de cours de formation a été réalisée sur le réglage du matériel : ajuster le nombre et la position des buses à la hauteur de l'arbre par exemple. En effet, si le producteur ne ferme pas ses buses au prorata de la hauteur des arbres, la dose préconisée par PACE ne donnera pas les dépôts escomptés et il y aura des pertes dans l'environnement. Enfin, en sachant que l'efficacité biologique d'une réduction de dose n'est pas garantie par les firmes phytosanitaires, les concepteurs de PACE ne la préconisent pas si le risque bioagresseurs est élevé. Dans ces circonstances, ils conseillent l'application de la dose homologuée.

#### **1.6.3.3 Le modèle Espagnol : Dosafrut**

DOSAFRUT est un outil d'aide à la décision qui dépasse la précision de ceux utilisés jusqu'ici. Il résulte d'une dizaine de projets de recherche et de développement, notamment PULVEXACT (2002-2005) et OPTIDOSA (2007-2010), menés au cours de ces 25 dernières années (Gil et al., 2010a). Il a été validé par des études de dépôt en verger et par neuf essais expérimentaux d'efficacité biologique dont : 5 en poire, 3 en pomme et 1 en pêche (Gil et al., 2010b). La particularité de cet outil est d'ajuster le volume de bouillie/ha, et donc la dose/ha, à la végétation, mais aussi en fonction des multiples facteurs qui influencent l'efficacité d'une application (cf. 1.4 ; Tableau VII). La combinaison de tous ces facteurs permet de calculer la proportion de pertes et l'efficience du traitement dans les conditions spécifiques dans lesquelles il a lieu (Dosafrut 2014). L'Espagne est le premier pays à intégrer l'efficience dans un modèle. Elle est particulièrement intéressante quand on sait, qu'en culture pérennes, en France, l'efficience moyenne est de 50% en pleine végétation et seulement de 20% en début de végétation (Verpont, com perso).

Avant un traitement, le producteur doit simplement renseigner un certain nombre de paramètres facilement mesurables. Pour le guider dans l'estimation de la densité de végétation, un choix parmi plusieurs pictogrammes est effectué (Figure 25). Ils sont, comme pour l'outil PACE, basés sur des scans LIDAR. En sortie de modèle, l'outil détermine deux données : le volume/ha à appliquer pour la dose homologuée et l'efficience du traitement.

Il faut noter, que les concepteurs de DOSAFRUT travaillent aujourd'hui à la mise au point d'un prototype de pulvérisateur équipé de capteur LIDAR dans la perspective d'ajuster le volume de bouillie à une mesure en temps réel de la végétation (Gil et al., 2009). Les premiers résultats ont montré que l'utilisation de tel prototype pouvait réduire jusqu'à 50% les intrants phytosanitaires en verger (Gil et al., 2011 dans Verpont 2014c).



## **Partie II. Adaptation des doses et des volumes**

### **2.1 Objectif de l'étude**

Face aux problématiques actuelles et face à la réglementation à venir (réduction de 50% des intrants fixée par le Plan Ecophyto 2018, changement du mode d'expression des doses), une réflexion globale sur l'application des produits phytosanitaires en arboriculture est engagée. La pulvérisation est récemment devenue un thème d'étude prioritaire au Ctifl (Annexe III). Cet été 2014, un projet « Optimisation de la pulvérisation en arboriculture fruitière » d'une durée de cinq années (2015-2019) a été présenté à la DGAL. Il vise entre autres à répondre, à moyens termes, aux questions suivantes :

- Quelles méthodes et outils existent pour évaluer la surface foliaire à traiter ?
- Quel rapport entre : surface foliaire, volume pulvérisé, dose (et dépôt) et efficacité ?
- Est-il possible d'aller jusqu'à une adaptation de la dose en tenant compte de la surface foliaire, de la pression parasitaire ainsi que du type de pulvérisateur ?

La première synthèse bibliographie sur le sujet, réalisé précédemment, permet d'apporter certaines réponses et met en évidence l'importance de connaître l'évolution des quantités de dépôts par rapport au développement du pommier. Le projet n'étant pas encore accepté, mais les sollicitations étant fortes, un premier essai basé sur le principe des outils utilisés par les producteurs à l'étranger sur pommier et en France en viticulture est réalisé.

Les principaux objectifs de cet essai sont :

- d'évaluer les différents outils et méthodes d'adaptation des volumes et des doses et d'étudier leur pertinence et leur adaptabilité au verger français,
- de vérifier pour chacun des outils, l'efficacité biologique obtenue sur les principaux bioagresseurs du pommier,
- de quantifier la réduction des intrants phytosanitaires obtenue sur la campagne et d'estimer un éventuel gain économique,
- d'améliorer le protocole actuel en vue d'essais en réseau.

### **2.2 Matériels et méthodes**

#### **2.2.1 Description du site expérimental**

##### **2.2.1.1 La parcelle d'essai**

La parcelle de l'essai, située sur le domaine du Ctifl de Laxnade est nommée « Sa ». Les pommiers, implantés lors de la campagne de 2004-2005, sont en 10<sup>ème</sup> feuilles. Cela correspond à un verger mature et en pleine production. Ils sont de la variété Brookfield (porte-greffe Pajam® 1) et appartiennent au groupe gala. La surface effective de l'essai est

**Tableau VIII : Règle de décision des traitements contre les principaux bioagresseurs du pommier.**

Cibles	Système conventionnelle
<b>Tavelure</b>	<p><u>Contaminations primaires</u>  Dès le débourrement (stade B-C3), protection préventive chimique.  Renouvellement en stop ou curatif en cas : <ul style="list-style-type: none"> <li>- de lessivage du produit,</li> <li>- de forte croissance de la pousse (nouvelles feuilles non protégées),</li> <li>- ou de pic de projection d'ascospores + RIM moyen (<math>&gt;100</math>) à grave (<math>&gt;300</math>).</li> </ul> Considérer la fin des contaminations primaires à 99% d'ascospores projetées.</p> <p><u>Période intermédiaire contaminations primaires/secondaires (fin mai-juin)</u>  En fin des primaires, suivre les données du modèle sur les risques primaires (projection d'ascospores + RIM) et secondaires. <ul style="list-style-type: none"> <li>- En cas de risque d'infection sur fruits maintien de la protection préventive.</li> <li>- En l'absence de risque sur fruits, ne pas traiter.</li> </ul> </p> <p><u>Contaminations secondaires (à partir de mi-juin)</u>  Si la parcelle n'est pas « propre », selon le % de pousses attaquées, traiter en préventif en cas de risque moyen à grave sur feuilles.  Seuils définis : - 1% fin juin                            - 3% fin juillet                            - 5% fin août  Sinon, traitement préventif à chaque risque d'infection sur fruits.</p>
<b>Oïdium</b>	En fonction des anti-tavelures appliquées et des observations
<b>Puceron cendré</b>	Traitement pré- et post-floral obligatoire Puis renouvellement si présence lors des observations Arrêt des traitements si présence de puceron ailé et migration vers l'hôte secondaire
<b>Carpocapse et tordeuses</b>	Absence de confusion sexuelle. Le suivie de piégeage et le Bulletin de Santé du Végétal (BSV) permettent le positionnement des traitements sur la 1 <sup>ère</sup> et 2 <sup>ème</sup> génération du carpocapse. Application d'un traitement contre les tordeuses de la pelure si le seuil de 5% de bouquets floraux occupés est dépassé. Pas de traitement si présence de filets anti-carpocapse.
<b>Acarien</b>	Application si le seuil de 50% de feuilles occupées est dépassé. Renouvellement selon les observations.

de 2 078 m<sup>2</sup>. Elle s'organise en 13 rangées d'arbres orientées dans l'axe Nord-Sud. Ces arbres sont espacés de 1,25 m sur le rang et de 4 m entre les rangs, soit une densité de plantation de 2 000 arbres par hectare. La conduite des arbres est en axe.

### **2.2.1.2 La stratégie de protection employée**

La parcelle « Sa » est conduite de manière conventionnelle, c'est-à-dire que les interventions sont exclusivement chimiques. La gamme de produits utilisée, basée sur le Guide Arbo du Sud-Ouest 2014, est représentative des pratiques régionales (Annexe IV). Les règles de décisions des traitements sont définies pour chaque bioagresseur (Tableau VIII). Cette conduite n'exclue pas les méthodes alternatives. Elle nécessite de nombreuses observations dans le verger, du piégeage et le suivi des prévisions météorologiques (Annexe V).

## **2.2.2 Facteurs et modalités étudiés**

### **2.2.2.1 Les facteurs**

Deux facteurs sont étudiés : le volume de bouillie et la dose/ha de produit phytosanitaire, en conséquence la concentration dans la cuve est variable.

Dans la bibliographie, l'adaptation des volumes de bouillies à la végétation se base sur différents outils conditionnés par plusieurs mesures (TRV, Lidar, etc.). Cependant, des mesures avant le début de l'essai ont montré que ces différents outils n'étaient pas adaptés et conçus pour le verger français. En effet, ils tendraient à faire évoluer à la hausse les volumes de bouillies et la dose/ha par rapport aux pratiques habituelles, ce qui va à l'encontre des objectifs fixés (Annexe VI). Pour cet essai, les volumes ont donc été ajustés à la végétation par une autre méthode. En début de saison (stade C à I-J), le volume est de 250 l/ha. C'est le volume/ha minimal utilisé sur pommier en France (Bourgouin, 2014). En fin de saison le volume est de 400 l/ha, ce qui correspond à la pratique du Ctifl de Lanxade et qui est considéré comme le maximum en pratique dans la région. Enfin, durant la mi-saison (stade I-J au basculement du fruit), un volume intermédiaire de 300 l/ha a été défini de manière arbitraire.

Dans l'essai, la dose/ha est soit constante pour un volume de bouillie donné, soit variable selon le volume de bouillie et/ou le risque de contamination par la tavelure.

La concentration de la bouillie est calculée d'après la formule suivante :

$$\text{Concentration (g ou ml/l)} = \frac{\text{dose (kg ou l)/ha OU [dose (kg ou l)/hl} \times 10]}{\text{volume de bouillie appliquée (l/ha)}} \times 1\,000$$

**Rappel :** En volume normal, la dose/ha correspond à la dose/hl multipliée par le nombre d'hectolitres effectivement pulvérisés. En verger de pommier, à volume réduit, la dose/ha correspond à la dose/hl multipliée par 10.

**Tableau IX : Evolution des doses de produits, des volumes de bouillies phytosanitaires et des concentrations pour les différentes modalités de l'essai selon le développement végétatif du pommier avec l'exemple d'un produit homologué à 0,1 kg/hl ou 1 kg/ha.**

	<b>Mars à mi-mai Stade C à I-J</b>	<b>Mi-mai à début juillet Stade I-J à basculement</b>	<b>Début-juillet à récolte</b>
<b>Modalité 1</b>	Aucun traitement phytosanitaire		
<b>Modalité 2</b>	400 L	400 L	400 L
Dose	1 kg/ha	1 kg/ha	1 kg/ha
Concentration dans la cuve	2.5 g/L	2.5 g/L	2.5 g/L
<b>Modalité 3</b>	250 L	300 L	400 L
Dose	0.63 kg/ha	0.75 kg/ha	1 kg/ha
Concentration dans la cuve	2.5 g/L	2.5 g/L	2.5 g/L
Diminution de la dose/ha	-37% (soit 63% de la dose pleine)	-25% (soit 75% de la dose pleine)	-0% (soit 100% de la dose pleine)
<b>Modalité 4</b>	250 L	300 L	400 L
Dose	0.2 kg/ha ou 0.5 kg/ha ou 0.75 kg/ha selon la pression et le développement végétatif	0.5 kg/ha ou 0.75 kg/ha ou 1 kg/ha selon la pression et le développement végétatif	0.75 kg/ha ou 1 kg/ha selon la pression et le développement végétatif
Concentration dans la cuve	0.8 ou 2 ou 3 g/L	1.6 ou 2.5 ou 3.3 g/L	1.88 ou 2.5 g/L
Diminution de la dose/ha	-80% à -25% (soit 20 à 75% de la dose pleine)	-50% à -0% (soit 50 à 100% de la dose pleine)	-25% à -0% (soit 75% à 100% de la dose pleine)
<b>Modalité 5</b>	250 L	300 L	400 L
Dose	0.25 kg/ha	0.3 kg/ha	0.4 kg/ha
Concentration dans la cuve	1 g/L	1 g/L	1 g/L
Diminution de la dose/ha	-75% (soit 25% de la dose pleine)	-70% (soit 30% de la dose pleine)	-60% (soit 40% de la dose pleine)

### **2.2.2.2 Les modalités de l'essai**

Cinq modalités sont étudiées. Concrètement, elles peuvent se traduire de la manière suivante (Tableau IX) :

**Modalité 1** : le témoin non traité, il permettra d'évaluer la pression annuelle des différents bioagresseurs observés.

**Modalité 2** : la référence producteur, pratique du volume réduit et constant de 400 l/ha sur la saison avec une concentration constante. Cette concentration correspond à celle de la dose/ha (ou de la dose/hl multipliée par 10). Pour un produit homologué à 1 kg/ha, la concentration lors d'une application à 400 l/ha sera de 2,5 g/l.

**Modalité 3** (principe du « dosage adapté ») : le volume est variable selon le stade végétatif mais la concentration reste constante. Cette concentration correspond à celle de la modalité référence, soit 2,5 g/l et plus précisément à la dose homologuée. Pour rappel, cette dose garantit la meilleure efficacité contre les bioagresseurs lorsque les conditions sont favorables à leur développement et en pleine végétation. Partant du principe que les quantités de dépôts de produits sur le végétal sont en excès en début de végétation, la théorie veut que l'efficacité sera maintenue par une concentration similaire à la référence (et si la qualité de pulvérisation et la quantité de dépôts sont similaires à 250 et 400 l/ha). Aussi, pour une concentration référence de 2,5 g/l avec un volume de 250 l/ha en début de saison, la dose est de 0,63 kg/ha.

**Modalité 4** (principe de l'Optidose en vigne) : le volume est variable selon le stade végétatif et la concentration est évolutive en fonction du risque de contamination de tavelure, prédit par RIMpro et du développement végétatif (pousse de bourse). La fourchette de dose à employer pour les risques faibles, moyens et graves ne dépasse pas la dose homologuée. Avec la variation du volume de bouillie, la concentration d'une application peut être supérieure à celle de la référence. Par exemple, en début de saison, l'utilisation d'un volume de 250 l/ha en risque grave de contamination (75 % de la dose homologuée) donne une concentration de 3 g/l contre 2,5 g/l pour la référence.

**Modalité 5** : le volume est variable selon le stade végétatif et le « principe de la dose hectolitre » est appliqué. En effet, dans cette modalité la dose/hl n'est plus multipliée par 10, mais par le nombre réel d'hectolitres utilisés pour recouvrir l'ensemble du végétal. Pour une application à 250 l/ha, la quantité de produit sera : la dose/hl multipliée par 2,5 et la dose/ha multiplié par 0,25. De cette manière, la concentration reste constante dans la saison.

Dans ce rapport, les produits d'éclaircissement ne sont pas pris en compte. Il a été choisi de se concentrer sur les traitements concernant les principaux bioagresseurs afin de pouvoir approfondir ce sujet. « Ce rapport comprend les données jusqu'à mi-août ».

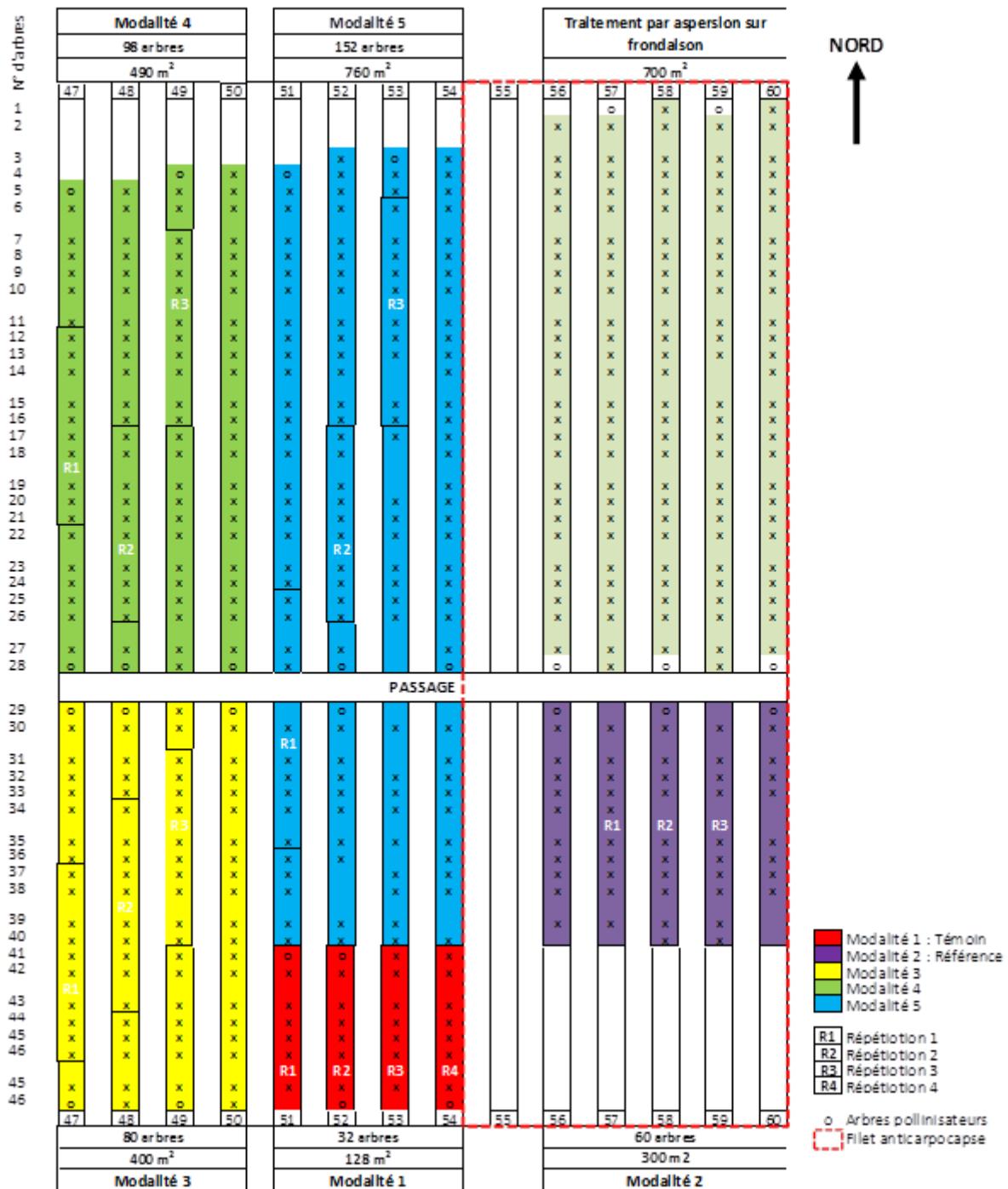


Figure 26 : Plan de l'essai : adaptation des doses et des volumes de traitements phytosanitaires en verger de pommier.

Tableau X : Vitesse d'avancement, type de buse et pression pour obtenir un volume de bouillie donné.

Volume de bouillie (l/ha)	Vitesse d'avancement (km/h)	Type de buse	Pression exercée (bar)
250	5,7	ATR marron	10
300	5,7	ATR marron	15
400	5,7	ATR jaune	11

### **2.2.3 Dispositif expérimental**

La parcelle d'essai comporte cinq modalités. Le témoin et la référence, présents depuis plusieurs années à ces endroits, servent pour d'autres essais (Figure 26). La référence est située sous filet Altcarpo®. Ceci introduira un biais dans l'analyse des résultats, même si la pression carpocapse est faible et les traitements limités. Les modalités 3 et 4 ont une surface similaire : les rangs sont partagés en deux. La modalité 5 a une surface plus importante pour mieux déterminer les placettes d'observations car certains arbres sont dépérisants. Pour chacune des modalités, les observations sont réalisées sur 3 placettes de 10 arbres afin d'effectuer des répétitions. Les deux faces (Est et Ouest) sont observées à part égale. Un rang de garde et un passage de 1,5 m au milieu de la parcelle séparent les modalités. Pour le témoin, les observations sont faites sur 4 placettes, soit 29 arbres.

### **2.2.4 Matériel de pulvérisation**

Tous les traitements sont réalisés avec le même matériel : un pulvérisateur tracté à jet porté (Nicolas Magistral ASI 1000) et un tracteur Fendt. Pour faciliter la mise en œuvre, l'adaptation du volume de bouillie se fait en gardant la même vitesse d'avancement, soit 5,7 km/h. Le changement du volume est donc effectué par le calibre des buses à turbulence (ATR 80 marron et jaune de la marque Albuz) et la pression exercée sur ces dernières (Tableau X). Pour éviter les pertes de bouillie dans l'air, le pulvérisateur a été réglé : le nombre de buses utilisées est adapté à la hauteur des arbres (les deux buses projetant un jet au-dessus de la cime des arbres ne sont pas utilisées). Quatorze buses fonctionnaient lors des traitements. Elles ont étaient contrôlées par la méthode Caliset (Annexe II et VII).

### **2.2.5 Observations et mesures**

#### **2.2.5.1 Suivi de pousse**

Un suivi de pousse de bourse est réalisé trois fois par semaine de manière à contrôler les nouvelles feuilles sorties. Il est nécessaire dans la prise de décision des traitements anti-tavelure. Il permet aussi de repérer, en fonction du niveau de feuilles tavelées sur la pousse, à quel moment ont eu lieu les contaminations. Le suivi est fait par la pose de bagues de couleurs différentes, sur 10 pousses des arbres de la parcelle (Figure 2). Pour guider le changement du volume de bouillie, les stades phénologiques sont aussi notés (Annexe V).

#### **2.2.5.2 Caractérisation de la végétation**

La caractérisation de la végétation s'effectue à 5 stades végétatifs : au stade C-C3, à la floraison, au stade I-J, au basculement du fruit et en pleine végétation. La mesure de la hauteur et de la largeur de la canopée s'effectue sur 10 arbres définis dans l'essai. Ces mesures permettront de déterminer le TRV et les volumes de bouillie d'après les modèles Suisse et Espagnol. A chaque mesure, des photos sont prises.

Tableau XI : Présentation des observations réalisées dans l'essai.

Bioagresseurs	Suivi réalisé par modalité
<b>Tavelure</b>	Présence/absence de symptôme. Observation aléatoire sur : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 300 rosettes en mai,</li> <li>- 120 pousses de bourse et 1200 fruits en fin de contaminations primaires, en juillet et en août. Une distinction entre le haut (<math>&gt; 2</math> m) et le bas (<math>&lt; 2</math> m) de l'arbre est faite pour mettre évidence une différence d'efficacité entre le volume constant et variable ainsi que les doses.</li> <li>- Le nombre et l'étage (en partant de la base de la pousse) des feuilles tavelées sont notés par rapport au nombre total de feuilles. Cette donnée permettra de déterminer une intensité d'attaque et de montrer, avec le suivi de pousse, les périodes de contamination pour chaque modalité.</li> </ul>
<b>Puceron cendré</b>	Présence/absence du ravageur sur 75 bouquets/pousses avant et après le traitement pré-floral et après le traitement post-floral.
<b>Carpocapse</b>	Présence/absence de dégâts sur 1200 fruits.
<b>Tordeuses</b>	Présence/absence de dégâts sur 75 bouquets et 1200 fruits. Réalisées en même temps que les observations de tavelure et carpocapse.
<b>Acarien rouge</b>	Présence/absence d'acariens ravageurs et auxiliaires, mobiles, sur 75 feuilles. Observation une fois par mois de fin-mai à fin-juillet

Tableau XII : Précipitations et températures moyennes mensuelles depuis 2004 au Ctifl de Lanzade.

	Année	mars	avril	mai	juin	juillet
<b>Précipitations (mm)</b>	2004-2013	58,5	73,2	73,1	50,1	50,5
	2014	65,8	77,0	114,4	31,6	78,0
<b>Températures moyennes (°C)</b>	2004-2013	9,1	12,5	16,0	19,6	21,2
	2014	9,6	13,1	14,4	20,6	20,7

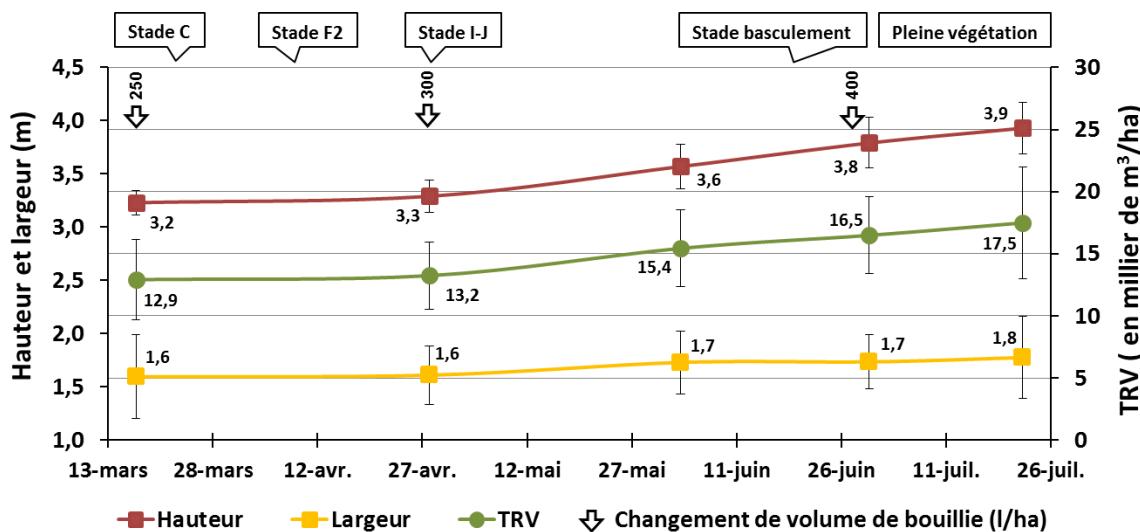


Figure 27 : Suivi des mesures déterminant le TRV, principaux stades phénologiques et dates du changement de volume de bouillie.

### **2.2.5.3 Condition d'une application**

Les conditions météorologiques et le reliquat sont enregistrés lors des applications pour les modalités M3, M4 et M5. Cela permet de vérifier si le volume de bouillie souhaité, et donc la dose, est celui attendu pour la modalité. Le reliquat de la référence M2 n'est pas mesuré. En effet, la bouillie « référence » est pulvérisée sur d'autres parcelles du domaine.

### **2.2.5.4 Présence et dégâts des bioagresseurs**

Les suivis et les observations s'appuient sur les méthodes CEB. Elles ont été adaptées aux dispositifs et aux objectifs de l'étude. Concernant la plupart des bioagresseurs, il s'agit d'observer leur présence ou non (Tableau XI).

### **2.2.5.5 Indicateurs**

- Indice de Fréquence de Traitement (IFT)

La pression phytosanitaire sur la saison est mesurée via le calcul de l'indice de fréquence de traitement (IFT). Cet indice est le rapport de la dose appliquée du produit sur la dose homologuée minimale de tous usages confondus du produit sur la culture du pommier. Pour la saison, le cumul des IFT fongicides et insecticides est effectué pour chaque modalité.

- Indicateur économique

Pour chaque modalité, une analyse des coûts d'application des traitements est effectuée par hectare. Elle prend en compte le coût des produits phytosanitaires, du temps de travail et l'amortissement du matériel (tracteur et pulvérisateur) (Annexe VIII).

### **2.2.6 Traitement des données**

L'évaluation de l'efficacité biologique des modalités est faite par une analyse statistique avec le logiciel R. Le dispositif expérimental ne permettant pas de respecter les postulats (normalité des résidus et égalité des variances) pour effectuer une ANOVA et un test de Newman Keuls, un test non paramétrique de Kruskall Wallis est effectué au seuil de 5 %.

Le potentiel de réduction des doses, au travers de l'IFT, et des coûts d'applications des traitements de chaque modalité sera traité et comparé.

## **2.3 Résultats**

### **2.3.1 Conditions météorologiques printanières et estivales**

Le début du printemps 2014 est constant, les mois de mars et d'avril ont reçu à peine plus de précipitations que la moyenne des années précédentes (2004-2013). En revanche, le mois de mai a été particulièrement pluvieux. Les températures des mois de mars et avril sont au-dessus de la moyenne. Par contre, le mois de mai 2014 a été plus froid que les autres années (Tableau XII; Figure 28). L'été 2014 est plus contrasté. Le mois de juin a été plutôt sec avec de faibles précipitations et des températures plus élevées par rapport à la moyenne

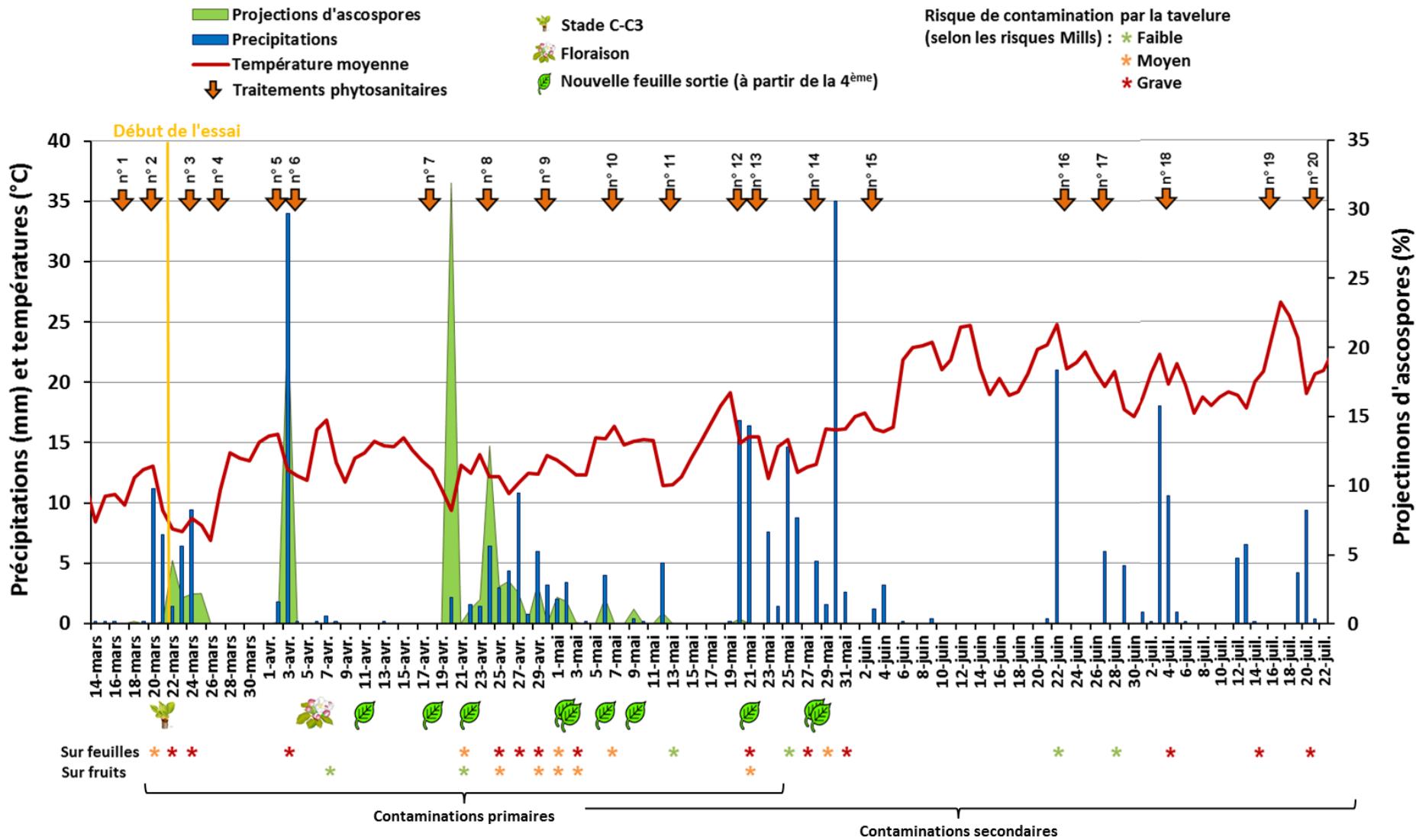


Figure 28 : Projections d'ascospores en fonction des conditions météorologiques et traitements phytosanitaires anti tavelure réalisés en fonction des risques de contaminations primaires et secondaires sur feuilles et fruits.

des années antérieures. *A contrario*, le mois de juillet a été très humide et orageux avec plus de précipitations et des températures moins élevées que la moyenne.

### **2.3.2 Conséquences sur la végétation et la pression des bioagresseurs**

#### **2.3.2.1 Sur le volume de végétation et les stades phénologiques**

Les mesures des arbres ont montré que leur largeur et hauteur moyennes avaient gagné 20 et 70 cm respectivement, durant la saison. Le TRV a augmenté de 4600 m<sup>3</sup> (Figure 27). Ces mesures montrent que l'augmentation croissante du volume de végétation a débuté après la floraison au stade I-J, date du premier changement de volume de bouillie. Ensuite, le TRV n'a cessé d'augmenter jusqu'au 22 juillet, date de la dernière mesure et correspondant à « la pleine végétation ». Le passage au volume de 400 l/ha ne s'est fait qu'après le stade basculement. La décision a été prise sur l'observation d'une densification du feuillage.

#### **2.3.2.2 Sur le développement de la pousse**

Le suivie de la croissance de la pousse a commencé tardivement. Les températures élevées de mars à mi-avril avaient permis la formation de quatre feuilles. Jusqu'au 22 avril, le développement est constant. Puis, il a ralenti et s'est terminé le 6 mai. En moyenne, la dynamique de pousse est d'une feuille supplémentaire tous les 4-5 jours. Lors des contaminations primaires de tavelure, le feuillage a donc été sensible. A titre indicatif et pour positionner au mieux les traitements, le suivi a été prolongé sur deux pousses végétatives jusqu'au 28 mai (Figure 28 ; Annexe IX).

#### **2.3.2.3 Sur les risques de tavelure**

Les conditions météorologiques ont été propices aux contaminations. Pour déterminer la période des contaminations primaires, trois paramètres sont examinés : la valeur du RIM, le pourcentage d'ascospores projetées et le risque de Mills (faible, moyen et fort). Les contaminations primaires se sont étalées du 16 mars au 23 mai (Figure 28 ; Annexe X). Durant cette période, il y a eu 30 jours de pluie (162 mm). Les températures élevées de fin mars à mi-avril ont accéléré la maturation des périthèces. Les épisodes pluvieux qui ont suivis ont fortement contribué au développement de la tavelure sur feuilles et sur fruits. En effet, l'essentiel des projections d'ascospores s'est déroulé du 20 avril au 3 mai (62 % d'ascospores projetées et RIM=2000). Deux autres épisodes infectieux sont distinguables : du 22 au 26 mars durant le stade C-C3 et du 3 au 4 avril. Les contaminations secondaires ont commencé dès l'apparition des premières tâches de tavelure, soit mi-avril. D'après Mills, les épisodes pluvieux du 20 avril au 7 mai et du 20 au 31 mai ont été propices aux infections secondaires. En juin, les contaminations n'ont pas été accentuées. En revanche, les orages de juillet ont entraîné cinq risques d'infection grave.

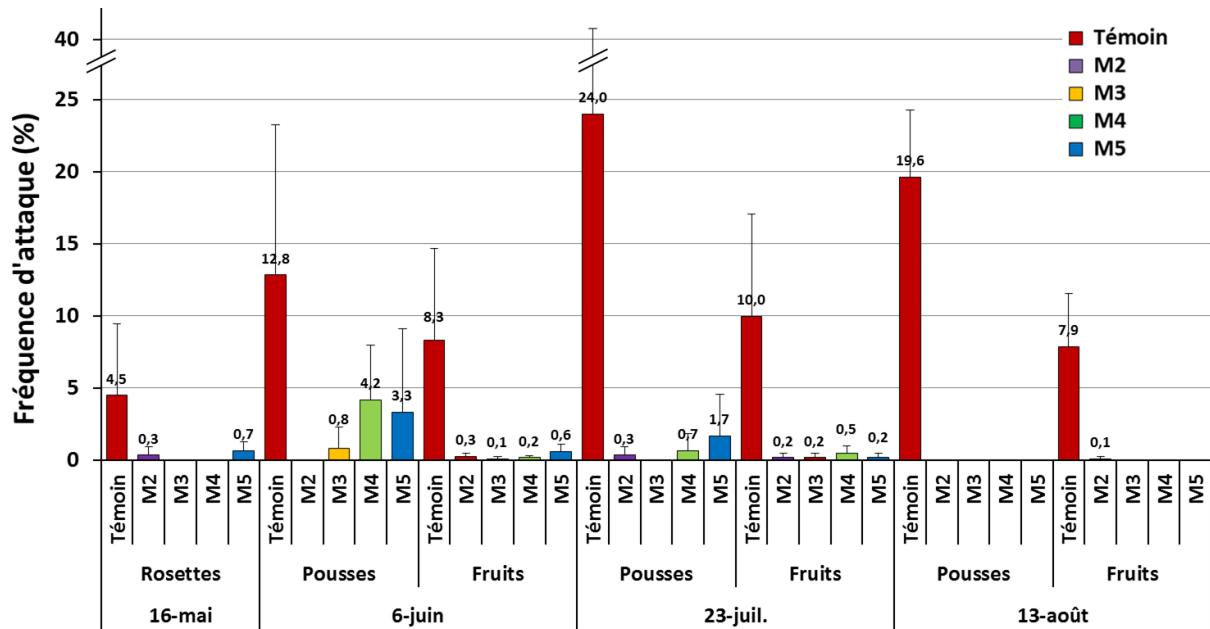


Figure 30 : Fréquence d'attaques de tavelure sur pousses et fruits de chaque modalité.

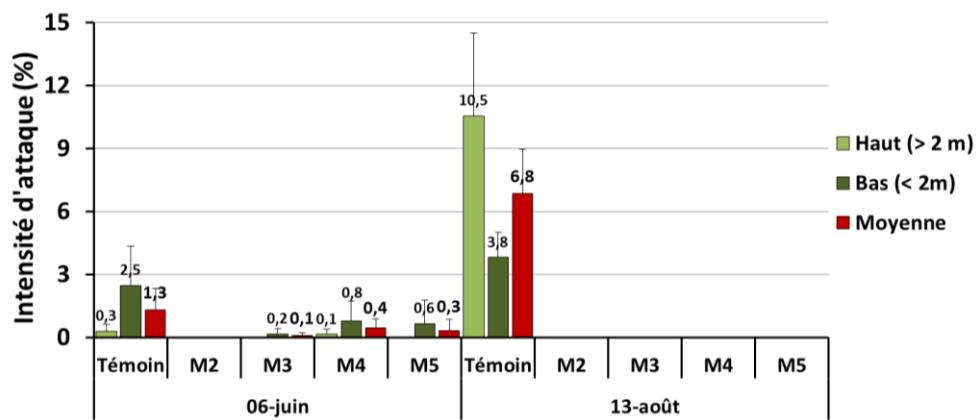


Figure 29 : Intensité d'attaque de tavelure moyenne sur feuille pour chaque modalité ainsi qu'en haut et en bas des arbres (supérieur et inférieur à 2 m).

#### **2.3.2.4 Sur les ravageurs**

La dynamique des pousses de bourses et végétatives a été favorable aux attaques de puceron cendré. Les conditions de juin ont favorisé le développement des colonies puis les premières migrations vers l'hôte secondaire. Le mois de juin a aussi profité à l'expansion des acariens rouges. Ça n'a pas était le cas du mois de juillet. Globalement, les conditions ont entraîné une faible pression carpocapse et tordeuses.

#### **2.3.3 Suivi des attaques de tavelure**

Au 13 août, dans le témoin, la maladie est présente de manière assez homogène dans les répétitions. En moyenne, près de 20 % des pousses et 8 % des fruits sont tavelées (Figure 30). Dans la saison, l'évolution des attaques de tavelure a été observée à quatre dates : le 16 mai, le 6 juin, le 23 juillet (sur 100 pousses/placettes sans différencier le haut du bas de l'arbre) et le 13 août. Les premières tâches présentes sur rosettes correspondent aux contaminations du 22-26 mars prévue par RIMpro (Figure 29). Les feuilles touchées, observée le 6 juin, sont au nombre de 17, 0, 1, 6 et 4 sur le témoin, la référence, M3, M4 et M5 respectivement. Ces tâches, principalement autour du 6-7<sup>ème</sup> étage de feuilles confirment l'épisode infectieux du 20 avril au 3 mai (Figure 28 ; Annexe IX). D'autres tâches (2-3<sup>ème</sup> étage de feuilles) indiquent une contamination avant le début du suivi de pousse. La date d'infection ne peut être connue. Durant la période du 20 avril au 3 mai, 3 feuilles tavelées sont notés dans M4, 1 dans M5. Lors de cet épisode, 3 traitements préventifs et associés à des strobilurines (n°7,8) ou à un IBS (n°9) ont été effectués (Figure 28 ; Annexe X). Pour M4, les 6 traitements tavelure à 250 l/ha, dont le n°7 et 8, qui auraient dû être appliqués à 75 % de la dose homologuée (risque grave, concentration : 3 g/l) l'ont été à 46 % (concentration : 1,8 g/l). Ceci est dû à une erreur de calcul. La dose des traitements a donc été inférieure à la dose de M3. Toujours au 6 juin, en fin de contamination primaire, le seuil de 1 % de pousses touchées sur M4 et M5 ont entraîné la poursuite des traitements sur les contaminations secondaires. Ils ont été interrompus pour la référence et M3. Le 23 juillet, le seuil de 3 % de pousses touchées n'est pas dépassé dans l'essai, les traitements fongicides de M4 et M5 s'arrêtent. La présence de tâches sur pousses, feuilles et fruits n'est pas significativement différentes entre les modalités, sans le témoin (Annexe XIII). Concernant l'intensité des attaques, elle était dans le témoin de 1,2 feuilles par pousse touchée au 6 juin et de 3 feuilles au 13 août. Globalement, il y avait plus de feuilles touchées dans le bas pour toutes les modalités de l'essai au 6 juin alors qu'au 13 août, l'inverse est observé dans le témoin (Figure 30). Au 23 août, la tavelure est absente dans l'essai, sauf dans le témoin.

#### **2.3.4 Suivi des principaux ravageurs**

##### **2.3.4.1 Puceron cendré**

Les observations ont été faites le 31 mars, le 9 et 28 avril, le 6 mai et le 10 juin. La présence

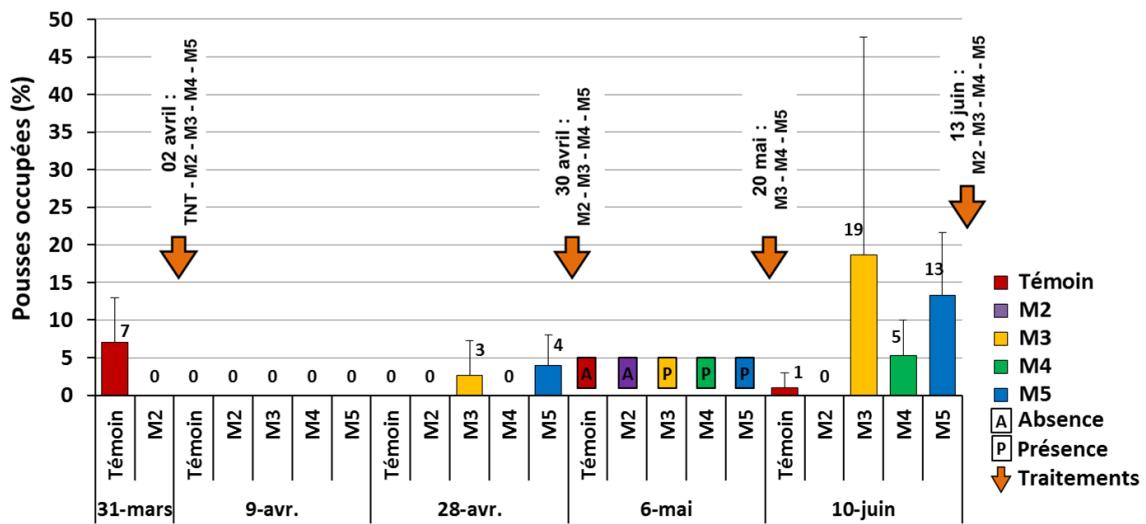


Figure 31 : Pourcentage de pousses avec présence de puceron cendré de chaque modalité

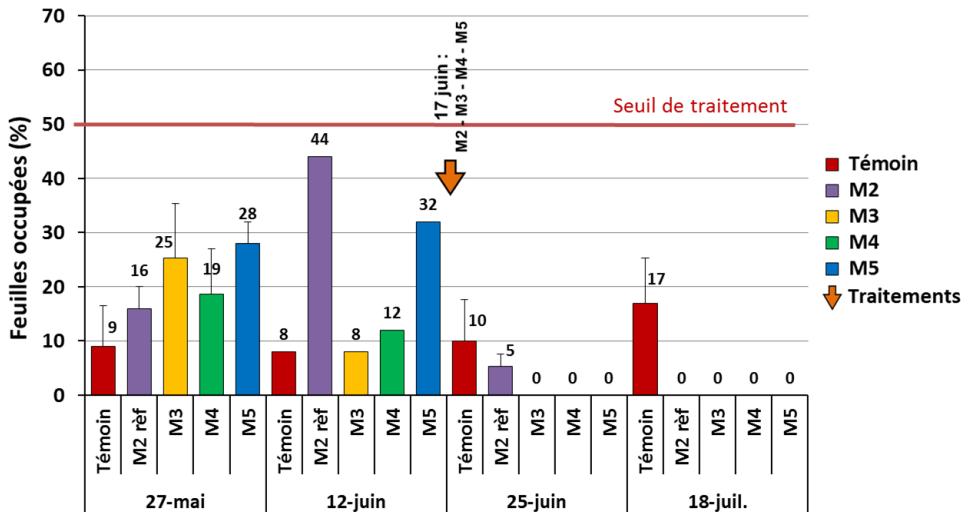


Figure 32 : Pourcentage de feuilles occupées par le Bryobe de chaque modalité.

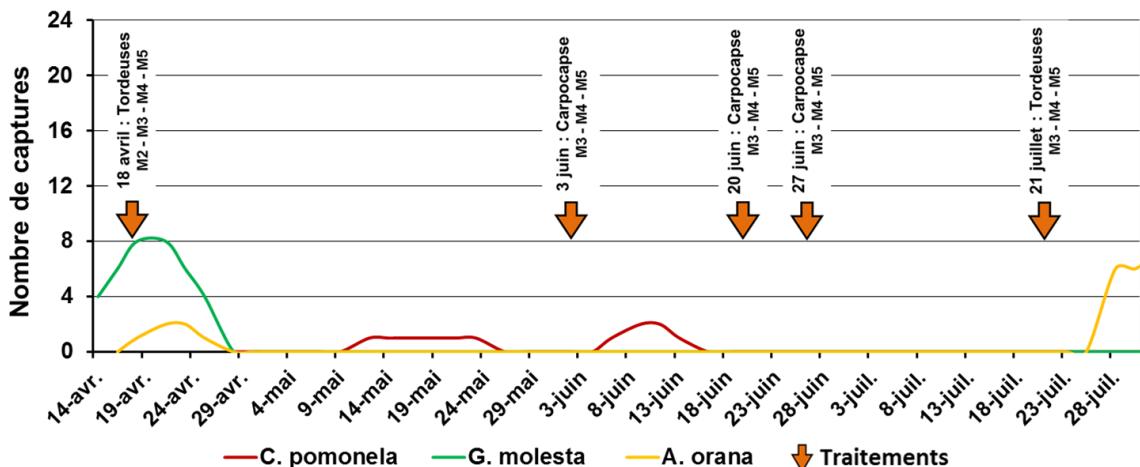


Figure 33 : Suivi de piégeage du carpocapse et des tordeuses dans la parcelle (1 piège par ravageur).

de puceron cendré dans le témoin a déclenché le 1<sup>er</sup> traitement en pré floraison le 2 avril (Figure 31). Le témoin a été traité comme la référence pour éviter une prolifération rendant impossible l'observation des autres bioagresseurs, notamment la tavelure. Après floraison, la présence du ravageur dans la parcelle et dans les modalités M3 et M5 confirme les règles de décision (Tableau VIII). Un traitement post-floral est réalisé le 30 avril sur toutes les modalités hors témoin. Le 6 mai, lors de l'observation tavelure sur rosettes, la présence de puceron est notée dans les modalités M3, M4 et M5 mais pas dans la référence M2. La présence du ravageur justifiant un traitement, une application est effectuée le 20 mai sur les modalités touchées. Vingt jours plus tard, une nouvelle observation est réalisée. Il n'y a aucune différence significative entre les modalités (Annexe XIII). En temps normal, la présence de 15 % de puceron en juin n'est pas alarmante car il migre vers son hôte secondaire. Cependant, des dégâts du Pou de San José sur la parcelle ont entraîné un 4<sup>e</sup> traitement le 13 juin. Il est inclus dans la suite des résultats car la substance est homologuée sur puceron.

#### **2.3.4.2 Acarien rouge**

Cette année, aucun acarien rouge n'a été observé, hormis le Bryobe. Depuis deux années, il cause d'importants dégâts sur la parcelle. Il a été observé le 27 mai, le 12 et 25 juin et le 18 juillet dans l'essai (Figure 32). Le seuil de traitement est de 50 % des feuilles occupées. En juin, les prévisions de températures favorables à son développement ont amené à une observation intermédiaire, pour chaque modalité, sur la placette ayant présenté le plus de Bryobes le 27 mai. Proche du seuil pour M2 et M5, un traitement a été appliqué le 17 juin sur toutes les modalités. Pour ce ravageur, le volume de bouillie préconisé est de 1000 l/ha pour bien recouvrir la végétation. A cette période le volume était de 300 l/ha soit 75 % du volume de la référence. De manière à suivre le protocole, le volume 1000 l/ha de la référence a été ajusté à 750 l/ha pour M3, M4 et M5. A la suite du traitement, plus aucun Bryobe n'a été observé sur les modalités. Les observations sur le témoin montrent que son expansion a été croissante dans la saison. Au 18 juillet, toutes les modalités sont différentes du témoin.

#### **2.3.4.3 Carpocapse et tordeuses**

La pression carpocapse et tordeuses a été très faible cette année, comme les années précédentes. Malgré cela, la présence de dégâts peut être importante. Cette année, cinq insecticides ont été déclenchés selon les avertissements du BSV le 18 avril, le 3, 20 et 27 juin et le 21 juillet, sur les modalités M3, M4 et M5 (Figure 33). Le 1<sup>er</sup> traitement du 18 avril a aussi été effectué sur la modalité référence M2 pour assainir la parcelle. En effet, la fermeture du filet anti-carpocapse de la parcelle a eu lieu tardivement, après le début du vol des tordeuses. Par la suite, aucun traitement insecticide n'a eu lieu sur la référence M2. Aucun dégât sur fruit n'a été observé le 6 juin et le 13 août dans l'essai, témoin compris.

Tableau XIII : Nombre de passages contre les principaux bioagresseurs de chaque modalité  
(sans les 4 derniers traitements anti- carpopace et tordeuses).

Périodes liées au volume de bouillie	Bioagresseurs cibles	M1	M2	M3	M4	M5
Début de saison (17 mars - 24 avril)	Passage tavelure		8	8	8	8
	et nombre de produits anti-tavelure		13	13	13	13
	Puceron cendré	1	1	1	1	1
	Carpocapse / Tordeuses		1	1	1	1
Mi- saison (30 avril - 23 juin)	Passage tavelure		7	7	8	8
	et nombre de produits anti-tavelure		9	9	10	10
	Puceron cendré		2	3	3	3
	Acrien		1	1	1	1
Fin de saison (27 juin - 21 juillet)	Passage tavelure	0	0	4	4	4
	et nombre de produits anti-tavelure	0	0	5	5	5
Saison	Passage tavelure	15	15	20	20	20
	et nombre de produits anti-tavelure	22	22	28	28	28
	Puceron cendré	1	3	4	4	4
	Carpocapse / Tordeuses		1	1	1	1
	Acrien		1	1	1	1
	Nombre de produits	1	27	28	34	34
	Total de passages	1	17	17	22	22

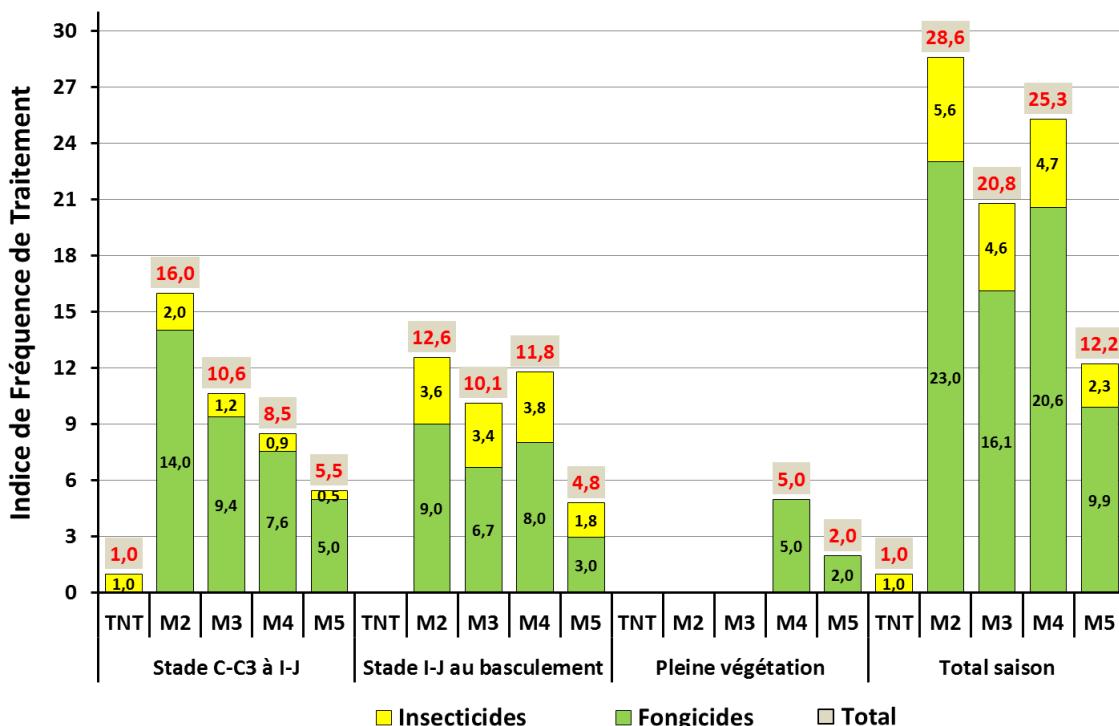


Figure 34 : IFT des traitements réalisés contre les principaux bioagresseurs de chaque modalité dans la saison et pour 3 périodes liées au volume de bouillie.

### **2.3.5 L'application des traitements**

Dans la saison, les 22 traitements ont été effectués dans de bonnes conditions. Le protocole n'étant pas totalement aboutis, l'adaptation des doses a commencé le 24 mars, après deux traitements effectués en pleine dose. Le reliquat moyen après chaque application a été supérieure à celui attendu de 25, 15 et 9 % respectivement dans les modalités M3 ( $400\text{ m}^2$ ), M4 ( $490\text{ m}^2$ ) et M5 ( $760\text{ m}^2$ ). Il est corrélé à la surface traitée et semble moins précis lorsque la surface est faible. Il dépend aussi de l'applicateur et du moment d'arrêt des jets : sur le dernier arbre du rang ou après celui-ci. Pour le traitement acaricide, aucun reliquat n'a pu être mesuré : la totalité de la bouillie a été pulvérisée, soit environ 1,4 fois la dose prévu (dose supérieure à la M2). Ceci est dû à une modification de décision, de dernière minute, et une erreur de calcul de pression. Le reliquat de la référence n'a jamais été mesuré.

### **2.3.6 Les indicateurs de la saison**

Les données présentées et analysées comprennent les applications phytosanitaires jusqu'à la récolte (Annexe XI). Les deux premiers traitements effectués, à doses pleines, avant le début de l'essai sont aussi pris en compte. Pour faciliter la lecture des graphiques suivants, les traitements contre le puceron cendré, les acariens, le carpocapse et les tordeuses ont été regroupés en une catégorie : insecticide. Les traitements contre la tavelure correspondent à la catégorie fongicide. Certains anti-tavelures ayant un effet sur l'oïdium, aucun traitement spécifique contre la maladie n'a été réalisé dans l'essai. Le filet anti-carpocapse dans la modalité référence est un biais à la comparaison des traitements carpocapse et tordeuses, avec les autres modalités. Ce nombre étant nettement réduit dans la référence, la différence va jusqu'à 3.5 IFT, 3 passages et 251 € de coûts de protections supplémentaires (Annexe XII). Pour éviter ce biais, les 4 traitements carpocapse et tordeuses, hormis le 1<sup>er</sup> effectué sur toutes les modalités (M2, M3, M4 et M5), ont été retiré des calculs d'IFT et des coûts de traitements (Tableau XIII).

#### **2.3.6.1 Pression phytosanitaire (IFT)**

Les IFT sont très différents d'une modalité à l'autre. Ils vont de 12.2 à 28.6 pour respectivement 22 à 17 passages par modalités, hors témoin (Figure 34 ; Tableau XIII). L'IFT par passage est de 1.7 pour M2, 1.2 pour M3 et M4 et 0.6 pour M5. L'adaptation des doses et des volumes de bouillies a permis à chaque modalité de réduire ces IFT fongicides et insecticides par rapport à la référence M2. L'économie principale a été réalisée sur les fongicides qui représente près de 80 % des IFT de chaque modalité.

La réduction des fongicides, par rapport à la référence, a majoritairement été réalisée du stade C-C3 à I-J (volume de bouillie de 250 l/ha). Cette réduction c'est poursuivi du stade I-J au basculement du fruit. Le volume de bouillie étant passé à 300 l/ha, la réduction des IFT est moindre (Tableau IX). Durant cette période, un fongicide supplémentaire a été appliqué

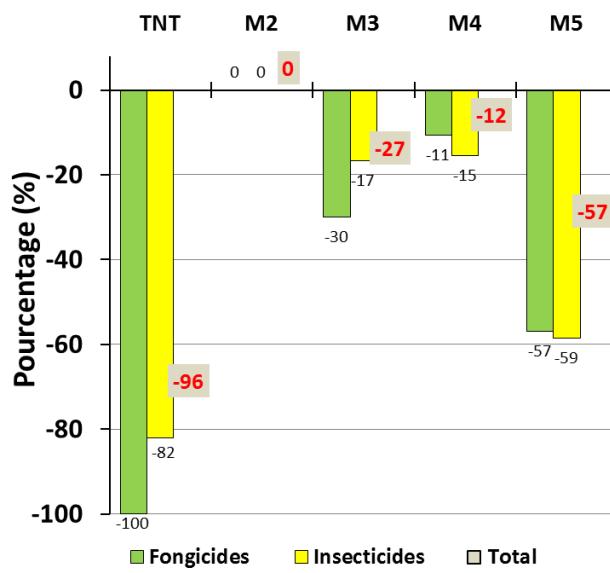


Figure 35 : Pourcentage de réduction des IFT de chaque modalité par rapport à la référence.

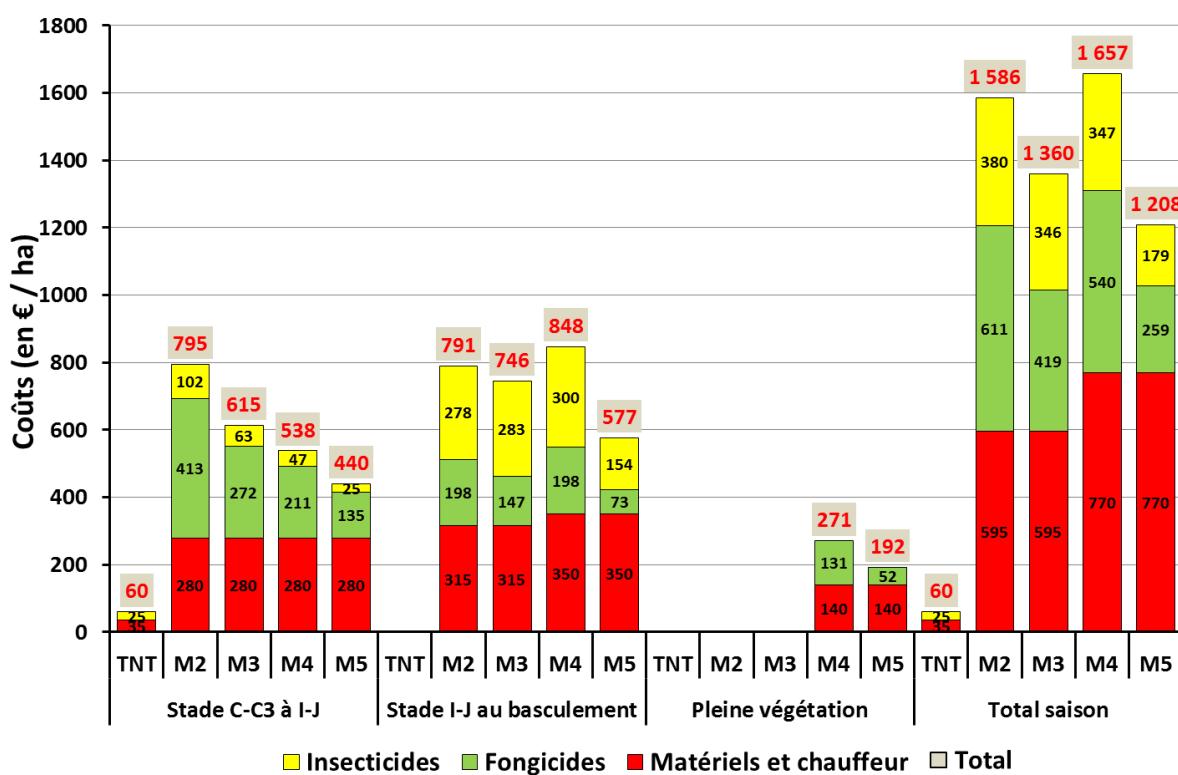


Figure 36 Coût des applications de traitements de chaque modalité dans la saison et pour 3 périodes liées au volume de bouillie

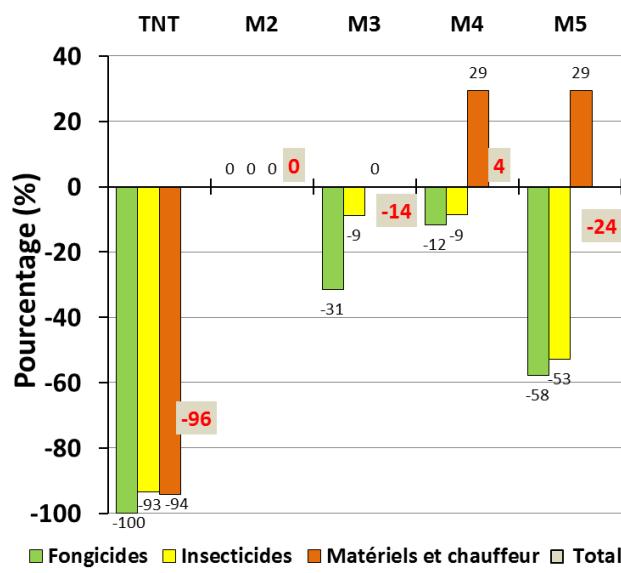
en contamination secondaire sur M4 et M5 (Tableau XIII). Pour M5, ce fongicide ne se remarque pas (+0,3 IFT). Pour M4, sur les 10 fongicides appliqués, 6 l'ont été en pleine dose (risque grave =1 IFT) et 4 en (risque faible =0,5 IFT) ce qui explique une moins bonne réduction. En pleine végétation et à volume égal à la référence (400 l/ha), les traitements en contaminations secondaires sur M4 et M5 ont rajouté 5 et 2 IFT fongicide à ces modalités. Sur la saison, 28 fongicides ont été appliqués sur M5 (dose/hl) et M4 (Optidose) contre 22 sur M3 (Dosage adapté) et M2 la référence (Tableau XIII). Malgré ces 28 fongicides, M5 est la modalité qui a l'IFT le plus faible, devant M3 (22 fongicides) et M4 (28 fongicides).

Concernant les 20 % d'IFT insecticide de chaque modalité, la plus forte réduction a aussi été réalisée du stade C-C3 à I-J. Du stade I-J au basculement du fruit, le traitement supplémentaire, contre le puceron cendré, sur les modalités avec volumes et doses adaptés a minimisé la réduction d'IFT de M3 et M5 et a augmenté l'IFT de M4, par rapport à la référence. Durant la pleine végétation, aucun insecticide n'a été pulvérisé. Sur la saison, 5 insecticides ont été appliquées sur M2 et 6 sur les autres modalités (Tableau XIII). Malgré leur traitement supplémentaire, M3, M4 et M5 ont moins d'IFT insecticides que la référence.

Tout IFT confondu, l'adaptation des doses et des volumes a permis de réduire de 7.8, 3.3 et 16.4 l'IFT des modalités M3, M4 et M5, par rapport à la référence M2 (Figure 34). En pourcentage, cette réduction est de 27, 12 et 57 % pour M3, M4 et M5 (Figure 35).

### **2.3.6.2 Coûts de la protection phytosanitaire**

La différence du coût de la protection à l'hectare par rapport à la référence est importante selon les modalités : de +71 à -378 € (Figure 36). Cette variation importante est due aux coûts des applications (chauffeur, tracteur et pulvérisateur). En effet, la part de ces coûts peut être très différente au sein des modalités : 38, 44, 46 et 64 % pour M2, M3, M4 et M5. En revanche, le coût des produits est très proportionnel aux IFT : d'un facteur 35 à 37. Aussi, comme pour les IFT, la réduction des coûts par rapport à la référence a majoritairement été réalisée du stade C-C3 à I-J avec : 181, 257 et 355 € pour M3, M4 et M5. Le nombre de passages durant cette période étant de 8 pour chacune des modalités, il n'y a pas de différence de coûts d'applications : la différence est uniquement due à l'adaptation des doses. Du stade I-J au basculement du fruit, cette adaptation a permis une réduction des coûts de 45 et 214 € pour M3 et M5 mais une augmentation de 57 € pour M4. L'insecticide supplémentaire pour lutter contre le puceron cendré a considérablement joué pour M4 avec 102 € supplémentaire contre 76 € pour M3 et seulement 35 € pour M5. L'application supplémentaire d'un fongicide sur M4 et M5 en contamination secondaire a aussi eu un effet. En pleine végétation, les 5 anti-tavelures ont entraîné un surcoût non négligeable de 271 et 192 € pour M4 et M5, dont plus de la moitié correspondent aux coûts d'applications. Sur la saison, 34 produits (fongicides et insecticides) ont été appliqués sur, M5 (dose/hl) et M4



**Figure 37 : Pourcentage de réduction des coûts d'application des traitements phytosanitaires pour chaque modalité par rapport à la référence.**

(Optidose) contre 28 sur M3 (Dosage adapté) et 27 sur M2 la référence (Tableau XIII). Malgré ces 34 produits, M5 est la modalité qui a le coût de protection le plus faible, devant M3 (28 fongicides) (Figure 36). Les coûts des produits de M4, même s'ils sont inférieurs à la référence, n'ont pas compensé les coûts d'applications supplémentaires. Au final, l'adaptation des doses et volumes n'a pas permis de réduire, de manière conséquente, les coûts de protection de M4 par rapport à la référence. En revanche, il a permis une économie de 226 € pour M3 (Dosage adapté) et de 378 € pour M5 (dose/hl). En pourcentage, la réduction est de 14 et 24 % pour M3 et M5 et l'augmentation est de 4 % pour M4 (Figure 37).

## 2.4 Discussion

### 2.4.1 Suivi des attaques et efficacité biologique

#### 2.4.1.1 Sur les ravageurs

L'absence de dégâts de carpocapse et de tordeuses dans le témoin et l'essai nous amène à nous demander si l'ensemble des traitements, hormis le premier, étaient véritablement nécessaires au vue de la faible pression de l'année. Concernant le Bryobe, l'augmentation croissante de sa présence dans le témoin montre que les conditions lui ont été favorables. L'acaricide appliqué sur M2 et M5 se justifie. En revanche, la présence moins importante dans M3 et M4 montre que l'application aurait pu être retardée, voire évitée dans ces modalités. Cette différence, liée à l'historique des parcelles, est un biais dans l'essai. L'application d'un anti-puceron cendré sur le témoin ne permet pas de visualiser la pression annuelle. Le traitement supplémentaire sur M3, M4 et M5 montre que l'adaptation des doses et volumes n'a pas été aussi efficace que la référence. La référence et M4 ayant eu un traitement en post floral à la même dose/ha, on pourrait penser que le volume de bouillie ait entraîné une moins bonne efficacité. Les traitements agissant par contact et systémie, il est possible que les pucerons aient été protégés dans l'enroulement des feuilles et/ou que le volume soit insuffisant pour que le produit systémique pénètre bien dans la plante.

#### 2.4.1.2 La tavelure

Les conditions ont été propices aux contaminations de tavelure. Les symptômes sur fruits, dans le témoin non traité, ne sont pas acceptables. Dans l'essai, la stratégie de traitements a été efficace : très peu de dégâts sont observés sur la référence en fin de contamination primaire. C'est aussi le cas de M3 (Dosage adapté). L'adaptation du volume de M3 semble corrélée à l'évolution de la végétation. De plus, avec une concentration constante (identique à la référence), M3 permet de garantir l'efficacité biologique durant la saison. En revanche, des traitements en contaminations secondaires ont été nécessaires dans M4 (Optidose) et M5 (dose/hl) pour contenir les dégâts. Pour M4, la présence de symptômes s'explique par un sous dosage, lors de plusieurs infections graves, du stade C-C3 à I-J. La concentration ayant été constante durant cette période pour M4 et M3, on peut dire qu'en risque grave, sur cette



période, la dose limite d'efficacité est située entre 46 et 63 % de la dose homologuée (cf : 2.3.3 ; Tableau IX). Sur la saison, les infections principalement graves n'ont pas véritablement permis d'utiliser les doses correspondant aux risques faible et moyen, prévu par RIMpro : seulement 4 traitements en risque faible. Pour M5, la dose/hl semble avoir été insuffisante en contamination primaire. Au final, l'observation de juillet, puis d'août, ne montre pas d'expansion de la maladie pour toutes les modalités.

L'observation, à la récolte, des dégâts des principaux bioagresseurs permettra de confirmer ou non l'efficacité des différentes modalités.

#### **2.4.2 La réduction des IFT et l'impact sur les coûts des traitements**

Dans les conditions de 2014, les résultats montrent que des économies de traitements peuvent être réalisées en adaptant les doses et les volumes de bouillies. La réduction des IFT (fongicides et insecticides) a principalement été faite sur deux périodes : en début de saison avec la forte réduction des doses et en fin de saison avec la poursuite ou non des traitements en contaminations secondaires de tavelure. La réduction des coûts des produits est réalisée sur les mêmes périodes. Selon l'importance de cette réduction, les faibles coûts des produits peuvent compenser les surcoûts d'applications, lié aux contaminations secondaires. Ainsi, avec le nombre de traitements le plus élevé, les doses hectolitres de la modalité M5 permettent d'avoir l'IIFT et les coûts de traitements les plus bas. *A contrario*, pour un même nombre de passages, les traitements effectués à dose pleine en fin de saison, pour rattraper le décrochage des demi-doses en début de saison, ne permettent pas à M4 (Optidose) de réduire de manière conséquente l'IIFT. De plus, ces coûts de protection sont plus élevés que M2 (référence). Enfin, la modalité M3 (Dosage adapté) est celle qui paraît la plus intéressante pour un producteur. La réduction de l'IIFT, bien que moins importante que M5, est significative par rapport à M2. Par ailleurs, elle permet de réduire les coûts de protection.

#### **2.4.3 Limites du protocole et proposition d'amélioration**

##### **2.4.3.1 Choix de la parcelle**

Autant la mesure du reliquat est aisée dans le cadre d'un essai BPE mené sur micro parcelle au pulvérisateur à dos (25 L), autant elle est plus complexe avec un pulvérisateur tracté (1000 L), surtout avec des modalités différentes. Il faudra donc veiller dans les prochains essais à porter une attention particulière à la parcelle en termes : de superficie, d'homogénéité des arbres (densité de canopée), de nombre de rangs de garde (dérive importante en début de végétation) et de répétition (fiabilité des résultats). Les prochains essais devront aussi se dérouler sur la même parcelle durant trois années pour se rendre compte de l'impact des réductions de doses sur l'inoculum de l'année suivante. Actuellement, aucune parcelle au Ctifl ne peut fournir de quoi mettre en place ce dispositif.

**Tableau XIV : Coûts et temps d'application des traitements en prenant en compte les temps morts (environ 20 min) pour 1 ha et une exploitation moyenne de 20 ha (1 traitement de 1000 l/ha = 1 cuve = 1 temps mort).**

	Volume (l/ha)	Nombre de cuve et de temps mort pour 1 ha	Coûts hors produits /ha (en €)			Durée des traitements	
			Applications	Temps morts	Total	Pour 1 ha	Pour 20 ha
Référence	400	0,4	32	2,13	34,13	1h08	22h40
Adaptation Stade C-C3 à I-J	250	0,25	32	1,33	33,33	1h05	21h40
Adaptation Stade I-J au basculement	300	0,3	32	1,60	33,60	1h06	22h
Référence (acaricide)	1000	1	32	5,33	37,33	1h20	26h40
Adaptation (acaricide) Stade I-J au basculement	750	0,75	32	4,00	36,00	1h15	25h

**Tableau XV : Coût de protection et des temps morts des modalités pour un verger de 20 ha et la différence par rapport à la référence, ainsi que le gain de temps toujours par rapport à la référence.**

Modalité	Coût de protection avec temps morts (en €)	Différence par rapport à M2 (en €)	Coût des temps mort (en €)	Différence par rapport à M2 (en €)	Temps des traitements avec temps morts	Différence par rapport à M2	Temps morts de la saison	Différence par rapport à M2
M2	10 304		704		343h30		43h30	
M3	10117	- 187	517	- 155	332h	- 11h30	32h	- 11h30
M4	14 192	+ 3 888	752	+ 48	466h30	+ 123h	46h30	+ 2h59
M5	14 192	+ 3 888	752	+ 48	466h30	+ 123h	46h30	+ 2h59

#### **2.4.3.2 Méthodes d'observation**

Les observations de symptômes de tavelure ont mis en évidence une limite dans le protocole. Elles ont été faites sur 120 ou 300 pousses par modalités. La décision de poursuivre les traitements en contaminations secondaires a été effectuée suite à une observation sur 120 pousses. Or, les seuils d'interventions ont été élaborés sur l'observation de 300 pousses. *A posteriori*, on ne peut pas savoir si l'observation sur 120 pousses a sous-ou surestimé la présence de tavelure. Dans le premier cas, les traitements ont bien fait d'avoir lieu sur M4 et M5, mais aurait pu l'être sur M3. Dans l'autre cas, aucune poursuite de traitements n'aurait dû être faite. Dans le prochain essai, le nombre de 300 pousses devra être respecté pour chaque observation. S'il y a présence de tavelure, l'obtention d'un nombre plus important d'étages de feuilles tavelées permettra de mieux déterminer les périodes de contaminations et les traitements associés, de chaque modalité. Pour mieux cibler la date de sortie des nouvelles feuilles, le suivi de pousse devra être effectué, plus tôt, et sur un plus grand nombre de pousses de bourse mais aussi de pousses végétative (20 de chaque).

#### **2.4.3.3 Choix des indicateurs**

Concernant l'indicateur économique. Après la récolte, il faudra calculer le bénéfice/ha de chaque modalité. En effet, une comparaison des coûts de protection/ha n'est pas suffisante. Il faudra aussi tenir compte des rendements et de la valeur commerciale des fruits récoltés. De plus, il serait intéressant d'intégrer les répercussions de la réduction du volume/ha sur la baisse des temps mort lors d'une application. Le temps mort correspond à la pesée des produits et au remplissage du pulvérisateur. Ce temps, environ 20 minutes, peut avoir un impact sur les coûts et la rapidité d'intervention (et donc l'efficacité après une contamination de tavelure) (Tableau XIV). Par exemple, avec une cuve de 1000 l, une application à 250 l/ha permettra de traiter 4 ha contre seulement 2,5 ha à 400 l/ha. Pour traiter un verger de 20 ha : il faudra 8 cuves et temps morts à 400 l/ha alors qu'à 250 l/ha, 5 suffiront. Par estimation, pour traiter ce verger, il faudra 22h40 à 400 l/ha contre 21h40 à 250 l/ha, soit une économie de 1 heure (Tableau XV). Au vue de l'importance des coûts d'applications, notamment lors de la poursuite des traitements en contaminations secondaires, il serait intéressant de prendre en considération ces coûts et le gain de temps pour chaque modalité.

#### **2.4.3.4 Prise de décision des traitements**

Depuis cette année, l'unique disponibilité de l'outil RIMpro sur internet n'a pas facilité les décisions des doses anti-tavelure à appliquer sur M4. En effet, l'envoi des données météo du Ctifl sur internet ne permettait d'obtenir les risques d'infection (faible, moyen ou grave) qu'à partir de 9h30 du matin. Or, pour optimiser les traitements sur le domaine mais surtout pour traiter l'essai dans les meilleures conditions (température moyenne, humidité relative élevée et vent faible) le choix des doses et la préparation des produits étaient déterminés la veille

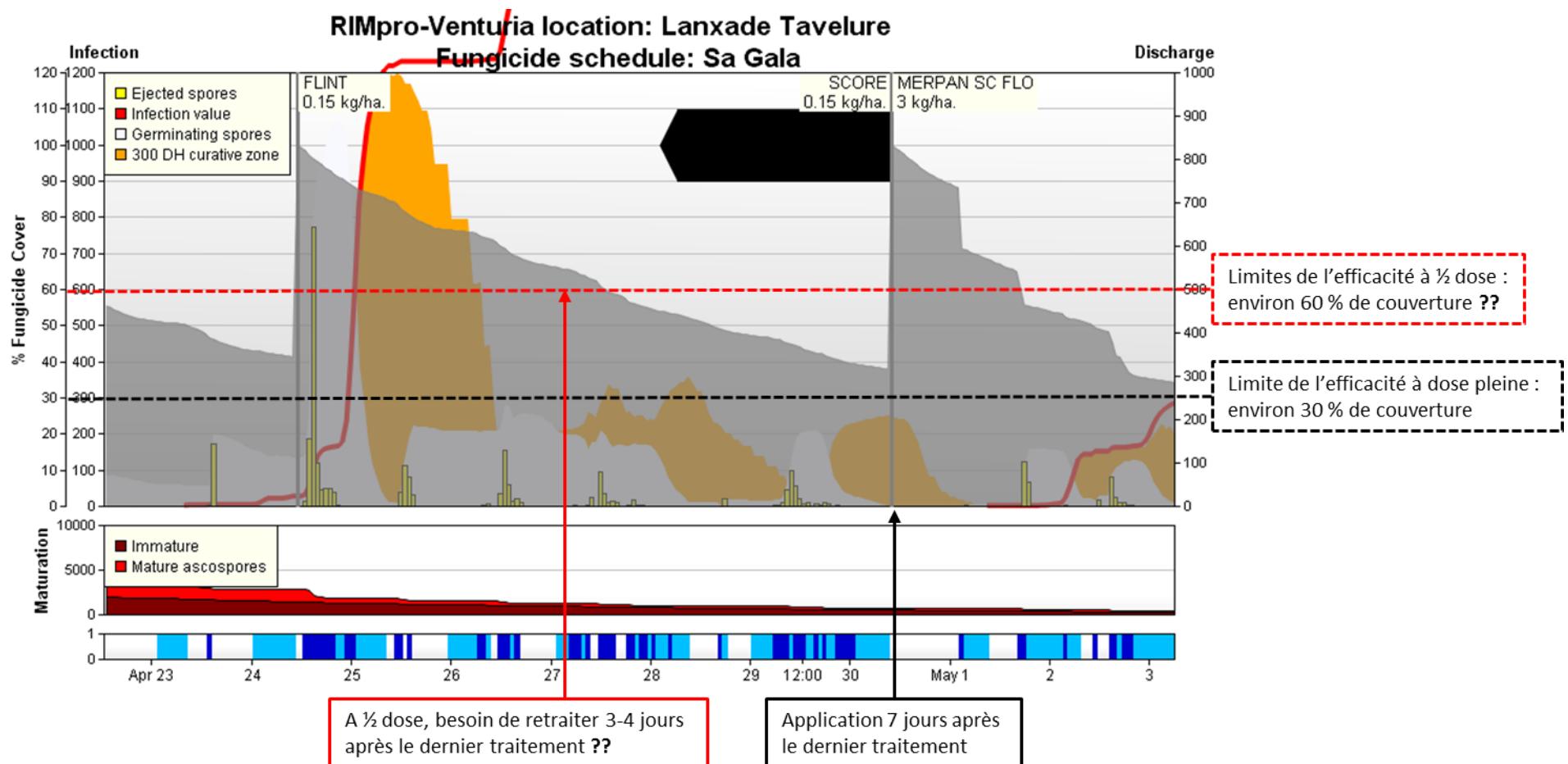


Figure 38 : Comparaison théorique de la rémanence d'un produit à pleine dose et à  $\frac{1}{2}$  dose.

Pour une prise de décision plus précise, l'année prochaine, les risques et les doses devront être connus à 8h le jour du traitement.

Pour être efficace lors des traitements, les doses des produits de chaque modalité ont été déterminées par des feuilles de calcul automatique sur Excel. Afin d'éviter les erreurs dans les prochains essais, une vérification devra être faite par plusieurs personnes.

L'outil RIMpro permet de visualiser la rémanence des produits. Très utilisée dans les prises de décision des traitements, elle est liée à la vitesse de développement du feuillage et à la dose utilisée. Au-delà d'un certain seuil (30 %), elle est considéré comme nulle. Dans ce cas, au vu des fortes réductions de doses et donc des dépôts sur le feuillage, le renouvellement des applications devrait s'effectuer plus rapidement en cas de cumuls de pluie importants (>40mm) et de pluies répétées (le positionnement avant pluies étant à rechercher) (Figure 38). Et quand est-il de l'efficacité des produits systémiques ? De leur curativité ?

#### **2.4.3.5 L'application des traitements**

L'adaptation des doses et des volumes n'a pas commencé dès le début de la saison. L'année prochaine, il faudra l'effectuer au premier traitement pour obtenir une meilleure idée du pourcentage de réduction des IFT et des coûts pour une efficacité donnée.

L'application des traitements par trois chauffeurs différents a entraîné des erreurs négligeables mais existantes. Pour les réduire, le maximum de traitements devra être effectué avec le même ou seulement deux, bien formés.

Les intensités d'attaques de tavelure mettent en évidence des différences entre le haut et le bas du montrer l'effet de la variation des volumes et des doses sur ces attaques. En année à forte pression cela pourra être le cas. Ce gradient peut être dû au volume, à la dose ou au réglage du pulvérisateur (donc à l'application du produit). En effet, sur un pulvérisateur axial, un même type de buse ne peut garantir des dépôts similaires en bas et à la cime des arbres. Dans la pratique, les buses de ce type d'outil sont panachées. C'est-à-dire que pour un même volume/ha, le débit des buses est ajusté proportionnellement à la hauteur des arbres sur l'axe du pulvérisateur. Ainsi, avec un volume de bouillie pulvérisé plus important en haut de l'arbre, les dépôts et l'efficacité biologique deviennent, en théorie, similaire au bas.

#### **2.4.3.6 Le choix du volume de bouillie**

D'après les mesures de TRV, l'outil montre bien une augmentation croissante du volume des arbres de la floraison (300 l/ha) à la pleine végétation (400 l/ha). Cependant, il ne tient pas compte de la densité des arbres qui a aussi considérablement évolué durant cette période. Étant visuellement importante, un changement intermédiaire à 350 l/ha pourrait être envisagé, mi-mai, avant l'arrêt de croissance des pousses végétatives.

En vigne, si l'outil Optidose ne permet pas de garder une parcelle saine, il est conseillé, au

**Tableau XVI : Proposition d'une modalité supplémentaire sur l'essai avec pulvérisation tractée et proposition de modalités pour un essais avec pulvérisateur à dos.**

	<b>Mars à mi-mai Stade C à I-J</b>	<b>Mi-mai à début juillet Stade I-J à basculement</b>	<b>Début-juillet à récolte</b>
<b>ESSAI au pulvérisateur tracté</b>			
<b>Modalité 1 *</b>	Aucun traitement phytosanitaire		
<b>Modalité 2 **</b>	400 L	400 L	400 L
<b>Dose</b>	1 kg/ha	1 kg/ha	1 kg/ha
<b>Concentration</b>	2.5 g/L	2.5 g/L	2.5 g/L
<b>Modalité 3-bis</b>	400 L	400 L	400 L
<b>Dose</b>	0.63 kg/ha	0.75 kg/ha	1 kg/ha
<b>Concentration</b>	1.6 g/L	1.9 g/L	2.5 g/L
<b>Diminution de la dose/ha</b>	-37% (63% de la dose pleine)	-25% (75% de la dose pleine)	-0% (100% de la dose pleine)
<b>Modalité 3 ***</b>	250 L	300 L	400 L
<b>Dose</b>	0.63 kg/ha	0.75 kg/ha	1 kg/ha
<b>Concentration</b>	2.5 g/L	2.5 g/L	2.5 g/L
<b>Diminution de la dose/ha</b>	-37% (63% de la dose pleine)	-25% (75% de la dose pleine)	-0% (100% de la dose pleine)
<b>ESSAI au pulvérisateur à dos</b>			
<b>Modalité 1 *</b>	Aucun traitement phytosanitaire		
<b>Modalité 2 **</b>	400 L	400 L	400 L
<b>Dose</b>	1 kg/ha	1 kg/ha	1 kg/ha
<b>Concentration</b>	2.5 g/L	2.5 g/L	2.5 g/L
<b>Modalité 3 ***</b>	250 L	300 L	400 L
<b>Dose</b>	0.63 kg/ha	0.75 kg/ha	1 kg/ha
<b>Concentration</b>	2.5 g/L	2.5 g/L	2.5 g/L
<b>Diminution de la dose/ha</b>	-37% (63% de la dose pleine)	-25% (75% de la dose pleine)	-0% (100% de la dose pleine)
<b>Modalité 4</b>	400 L	400 L	400 L
<b>Dose</b>	0.20 kg/ha	0.20 kg/ha	0.20 kg/ha
<b>Concentration</b>	0.5 g/L	0.5 g/L	0.5 g/L
<b>Diminution de la dose/ha</b>	-80% (20% de la dose pleine)	80% (20% de la dose pleine)	80% (20% de la dose pleine)
<b>Modalité 5</b>	400 L	400 L	400 L
<b>Dose</b>	0.40 kg/ha	0.40 kg/ha	0.40 kg/ha
<b>Concentration</b>	1 g/L	1 g/L	1 g/L
<b>Diminution de la dose/ha</b>	-60% (40% de la dose pleine)	-60% (40% de la dose pleine)	-60% (40% de la dose pleine)
<b>Modalité 6</b>	400 L	400 L	400 L
<b>Dose</b>	0.60 kg/ha	0.60 kg/ha	0.60 kg/ha
<b>Concentration</b>	1,5 g/L	1,5 g/L	1,5 g/L
<b>Diminution de la dose/ha</b>	-40% (60% de la dose pleine)	-40% (60% de la dose pleine)	-40% (60% de la dose pleine)
<b>Modalité 7</b>	400 L	400 L	400 L
<b>Dose</b>	0.80 kg/ha	0.80 kg/ha	0.80 kg/ha
<b>Concentration</b>	2 g/L	2 g/L	2 g/L
<b>Diminution de la dose/ha</b>	-20% (80% de la dose pleine)	--20% (80% de la dose pleine)	-20% (80% de la dose pleine)

\* , \*\* , \*\*\* : possibilité de comparer ces modalités et de voir s'il y a une différence significative de quantité et de la répartition des dépôts (donc d'efficacité) entre un pulvérisateur tracté à jet porté, utilisé par les producteurs et un pulvérisateur à dos pneumatique, utilisé pour l'homologations des doses de produits phytosanitaires.

producteur, de traiter comme à son habitude. Dans notre cas, le passage à 400 l/ha devrait se baser davantage sur les seuils de dégâts que sur la végétation. Par exemple : en présence de plus de 1 % de pousses tavelées en juin, la poursuite des traitements en contaminations secondaires devrait s'effectuer à 400 l/ha pour assurer la production.

#### 2.4.3.7 Choix des modalités

Il est difficilement possible de travailler et d'optimiser les deux facteurs de l'essai en même temps. En effet, nous ne savons pas quel facteur, de l'adaptation des doses ou du volume, a le plus d'incidence sur l'efficacité biologique de M3 (Dosage adapté) pour la tavelure. D'après la bibliographie, seule la mesure et la comparaison des quantités de dépôts permet d'expliquer une plus ou moins bonne efficacité. Cette manipulation n'a pu être réalisée cette année. Cependant, une modalité aurait pu être mise en place dans l'essai avec : un volume constant (400 l/ha) et une dose qui évolue au prorata de la végétation. N'ayant pas encore de courbe corrélant les doses à l'évolution de la surface foliaire, cette dose aurait pu être celle de M3 (volume et dose variable, concentration fixe) (Tableau XVI). En théorie, cette modalité M3-bis (volume constant et dose variable) permettrait d'obtenir plusieurs informations :

- Si M2 (référence) et M3-bis ont la même efficacité biologique, cela signifie que les doses de M3-bis suivent l'augmentation de la végétation. Les dépôts sont théoriquement au moins égaux à ceux obtenu en pleine végétation. La dose est suffisante et réductible.
- Si, M2 et M3 ont la même efficacité biologique, cela signifie que l'adaptation du volume et des doses permet aussi d'obtenir des dépôts au moins égaux à ceux obtenus en pleine végétation. Dans ce cas, on ne peut savoir quel facteur a joué.
- Cependant, si à dose identique, l'efficacité de M3 est inférieure à M3-bis alors que M3-bis est égale à M2, c'est que le volume de bouillie est insuffisant. Cela peut aussi être lié à une qualité de pulvérisation différente entre les volumes de 250, 300 et 400 l/ha (cf : autres essais). Par contre, si M3, M3-bis et M2 sont égaux cela signifie que les doses ou les volumes peuvent nettement être diminués.

La possibilité d'effectuer plusieurs modalités en pulvérisation tractée étant restreinte, des essais au pulvérisateur à dos pourraient être mis en place. L'inconvénient serait une perte de représentativité vis-à-vis des pratiques des producteurs, mais les résultats seraient davantage exploitables statistiquement (essais en bloc avec randomisation) et obtenus plus rapidement. L'essai, aux mêmes règles de décisions (Tableau VIII), pourrait comporter des modalités à volume et concentration constante sur la saison mais avec des doses variables (Tableau XVI). Par un suivi approfondi des périodes de contaminations de tavelures et des « décrochages » des modalités dans les différentes stations d'expérimentation, il deviendrait possible d'élaborer un abaque similaire à celle de l'Optidose.



## **CONCLUSION**

L'objectif de ce stage était d'effectuer une synthèse bibliographique sur les différents outils et méthodes d'adaptation des volumes et doses de traitements et d'étudier, pour la première fois en France, leur pertinence et leur adaptabilité au travers d'un essai en verger.

Les recherches bibliographiques montrent que plusieurs outils sont déjà utilisés par les producteurs en Europe et même réglementés en Suisse et en Angleterre. Cependant, elles mettent en évidence la complexité de leur élaboration : mesure de surface foliaire, quantification des dépôts, tests de plusieurs réglages de pulvérisateur dans différents conditions météorologiques, etc. Aussi, un certain nombre d'année de recul est nécessaire avant d'être en mesure de proposer un outil optimisé.

L'étude en verger montre que la protection des pommiers contre les principaux bioagresseurs est complexe. Un nombre important de traitement est nécessaire. L'utilisation des outils européens paraît difficilement possible sur des vergers Français. En effet, leur conception est réalisée sur des vergers aux typologies trop différentes. En revanche, leur principe d'adaptation : par une concentration constante (Dosage adapté) en Suisse et par rapport à la pression des maladies en vigne (Optidose) est intéressant. Cette première année d'essai donne des résultats encourageants. Une marge de progrès est possible pour réduire les intrants, notamment les fongicides. Toutefois, on voit aussi que l'adaptation des volumes et/ou des doses doit être réalisée correctement sans quoi le nombre de traitements et les coûts de protections peuvent considérablement augmenter. L'essai souligne aussi le manque de connaissance sur l'efficacité des produits de contact et systémique à doses réduites sur les maladies et les ravageurs.

Cette année, dans nos conditions, le bilan avantage/coût n'est pas toujours en faveur de la réduction des doses et des volumes. Il est donc nécessaire de renouveler l'essai.

L'année prochaine des quantifications de dépôts dans la saison sur plusieurs volumes et doses, associées à un suivi de l'évolution de la surface foliaire, permettra d'établir des courbes de référence. Avec ces courbes, des essais menés au pulvérisateur à dos permettront de tester différentes doses pour déterminer la plus faible et efficace. Pour construire un abaque fiable, il serait intéressant d'effectuer ces mesures et ces essais sur plusieurs années, dans des conditions météorologiques et de pression des bioagresseurs différentes.



## Références bibliographiques

- Arrêté du 12 sept. 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural, JORF n°219 du 21 septembre 2006 p. 13919 texte n°38.
- Bachelier L., (2005) Qualité de pulvérisation en arboriculture fruitière, Synthèse bibliographique. ENITA Clermont Ferrand, Ctifl de Lanxade, 40p.
- Balsari P., Oggero G., Tamagnone M.,(2001) Assessment of the efficiency of anti-drift nozzles on orchards sprayers: first results. Parasitica, 57 (1-2-3), pp. 75-85.
- Balsari P., Marucco P., Oggero G., (2002). Spray application in Italian apple orchard: target coverage, ground losses and drift. ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress, paper number 02 1002.
- Balsari P., Marucco P., Tamagnone M., (2005). A système to assess the mass balance of spray applied to tree crops. Trans. ASAE 48(5), pp. 1689-1694.
- Barthelemy P., Bouvier J.L., Jouy L., (1994). Technique de pulvérisation : comment limiter la dérive ?, Perspective agricole, 194, pp. 79-87.
- Bourgouin B., (2014). La pulvérisation, facteur clé pour la réussite de la protection des vergers. Rencontre nationales CTIFL/DGAL – SDQPV « Fruits à pépin » Lanxade. 24 p.
- Claverie M., (2010). Comment réduire les doses de fongicides ?. Institut Français de la Vigne et du Vin. N° spécial p 4-5.
- Claverie M., Devèze S., Girardet C., Guisset M., Richy D. (2011). Lutte anti-mildiou et oïdium: adapter les doses de matière active à la végétation. In : Rhône en VO N°5 : 98-108.
- Claverie M. (2013). Optidose® Sud-Est : bilan de 2 ans d'essais « parcelles » contre le mildiou et l'oïdium. In : Rhône en VO N°7 : 3-16.
- Codis S., Douzals J.P., Davy A., Chapuis G., Debuisson S., Wisniewski N., (2012a). Doses de produits phytos autorisées sur vigne en Europe, vont-elles s'harmoniser ?. Phytoma n°656, 5 p., 2012.
- Codis S., Davy A., Chapuis G., (2012b). Comparaison des système d'expression des doses de produits de protection de la vigne dans 5 pays européens et les besoins d'une harmonisation. AFPP – CIETAP. 9 p.
- Cross J.V., Murray R.A., Walkate P.J., Richardson G.M., (2002). Efficiency of drift-reducing orchards spraying methods. Aspects of applied biology, 66 : 285-292
- Cross J., Walklate P.J., (2008). « The UK PACE Scheme for adjusting the dose to suit apple crops ». Agricultural Engineering International, vol 10, 10 p.
- Davy A., (2007). Le programme Optidose : optimisation agronomique et environnementale de la pulvérisation. Euroviti. pp 157-162.
- Davy A., (2010). Optidose® : un Outil d'Aide à la Décision pour moduler les doses de fongicides. IFV. 28 p.
- Destombe J., (2010)., Protection phytosanitaire en arboriculture fruitière : efficacité biologique et conception d'un système innovant de traitement sur frondaison. ENITA Bordeaux, Ctifl de Lanxade, 33p.
- Fleckinger J., (1964) Phénologie et arboriculture fruitière. Le bon jardinier. Paris : Grisvard, P. et Chaudun, V., 362-372.



Fritz B.K., Hoffmann W.C., Bagley W.E., (2010). Effects of spray mixture on droplet size under aerial application conditions and implication on drift. Applied Engineering in Agriculture. 26(1): 21-29.

Gentet C., (1986) Pulvérisateur pour l'agriculture. Paris : ACTA. 63 p.

Giraud M., Trapman M., (2006). Le modèle RIMpro. Intérêt dans la gestion de la tavelure du pommier. *L'arboriculture fruitière*, n°603, p.29-32.

Godyn A., Hownicki R., Doruchowski G., Swiechowski W., (2004). Spray deposition in apple orchards as affected by the primary and the secondary deposition. International conference Environment Friendly Spray Application Techniques, 4-6 October 2004, Warsaw, Poland, Book of abstracts.

Gil E., Llorens J., Llop J., Variable rate technology for vineyard sprayers: challenges of electronic devices for crop characterization. Universitat Politècnica de Catalunya, 2009, 36 p.

Gil E., Planas S., A \* Rosell JR., et al., 25 años de I+D en Técnicas de Aplicación de productos Fitosanitarios en Lleida, Université de Lleida, 2010a, 36 p.

Gil E., Planas S., A \* Rosell JR., et al., DOSAFRUT : Sistema para la determinación de dosis en tratamientos de plantaciones frutales. Université de Lleida, 2010b, 25 p.

Hebrard O., (2012). Optimisation agro-environmentale de la pulvérisation. IFV- IRSTEA. 52p.

Heinkel R., Fried A., Lange E., (2000). The effect or air injector nozzles on crop penetration and biological performances of fruit sprayers. Aspects of applied biology, 57 : 301-307.

Holownicki R., Doruchowski G., Swiechowski W., Godyn A., (2004). Influence of nozzle type and wind velocity on spray distribution within the tree canopy. International conference Environmental Friendly Spray Application Techniques, 4-6 October 2004, Warsaw, Poland, Book of abstracts.

Jaeken P., De Maeyer L., Broers N., Creemers P., (2003). Nozzle choice and its effect on spray deposit & distribution, uptake, drift and biological efficacy in standard apple orchards (*Malus sylvestris*, cv *Jonagold*). Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 56 (2), pp. 326-352.

Landers A., Farooq M., (2004). Reducing drift and improving deposition in orchard. Cornell University. p. 380-384.

Lepoivre P., (2003). Phytopathologie. De Boeck, 1ère éd. 427p.

Lessoult C., Méry D., Ghion K., Sagnes J.L., Dordolo M., (2013). Le Guide Arbo du Sud-Ouest 2014. L'action agricole. N°104, 32 p.

Loquet B., (2006). Pulvérisation phytosanitaire en arboriculture fruitière : qualité de pulvérisation obtenu avec des buses anti dérive, Mémoire de fin d'études. ENITA de Clermont Ferrand, Ctifl, 39 p.

Loquet B., Zavagli F., Gleizer B., (2008). Quantification de la bouillie phytosanitaire interceptée par le végétal. Infos Ctifl n°240 38-42 p.

Mehri H., Crabbé J., (2002). Processus de croissance et d'organogénèse chez le pommier cv Golden Delicious. Biotechnol. Agron. Soc. 6 (1) : 39-49.

Monney Ph., Henriot C., (2003). Mesure de l'indice de surface foliaire et incidence agronomique sur le pommier. Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture, 35 (4) : 223-231.

Orts R., Giraud M., Darthout L., (2006). Protection intégrée pommier-poirier, 2<sup>ème</sup> édition. Paris : Edition Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. 335 p.



- Osaer A., Grataud J., Cammal P., Cavalier R., Hennion B., Gleizer B., Orts R., (2004). Matériel au verger : guide. Paris : Edition Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. 285 p.
- Panneton B., Piché M., (2005). Interaction between volume, airflow, and spray quality in air-assisted spraying. Trans. ASAE, 48(1) : 37-44.
- Phytofar. (2012-2013) Technique de pulvérisation. 39 p.
- Polvêche V., Mralles A., (1996). Vers une nouvelle méthode d'évaluation de la répartition d'un Traitement Phytosanitaire. Cemagref. 1 p.
- Raynal M., Claverie M., Davy A., Vergnes M., Anneraud M., Coulon T., (2004). Optimisation agronomique et environnementale de la pulvérisation : vers une adaptation des doses de produits de traitements en fonction des risques épidémiques et de l'expression végétative développée sur le vignoble. AFPP-Colloque Mieux traiter, Orléans, 10 et 11 mars 2004.
- Ricaud V., et al., (2014). Coût 2014 des approvisionnements en arboriculture. Chambre d'agriculture de Vaucluse, 28<sup>e</sup> édition. 211 p.
- Rinaldi M., Lorens J., Gil E., (2013). Electronic characterization of the phenological stages of grapevine using a LIDAR. sensor. Precision agriculture '13, pp 603-609.
- Siegfried W., Viret O., Holliger E., Crettenand Y., Antonin Ph., (1999). Qualité de l'application des produits phytosanitaires en viticulture et efficacité de la lutte contre les maladies fongiques. Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture, 31(4) : 1-7.
- Travis J.W., Skroch W.A., Sutton T.B., (1997a). Effects of travel speed, application volume and nozzle arrangement on deposition and distribution of pesticides in apple trees. Plant Dis., 71: 606-612.
- Travis J.W., Skroch W.A., Sutton T.B., (1997b). Effect of canopy density on pesticide deposition and distribution in apple trees. Plant Dis., 71 : 613-615.
- Triloff P., (2004). Dosing pesticides and water volumes according in the MABO dosing model : changes of key parameters compared to the present hectare based dosing rules in practice. International conference Environmental Friendly Spray Application Techniques, Warsaw, Poland, Book of abstracts.
- Triloff P. et al., (2012). « Low loss spray application: the scientific basis ». 4th European Workshop on standardized procedures for the inspection of sprayers, Lana (South Tyrol), 8p.
- Trillot M., Masseron A., Mathieu V., Bergougnoux F., Hutin C., Lespinasse Y., (2002). Le pommier, Monographie. Paris : Edition Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. 289 p.
- Verpont F., (2014a). Expression des doses et outils d'optimisation : état des lieux au niveau européen. Rencontres phytosanitaires Fruits à pépins Ctifl/DGAL-SDQPV. 22 p.
- Verpont F., (2014b). Un enjeu à la taille du volume de végétation. L'Arboriculture fruitière. N°683 : 28-29.
- Verpont F., Projet: optimisation de la pulvérisation en arboriculture fruitière. Ctifl, 2014c, 16p.
- Viret O., Siegfried W., (2005a). Dosage des fongicides en fonction du volume foliaire de la vigne. Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture. 37 (1) : 59-62.
- Viret O., Siegfried W., (2005b). Réglage du pulvérisateur, la méthode Caliset. Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture. 37 (1) : 19-19.



Viret, O., Dubuis P.H., Bloesch B., Fabre A.L., Dupuis D., (2010). Dosage des fongicides adapté à la surface foliaire en viticulture: efficacité de la lutte. Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture. 42 (4): 226-233

Walklate, P.J., Cross J.V., Richardson G.M., Baker D.E., (2006). Optimising the adjustment of label-recommended dose rate for orchard spraying. Crop Protection 25: 1080-1086.

## Références sitographiques

Agreste. Surface nationale du verger en 2013. Mise à jour en 2013 [consulté le 26 mars 2014]. Disponible sur <<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr>>

Agrios G.N. Cycle de développement de *Venturia inaequalis*. Plant patholgy.ed Academic Press, 1988. [Consulté le 25 mars 2014]. Disponible sur <[http://www.agrometeo.ch/sites/default/files/documents/cycle\\_tavelure.pdf](http://www.agrometeo.ch/sites/default/files/documents/cycle_tavelure.pdf)>.

Dacquin J., Chatain C., Hémeryck H., Schmitt B., (2013) Le bas volume une matière active de la pulvérisation. Mise à jour en 2013 [consulté le 3 mai 2014]. Disponible sur <<http://www.chambres-agriculture-picardie.fr/fileadmin/documents/Oise/publications/plaquette-bas-volume.pdf>>.

BASF. Les bonnes pratiques phytosanitaires. Mise à jour en 2014 [consulté le 14 avril 2014]. Disponible sur <<http://www.agro.bASF.fr/agroportal/fr>>

Dobson H.M., (2001). Directives sur le Criquet pèlerin. Mise à jour en 2001 [consulté le 7 avril 2014]. Disponible sur <<http://www.fao.org/docrep/007/y1800f/d/y1800fd07.htm>>

DOSAFRUT : determinación del volumen de caldo en tratamientos fitosanitarios de plantaciones frutales. [Consulté le 10 avril 2014]. Disponible sur <<http://www.dosafrut.es/>>.

E-phy : Le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France. [Consulté le 23 avril 2014]. Disponible sur <<http://e-phy.agriculture.gouv.fr>>

FAOstat. Données par produit. Mise à jour en 2013 [consulté le 26 mars 2014]. Disponible sur <<http://faostat.fao.org>>.

GIP PULVES, Le Contrôle des Pulvérisateurs : les pulvérisateurs pour l'arboriculture [Consulté le 15 juillet 2014]. Disponible sur <<http://www.gippulves.fr/index.php/syntheses/le-parc-de-pulverisateur/les-pulverisateurs-pour-l-arboriculture>>.

La pomme. Les Chiffres. Mise à jour en 2013 [consulté le 13 mars 2014]. Disponible sur <<http://www.lapomme.org>>.

PACE : Pesticide dose rate Adjustement to the Crop Environment. [Consulté le 10 avril 2014]. Disponible sur <<http://www.pace.pjwrc.co.uk/>>.



## **ANNEXES**



## Annexe I : Les autres principaux bioagresseurs du pommier. (Orts et al., 2006)

### - L'oïdium (*Podosphaera leucotricha*)

L'oïdium est un champignon parasite biotrophe obligatoire, de la classe des Ascomycètes. Il se conserve sous forme mycéienne dans les bourgeons. La contamination primaire correspond à l'envahissement des jeunes organes au printemps. Les conidies formées sont dispersées par le vent, ce qui donne la contamination secondaire. L'apparition d'un feutrage mycélien gris blanchâtre sur rameaux, feuilles et fleurs provoque une baisse de rendement. En lutte prophylactique, il convient d'éliminer les organes oïdiés pendant la taille et l'éclaircissage manuel. En lutte chimique, les traitements au soufre et aux IBS sont préconisés en pré-floral. Après la floraison, les protections contre la tavelure et l'oïdium sont associées.



### - Le carpocapse (*Cydia pomonella L.*)

La carpocapse est un insecte de l'ordre des Lépidoptères. Il effectue jusqu'à trois générations par an selon les régions. Il hiverne à l'état de larve dans l'écorce ou dans le sol. La première génération d'adulte émerge d'avril à juin. La ponte s'effectue sur fruit. À l'éclosion, la larve creuse une galerie de la surface du fruit aux pépins. Les dégâts provoquent une chute du fruit et des pertes de rendement.



La confusion sexuelle est un des moyens de protection les plus employés. Elle peut être complétée par des traitements ovicides et larvicides (chloronicotinilles, pyréthrinoïdes et organophosphorés). Le virus de la granulose est également utilisé comme larvicide. Son efficacité est aussi recherchée pour les tordeuses de la pelure : *Grapholita molesta* (tordeuse orientale du pêcher), *Adoxophyes orana* (tordeuse de la pelure : capua), etc.

### - L'acarien rouge (*Panonychus ulmi*)

L'acarien rouge appartient à la famille des Tétranyques. Il hiverne sous forme d'œufs et éclos durant la floraison. Sa présence peut entraîner une diminution du nombre de fruits et de leurs calibres. Après 5 à 8 générations, la ponte d'hiver débute mi-août.



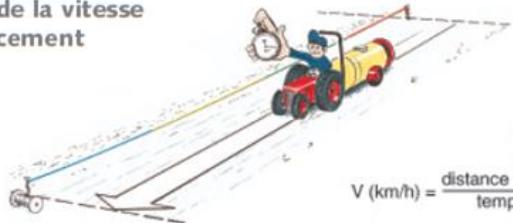
En hiver, l'application d'abamectin (perturbateur du système nerveux), d'huile (barrière mécanique à la respiration) ou de soufre (en agrobiologie) est efficace. En lutte biologique, les acariens prédateurs sont à introduire et à favoriser (phytoséiides).



**Annexe II : Les points essentiels de la méthode Caliset. (Viret et Siegfried, 2005b)**

## Les points essentiels de la méthode Caliset

### ● Calcul de la vitesse d'avancement



$$V (\text{km/h}) = \frac{\text{distance parcourue (m)} \times 3,6}{\text{temps nécessaire (s)}}$$

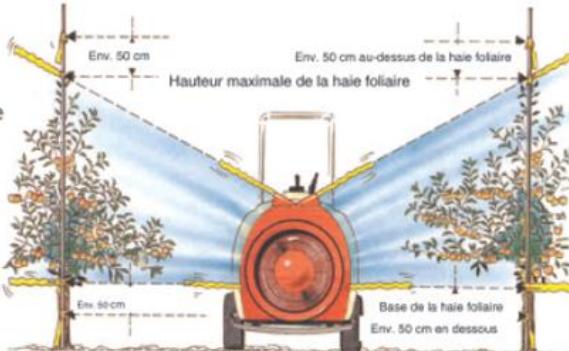
### ● Détermination du débit des buses



1. Calculer le débit de chaque buse en fonction du volume par ha choisi (formule)
2. Comparer la valeur obtenue avec la pression optimale de la buse (voir tableau)
3. Changer de buse si leur débit ne correspond pas à l'optimum paramétré (vitesse)
4. Prendre la même nombre de tours-minute du moteur que pour déterminer la vitesse d'avancement
5. Ouvrir les buses recouvertes d'un tuyau de caoutchouc. Durant une minute, mesurer le débit de chacune des buses dans un cylindre gradué
6. Comparer les valeurs obtenues avec la valeur calculée.
7. En cas de différences importantes, contrôler l'orifice, le filtre le cas échéant, changer la buse.

$$\text{l/min./buse} = \frac{\text{Vitesse (km/h)} \times \text{distance interligne (m)} \times \text{volume (l/ha)}}{600 \times \text{nomb. de buses ouvertes}}$$

### ● Adaptation des déflecteurs et des buses à la haie foliaire



(Représentations graphiques reproduites avec l'autorisation de la firme Syngenta, Bâle.)



### **Annexe III : Présentation du Ctifl.**

Le Centre Interprofessionnel des Fruits et Légumes (Ctifl) est un organisme à but non lucratif créé en 1952. Le Ctifl est un acteur de progrès au service de toute la filière fruits et légumes. Son domaine d'action s'étend de la sélection variétale jusqu'aux techniques de commercialisation. Il participe à l'amélioration des performances et de la compétitivité des entreprises de la filière par son expertise technique et économique, ses activités de recherche et d'innovation, ses programmes de formation et sa diffusion de l'information.

Les activités du Ctifl s'articulent autour de quatre centres régionaux :

- Balandran (30) : centre pluridisciplinaire travaillant sur une large gamme d'espèces fruitières et légumières.
- Carquefou (44) : axé principalement sur les espèces légumières (sous serres ou plein champ).
- Lanxade (24) : centre orienté vers les espèces fruitières, arboricoles mais également légumières.
- Saint Rémy de Provence (13) : structure axée sur la qualité post-récolte et sur les démarches de commercialisation.



Le siège social et administratif se trouve à Paris. Une antenne, Rungis, est située au cœur du plus important marché de gros international.

Le Ctifl dispose d'un budget annuel de 24 millions d'euros et d'un capital humain de 282 personnes. Ce budget provient à 70% des taxes parafiscales, à 15% des ressources internes (formations, prestations de services, etc.) et à 15% de subventions attribuées par des acteurs du monde agricole (Casdar, Ministre de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, Union Européenne, régions, départements, etc.). Sur les 282 personnes salariées au Ctifl, il y a 172 ingénieurs et techniciens, 57 ouvriers agricoles et 53 cadres et employés administratifs.

Le stage à l'origine de ce rapport, s'est déroulé au sein du Ctifl de Lanxade. Le centre est basé dans la vallée de la Dordogne, non loin de Bergerac, au cœur du bassin de production fruits et légumes du Sud-Ouest. Les activités du centre, menées par 68 personnes dont 39 ingénieurs et techniciens sont regroupées en 13 programmes expérimentaux. L'étude présentée dans ce rapport fait partie du programme « Production raisonnée / environnement fruits à pépins », axé sur l'homologation, l'observation des pratiques, la maîtrise des bioagresseurs et les solutions alternatives.



**Annexe IV : Description des principaux produits phytosanitaires utilisés dans le Sud-Ouest et leurs propriétés.**

(Lessoult et al., 2013 ; E-phy, 2014)

Familles	Substance actives	Produits commerciaux	Dose homologuée	Bioagresseurs cible	Durée d'action		Nombre max d'application	DAR (jours)
					préventive (jours)	curative (heures)		
Dithiocarbamates	Mancozèbe	DITHANE NEOTEC	2 kg/ha	Tavelure	7	24	4	28
Phtalimides	Captane 80%	MERPAN 80 WDG	1,9 kg/ha	Tavelure	7	24	10	28
Dithiocarbamates	Thirame 80%	ORDOVAL	0,25 kg/hl	Tavelure	7	24	4	42
Quinone	Dithianon	DELAN WG	0,5 kg/hl	Tavelure	7	32	-	14
Anilinopyrimidines	Pyriméthanal	SARI TF	0,05 l/hl	Tavelure	5	48	2	56
Strobilurines	Trifloxystrobines	FLINT	0,015 kg/hl	Tavelure / Oïdium	8	48	2	14
Guanidines	Dodine	SYLLIT	0,169 l/hl	Tavelure	7	48	4	60
IBS	Difénoconazole	SCORE	0,015 l/hl	Tavelure	5	72	3	30
Phosphonates	Fosétyl-AL	ALIETTE Flash	0,375 kg/hl	Tavelure / Feu bactérien			3	28
Chloronicotiniles	Acétamiprid	SUPREME	0,025 kg/hl	Puceron cendré	21		2	14
Pyridinecarboxamides	Flonicamide	TEPPEKI	0,014 kg/hl	Puceron cendré	21		3	21
Ketoénolés	Spirotétramat	MOVENTO	1,21 kg/ha	Puceron cendré	21 à 42		2	21
Ketoénolés	Spirotétramat	MOVENTO	1,9 kg/ha	Puceron lanigère / Pou de San José	21 à 42		2	21
Benhydrazides	Tébufénozide	CONFIRM	0,06 l/hl	Carpocapse	10 à 14		3	21
Organophosphores	Phosmet	IMIDAN	0,1 kg/hl	Carpocapse			2	49
Carbamates	Fenoxycarbe	INSEGAR	0,06 kg/hl	Tordeuse			2	14
Pyridazinones	Pyridabène	NEXTER PRO	0,02 kg/ha	Acarien			1	30

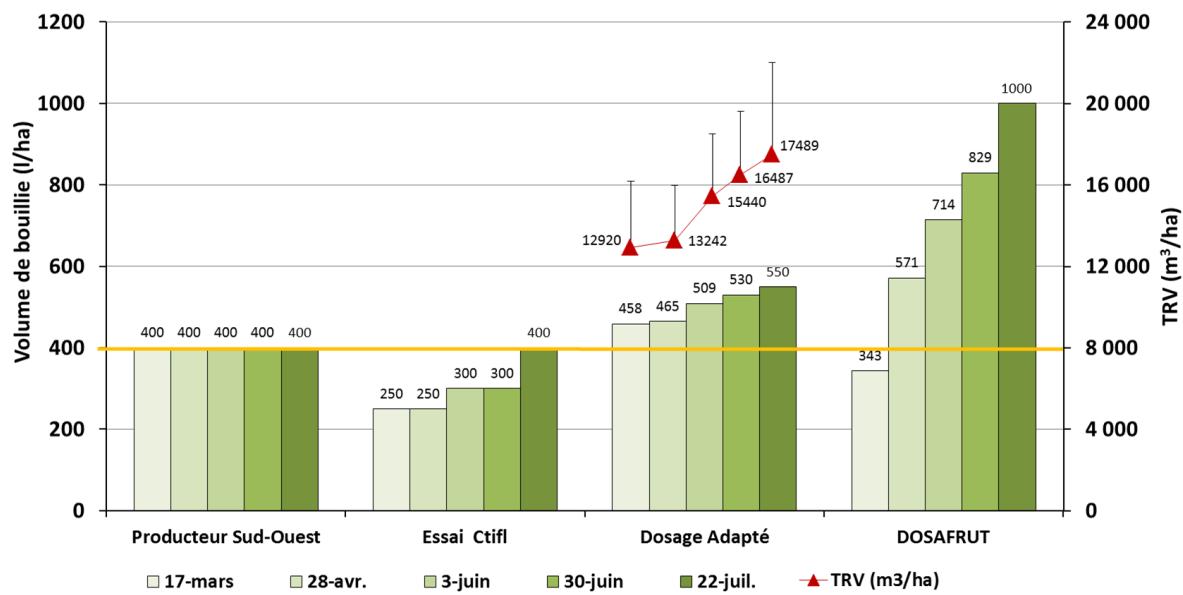


**Annexe V : Tableau récapitulatif des périodes d'observations et d'activités effectuées en verger.**

	21-mars	07-avr	Fin avril	Mai	Début- juin	Fin juin	Mi -Juillet	Mi-aout	Fin aout						
<b>Epoque Stades phénologiques</b>	C-C3	F2	I-J	J	Basculement du fruit	<b>Pleine végétation</b>			Récolte						
<b>Suivi phénologique</b>															
<b>Suivi de pousse</b>		3 fois par semaine													
<b>Mesure TRV</b>	5 mesures (6 variétés de pomme, dont Brookfield et 4 de poire)														
<b>Traitements phytosanitaires</b>	22 applications														
<b>Qualité de pulvérisation</b>			250 l/ha			300 l/ha			400 l/ha						
<b>Tavelure</b>				Rosettes	Pousses, feuilles et fruits		Pousses et fruits	Pousses, feuilles et fruits							
<b>Puceron</b>		Bouquets		Pousses											
<b>Carpocapse</b>						Bandes pièges (pose)	Bandes pièges (pose) Relevés de pièges 3 fois par semaine								
<b>Tordeuse</b>		Bouquets													
<b>Acarien</b>				Feuilles toutes les 3 semaines											



**Annexe VI : Les volumes de bouillie appliqués et préconisés d'après les mesures effectuées pendant la saison 2014 dans la parcelle d'essai.**



**Histogramme présentant le volume de bouillie appliqué par les producteurs du Sud-Ouest, dans l'essai mené au Ctifl et préconisé par les outils « dosage adapté » Suisse et DOSAFRUT d'après des mesures de TRV au cours de la saison 2014 dans la parcelle d'essai.**

**Tableau regroupant la moyenne des mesures de hauteur et de largeur de la parcelle d'essai à différentes dates ainsi que les résultats du calcul du TRV et du volume de bouillie d'après l'outil Suisse.**

Date	17-mars	28-avr.	3-juin	30-juin	22-juil.
Distance entre rang (m)	4	4	4	4	4
Hauteur (m)	Moyenne	3,23	3,29	3,57	3,79
	Ecart type	0,12	0,15	0,21	0,24
Largeur (m)	Moyenne	1,60	1,61	1,73	1,74
	Ecart type	0,39	0,28	0,29	0,25
TRV (m <sup>3</sup> /ha)	Moyenne	12920	13242	15440	16487
	Ecart type	3238	2727	3062	4493
Volume de bouillie /ha	458	465	509	530	550

Calcul du TRV, exemple du 17 mars :  $TRV(m^3/ha) = \frac{3,23 \times 1,6}{4} \times 10\,000 = 12\,920$

Calcul du volume de bouillie du 17 mars :  $Vol(l/ha) = 12\,920 \times 0,02 + 200 = 458,4$

Le calcul du volume de bouillie par l'outil DOSAFRUT s'est fait directement sur le site internet avec les mêmes données de hauteur, de largeur et d'entre rang que celles utilisées pour l'outil « dosage adapté ». DOSAFRUT prenant en compte les conditions météorologiques lors des traitements, celles-ci ont été rentrées. De manière générale, lors de nos applications, la température était comprise entre 5 et 20°C, l'humidité relative était supérieure à 60% et la vitesse du vent était comprise entre 3,6 et 10,8 km/h.



**Annexe VII : Contrôle du débit des buses à turbulence ATR 80 (couleur marron et jaune) du pulvérisateur Nicolas Magistral ASI 1000 d'après la méthode Caliset.**

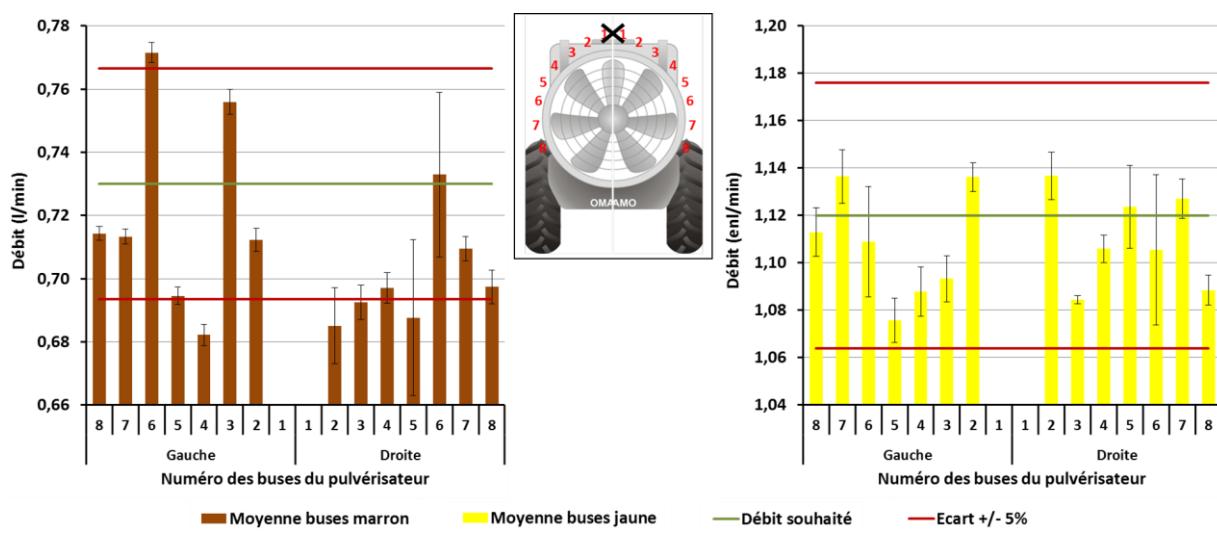
Pour chaque couleur de buse, on connaît, pour une pression donnée, son débit en litres par minute. Le contrôle du débit de chaque buse a été effectué trois fois sur une minute pour déterminer un débit moyen. Un écart de 5% du débit souhaité est toléré.

Malgré un écart de 2 et 3 buses marron, respectivement à gauche et à droite de l'axe du pulvérisateur, le volume de bouillie souhaité pour le côté droit et gauche (somme de 7 buses) et de l'ensemble des buses (somme de 14 buses) du pulvérisateur de l'essai est respecté au seuil de 5%. Le volume de bouillie souhaité des buses jaune est aussi conforme.

**Tableau présentant les résultats du débit moyen : de chaque buse (ATR 80 marron et jaune), de la somme des 7 buses du côté gauche et droit et de l'ensemble des 14 buses du pulvérisateur de l'essai pour une pression de 12 bars ainsi que la validation ou non du débit moyen par rapport à un écart toléré de 5% du débit souhaité.**

Type de busse	ATR 80 Marron	ATR 80 Jaune
Préssion (bars)	12	12
Débit (l/min) pour 14 buses	10,22	15,68
Débit (l/min) pour 1 buse	0,73	1,12
Marge (%)	5%	5%
Marge (l/min)	0,037	0,056
Débit (l/min) minimum	0,694	1,064
Débit (l/min) maximum	0,767	1,176
Marge (%)	5%	5%
Marge (l/min)	0,256	0,392
Débit (l/min) minimum	4,855	7,448
Débit (l/min) maximum	5,366	8,232
Marge (%)	5%	5%
Marge (l/min)	0,511	0,784
Débit (l/min) minimum	9,709	14,896
Débit (l/min) maximum	10,731	16,464

Buses	ATR 80 Marron						ATR 80 Jaune					
	Côté gauche			Côté droit			Côté gauche			Côté droit		
	Moyenne (l/min)	Ecart type	Ecart 5%	Moyenne (l/min)	Ecart type	Ecart 5%	Moyenne (l/min)	Ecart type	Ecart 5%	Moyenne (l/min)	Ecart type	Ecart 5%
1	Fermée			Fermée			Fermée			Fermée		
2	0,712	0,002	OK	0,685	0,002	NON	1,136	0,007	OK	1,137	0,012	OK
3	0,756	0,031	OK	0,692	0,005	NON	1,093	0,012	OK	1,084	0,002	OK
4	0,682	0,011	NON	0,697	0,002	OK	1,088	0,013	OK	1,106	0,007	OK
5	0,695	0,004	OK	0,688	0,003	NON	1,076	0,011	OK	1,124	0,021	OK
6	0,772	0,063	NON	0,733	0,004	OK	1,109	0,028	OK	1,105	0,039	OK
7	0,713	0,003	OK	0,710	0,002	OK	1,136	0,014	OK	1,127	0,010	OK
8	0,714	0,003	OK	0,697	0,003	OK	1,113	0,013	OK	1,088	0,008	OK
Somme 7 buses	5,044	0,101	OK	4,902	0,020	OK	7,751	0,096	OK	7,771	0,057	OK
Somme 14 buses				9,946	0,080	OK				15,522	0,039	OK



**Histogramme présentant le débit moyen (l/min) de chaque buse ATR 80 marron et jaune du pulvérisateur de l'essai pour une pression de 12 bars ainsi que le débit souhaité et l'écart toléré, maximum et minimum, à 5% de ce débit.**



**Annexe VIII : Coût d'une application de traitements phytosanitaires.**

**Détails des coûts des produits commerciaux**

(Source : Ricaud et al., 2014).

Produits commerciaux	Prix des produits (€ / kg ou l)
<b>Fongicides</b>	
DITHANE NEOTEC	7,2 €/kg
MERPAN 80 WDG	14 €/kg
ORDOVAL	8,4 €/kg
DELAN WG	46,92 €/kg
SARI TF	47,73 €/l
FLINT	207,64 €/kg
SYLLIT	17 €/l
SCORE	97 €/l
ALIETTE Flash	24,07 €/kg
<b>Insecticides</b>	
SUPREME	100 €/kg
TEPPEKI	195 €/kg
MOVENTO	84 €/kg
CONFIRM	60 €/l
IMIDAN	24,12 €/kg
INSEGAR	128 €/kg
NEXTER PRO	455,18 €/kg

**Détail des coûts d'un traitement en considérant qu'une application**

**nécessite une heure par hectare (Delattre, com. perso).**

Coût du tracteur avec carburant	12 €/h
Pulvérisateur trainé 1000L - 16 jets	7 €/ha
Chauffeur	16 €/h
<b>Coût d'un traitement par hectare</b>	<b>35 €/ha</b>



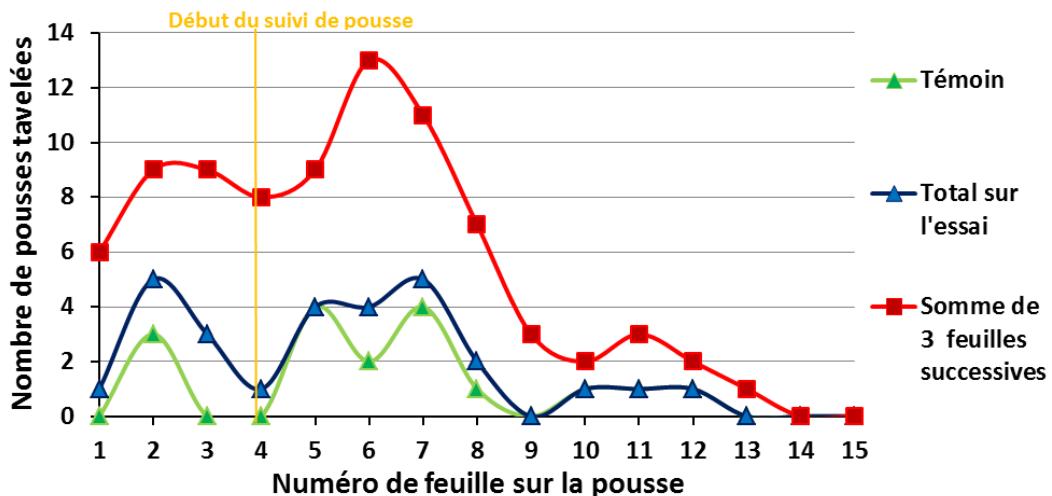
## Annexe IX : Suivi de pousses et étage des feuilles tavelées.

Suivi de la croissance de la pousse de bourse, puis de la pousse végétative.

Date	Nombre de feuilles étalées sur la pousse			Ecart mini maxi	Nouvelle feuille
	Moyenne	Minimum	Maximum		
<b>Pousse de bourse</b>					
11-avril	4	2	5	3	0
14-avril	4	3	5	2	0
18-avril	5	4	7	3	1
22-avril	6	5	7	2	1
02-mai	8	6	9	3	2
06-mai	8	7	9	2	0
<b>Pousse végétative</b>					
06-mai	11	11	11	0	0
09-mai	12	12	12	0	1
21-mai	13	13	13	0	1
28-mai	15	15	15	0	2

Nombre de feuilles tavelées observées le 6 juin, en fin de contamination primaire, pour chaque modalité.

Numéro de feuille (en partant de la base de la pousse)	Nombre de feuilles tavelées						
	Témoin	M2	M3	M4	M5	Total sur l'essai	Somme de 3 feuilles successives
1					1	1	5
2	3		1			4	8
3				1	2	3	8
4				1		1	8
5	4					4	9
6	2			2		4	13
7	4				1	5	11
8	1			1		2	7
9						0	3
10	1					1	2
11	1					1	3
12	1					1	2
13						0	1
14						0	0
15						0	0



Nombre de pousses tavelées, au 6 juin, en fonction du numéro de feuille sur la pousse.



**Annexe X : Conditions météorologiques, risque de contamination tavelure et traitements.**

Dates	Températures (°C)	Précipitations (mm)	Projections d'ascospores (%)	RIM	Risques de Mills sur :		Nouvelle feuille	Traitements
					feuilles	fruits		
15-mars	10,6							
16-mars	10,7	0,2	0,02					
17-mars	9,9							n°1
18-mars	12,1	0,2	0,16					
19-mars	12,8							
20-mars	13,1							n°2
21-mars	9,4	11,0	0,13					
22-mars	7,8	7,8	4,59	11	Moyen			
23-mars	7,6	1,4	1,87	266	Grave			
24-mars	8,7	6,2	2,14	437	Grave			n°3
25-mars	8,1	9,2	2,19	703	Grave			
26-mars	6,9			858	Grave			
27-mars	11,1			1				n°4
28-mars	14,1							
29-mars	13,7							
30-mars	13,5							
31-mars	15,0							
1-avr.	15,5							
2-avr.	15,7	1,8	0,10					n°5
3-avr.	12,7	33,4	22,25	1306	Grave			
4-avr.	12,3			2000	Grave			n°6
5-avr.	11,9			2000				
6-avr.	16,1			2000				
7-avr.	16,9	0,2		2000				
8-avr.	13,4		0,10	0	Faible			
9-avr.	11,8							
10-avr.	13,7							
11-avr.	14,1						0	
12-avr.	15,1							
13-avr.	14,7							
14-avr.	14,6							
15-avr.	15,4							
16-avr.	14,4							
17-avr.	13,5							
18-avr.	12,8						1	n°7
19-avr.	11,1							
20-avr.	9,4	1,8	31,96	121	Faible			
21-avr.	13,2			2000	Moyen	Faible		
22-avr.	12,5	2,0	1,05	2000			1	
23-avr.	14,0	1,2	1,76	4				
24-avr.	12,2	5,6	12,89	405	Faible			n°8
25-avr.	12,1	2,2	2,67	1230	Grave	Moyen		
26-avr.	10,8	4,2	3,08	2000	Grave			
27-avr.	11,7	10,4	2,22	2000	Grave			
28-avr.	12,5	0,6	0,23	2000	Grave	Faible		
29-avr.	12,4	5,6	2,89	2000	Grave	Moyen		
30-avr.	14,0	3,0			Grave	Moyen		n°9
1-mai	13,6	2,2	1,91	3	Moyen			
2-mai	13,0	3,8	1,60	196	Grave	Moyen	2	
3-mai	12,3	0,2	0,08	292	Grave	Moyen		
4-mai	12,3							
5-mai	15,4				1			
6-mai	15,4	3,8	1,85	3			0	
7-mai	16,3			151	Moyen			n°10
8-mai	14,8							
9-mai	15,1	0,4	1,06				1	
10-mai	15,2			47				
11-mai	15,2							
12-mai	11,4	4,6	0,78					
13-mai	11,5		0,04	7	Faible			n°11
14-mai	12,1			3				
15-mai	13,7							
16-mai	15,1							
17-mai	16,6							
18-mai	18,0							
19-mai	19,2	0,4						



20-mai	15,0	16,8	0,33	13	Moyen			n°12
21-mai	15,5	15,4	0,02	33	Grave	Moyen	1	
22-mai	15,4				Grave	Moyen		n°13
23-mai	12,1	6,8	0,02	3				
24-mai	14,7	1,4			Moyen			
25-mai	15,3	11,8			Faible			
26-mai	12,5	8,6			Moyen			
27-mai	13,0				Grave			
28-mai	13,2	4,2					2	n°14
29-mai	16,2	1,2			Moyen			
30-mai	16,0	30,4			Faible			
31-mai	16,1	2,2			Grave			
1-juin	17,2							
2-juin	17,4							
3-juin	16,2							n°15
4-juin	15,9	2,2						
5-juin	16,3							
6-juin	21,9							
7-juin	22,9							
8-juin	23,1							
9-juin	23,3							
10-juin	21,1							
11-juin	21,9							
12-juin	24,6							
13-juin	24,7							
14-juin	21,2							
15-juin	19,0							
16-juin	20,4							
17-juin	18,9							
18-juin	19,2							
19-juin	20,7							
20-juin	22,8							
21-juin	23,1							
22-juin	24,8							
23-juin	21,1				Faible			n°16
24-juin	21,6							
25-juin	22,5							
26-juin	20,9							
27-juin	19,7							n°17
28-juin	20,9				Faible			
29-juin	17,7							
30-juin	17,2							
1-juil.	18,7				Faible			
2-juil.	20,8				Grave			
3-juil.	22,3							n°18
4-juil.	19,8				Grave			
5-juil.	21,5				Grave			
6-juil.	19,8							
7-juil.	17,4							
8-juil.	18,8							
9-juil.	18,1							
10-juil.	18,7							
11-juil.	19,2							
12-juil.	18,9							
13-juil.	17,8				Moyen			
14-juil.	20,0				Grave			
15-juil.	20,9							
16-juil.	23,8							n°19
17-juil.	26,6							
18-juil.	25,5							
19-juil.	23,6							
20-juil.	19,0				Faible			
21-juil.	20,7				Grave			n°20
22-juil.	21,0							
23-juil.	22,4							
24-juil.	24,6				Faible			
25-juil.	19,8				Faible			
26-juil.	21,9				Grave			
27-juil.	22,6							
28-juil.	19,1							
29-juil.	18,2							
30-juil.	21,8							



**Annexe XI : Traitements phytosanitaires de la saison.**

**Traitements réalisés sur les différentes modalités.**

Période liée au volume de bouillie	Date	Produits phytosanitaires	Cibles	Modalités				
				M1	M2	M3	M4	M5
Début de saison (17 mars - 24 avril)	17-mars	SYLLIT	Tavelure		x	x	x	x
	20-mars	DITHANE NEOTEC	Tavelure		x	x	x	x
	24-mars	DELAN WG	Tavelure		x	x	x	x
		SARI TF	Tavelure		x	x	x	x
	27-mars	DELAN WG	Tavelure		x	x	x	x
		SARI TF	Tavelure		x	x	x	x
	2-avr.	DELAN WG	Tavelure		x	x	x	x
		SARI TF	Tavelure		x	x	x	x
	4-avr.	SUPREME	Puceron cendré	x	x	x	x	x
		SYLLIT	Tavelure		x	x	x	x
	18-avr.	DELAN WG	Tavelure		x	x	x	x
		FLINT	Tavelure / oïdium		x	x	x	x
		ALIETTE Flash	Feu bactérien		x	x	x	x
		INSEGAR	Tordeuses		x	x	x	x
	24-avr.	DELAN WG	Tavelure		x	x	x	x
		FLINT	Tavelure / oïdium		x	x	x	x
Mi- saison (30 avril - 23 juin)	30-avr.	MERPAN 80 WDG	Tavelure		x	x	x	x
		SCORE	Tavelure		x	x	x	x
		TEPPEKI	Puceron cendré		x	x	x	x
	7-mai	MERPAN 80 WDG	Tavelure		x	x	x	x
	13-mai	DELAN WG	Tavelure		x	x	x	x
	20-mai	MERPAN 80 WDG	Tavelure		x	x	x	x
		MOVENTO	Puceron cendré			x	x	x
	22-mai	ORDOVAL	Tavelure		x	x	x	x
	28-mai	DELAN WG	Tavelure		x	x	x	x
		SCORE	Tavelure		x	x	x	x
	3-juin	ORDOVAL	Tavelure		x	x	x	x
		CONFIRM	Carpocapse			x	x	x
	13-juin	MOVENTO	Pou de San José		x	x	x	x
	17-juin	NEXTER PRO	Acarien		x	x	x	x
	20-juin	IMIDAN	Carpocapse			x	x	x
	23-juin	MERPAN 80 WDG	Tavelure				x	x
Fin de saison (27 juin - 21 juillet)	27-juin	DELAN WG	Tavelure				x	x
		IMIDAN	Carpocapse			x	x	x
	16-juillet	DELAN WG	Tavelure				x	x
		SCORE	Tavelure				x	x
	21-juillet	DELAN WG	Tavelure				x	x
		INSEGAR	Tordeuses			x	x	x

**Nombre total de traitements réalisés contre les bioagresseurs et nombre de produits anti-tavelure par modalité.**

Nombre de traitements	Témoin	M2	M3	M4	M5
Tavelure	0	15	15	19	19
et nombre de produits anti-tavelure	0	23	23	28	28
Puceron cendré	1	3	4	4	4
Carpocapse et Tordeuse	0	1	5	5	5
Acarien	0	1	1	1	1
Total d'applications	1	17	20	22	22



**Annexe XII : Différence d'IFT, du nombre de passages et des coûts d'applications des traitements avec ou sans les 4 derniers traitements carpocapse et tordeuses.**

**IFT avec et sans traitements carpocapse/tordeuses et la différence.**

		Témoin	M2	M3	M4	M5
IFT avec traitement carpocapse/tordeuses	Fongicides	0,0	23,0	16,1	20,6	9,9
	Insecticides	1,0	5,6	8,1	7,7	3,7
	Total	1,0	28,6	24,2	28,3	13,6
IFT sans traitement carpocapse/tordeuses	Fongicides	0,0	23,0	16,1	20,6	9,9
	Insecticides	1,0	5,6	4,6	4,7	2,3
	Total	1,0	28,6	20,8	25,3	12,2
<b>Différence d'IFT</b>	Fongicides	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Insecticides	0,0	0,0	3,5	3,0	1,4
	<b>Total</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>3,5</b>	<b>3,0</b>	<b>1,4</b>

**Nombre de passages avec et sans traitements carpocapse/tordeuses et la différence.**

		Témoin	M2	M3	M4	M5
Nombre d'application avec traitement carpocapse/tordeuses	1	17	20	23	23	
Nombre d'application sans traitement carpocapse/tordeuses	1	17	17	22	22	
<b>Différence du nombre de passages</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

**Coûts d'applications avec et sans traitements carpocapse/tordeuses et la différence.**

		Témoin	M2	M3	M4	M5
Coûts avec traitement carpocapse/tordeuses	Fongicides	0	611	419	540	259
	Insecticides	25	380	492	478	237
	Matériels et chauffeur	35	595	700	770	770
	Total	60	1586	1611	1823	1301
Coûts sans traitement carpocapse/tordeuses	Fongicides	0	611	419	540	259
	Insecticides	25	380	346	347	179
	Matériels et chauffeur	35	595	595	735	735
	Total	60	1586	1360	1657	1208
<b>Différence de coûts</b>	Fongicides	0	0	0	0	0
	Insecticides	0	0	146	131	58
	Matériels et chauffeur	0	0	105	35	35
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>251</b>	<b>166</b>	<b>93</b>



**Annexe XIII : Résultats statistiques.**

Date	Ravageurs Maladies	Données brutes avec TNT	Comparaison 2 à 2					Comparaison au témoin					Données brutes sans TNT	
			Kruskal Wallis	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5	
27-mai	Acarien	0.07576	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2093
25-juin	Acarien	0.007713	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	0.01286
18-juil	Acarien	0.005469	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	-
31-mars	Puceron	0.07593	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-avr	Puceron	0.1653	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2451
10-juin	Puceron	0.1068	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1015
16-mai	Ros Tav	0.316	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2139
06-juin	Feuil Tav	0.2248	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4273
	Feuil Tav Bas	0.1875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4273
	Feuil Tav Haut	0.2881	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3916
	Pous Tav	0.1875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4273
	Pous Tav Bas	0.1964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4689
	Pous Tav Haut	0.2881	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3916
	Fruit Tav	0.03853	a	a	a	a	a	a	a	b	b	a	a	0.5059
	Fruit Tav Bas	0.03923	a	a	a	a	a	a	a	b	b	a	a	0.3666
	Fruit Tav Haut	0.02468	a	a	a	a	a	a	b	b	b	a	a	0.6373
23-juil	Pous Tav	0.02886	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	0.7336
	Fruit Tav	0.03777	a	a	a	a	a	a	b	b	a	b	b	0.6594
13-août	Feuil Tav	0.00556	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	-
	Feuil Tav Bas	0.00556	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	-
	Feuil Tav Haut	0.00556	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	-
	Pous Tav	0.00556	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	-
	Pous Tav Bas	0.005469	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	-
	Pous Tav Haut	0.005469	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	-
	Fruit Tav	0.01076	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	0.3916
	Fruit Tav Bas	0.00556	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	-
	Fruit Tav Haut	0.01062	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	0.3916



  	<p>Diplôme / Mention : Biologie et Technologie du Végétal      Spécialité : Production et Technologie du Végétal (ProTeV)      Parcours : Productions Végétales Spécialisées      Option : Produits phytosanitaires, méthodes alternatives et réglementation</p>
Auteur(s) : Nicolas ANDRE  Date de naissance* : 11/05/1990	Organisme d'accueil : Ctifl de Lanxade  Adresse : Routes des Nébouts 24 130 Prigonrieux
Nb pages : 30      Annexe(s) : 13	
Année de soutenance : 2014	Maître de stage : Florence VERPONT
<p>Titre français : Adaptation des doses et des volumes des traitements phytosanitaires à la végétation du pommier.</p> <p>Titre anglais : Adjusting spray volume and dose to leaf area in apple orchard.</p>	
<p>Résumé : La prise de conscience des risques environnementaux et sanitaires de l'utilisation des produits phytosanitaires entraîne une pression politique et sociétale importante sur le monde agricole. En verger de pommier, la réduction des intrants phytosanitaires par des impasses de traitements est difficile. Aussi, plusieurs pays européens proposent des outils permettant d'optimiser la pulvérisation et l'utilisation des intrants. En France, ce domaine est encore peu travaillé. Ce mémoire présente les caractéristiques de ces outils et une étude sur leur adaptabilité au verger français. Dans l'essai mis en place, il s'agit de comparer différentes méthodes d'adaptation du volume de bouillie et des doses de produits, à la surface foliaire des pommiers. Dans nos conditions, cette première année d'étude montre qu'une réduction des intrants est possible, tout en conservant un état sanitaire acceptable. Le principal levier pour réduire les intrants (80 % de fongicides) est l'adaptation des volumes et des doses en début de saison et une bonne gestion de la tavelure en contamination primaire. Par ailleurs, cette étude montre aussi que des erreurs de dosages peuvent entraîner des traitements et donc des coûts supplémentaires. Par ailleurs, l'étude souligne le manque de données sur la quantification des dépôts sur pommier en France.</p>	
<p>Abstract: Environmental and health risks awareness cause a political and societal pressure on agriculture. In apple orchard, reducing chemicals by avoiding treatments is very difficult. In some european countries, there are tools to optimize spray application and chemical use. This is not really worked on in France. This report presents those tools characteristics and a study of adaptability to french orchards . The experiment is a comparison between several methods of spray volume and dose, adjusting to apple tree leaf area. In our conditions, the trial shows that a chemical reduction is possible without unacceptable symptoms. The main way to reduce chemicals (80% of fungicides) is the adjustment of spray volume and dose at the beginning of the season, as well as a good management of primary contamination by apple scab. Moreover, this study demonstrates that dosage mistakes could lead to additional spray and cost increase. Otherwise, the report underlines the lack of knowledge about deposits quantification in french apple orchards.</p>	
<p>Mots-clés : volume de pulvérisation, dose adaptée, efficacité biologique, surface foliaire, dépôts.</p> <p>Key Words: spray volume, dose adjusting, biological efficacy, leaf area, deposit.</p>	

\* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaire