

Performances de systèmes viticoles à faible niveau d'intrants phytopharmaceutiques dans le vignoble bordelais

**Delière L.^{1,3}, Guimier S.¹, Petitgenet M.^{1,4}, Goutouly J.P.^{2,3}, Vergnes M.⁴, Dupin S.⁵, Davidou L.⁵,
Christen M.⁵, Rochas A.⁶, Guilbault P.⁵**

¹ INRA, UMR 1065 SAVE, F-33883 Villenave d'Ornon

² INRA, UMR 1287 EGFV, F-33883 Villenave d'Ornon

³ INRA, UE 1442 Vigne Bordeaux, F-33883 Villenave d'Ornon

⁴ Institut Français de la Vigne et du Vin, F-33295 Blanquefort Cedex

⁵ Chambre d'Agriculture de la Gironde, F-33295 Blanquefort Cedex

⁶ EPLEFPA Bordeaux, F-33295 Blanquefort Cedex

Correspondance : laurent.deliere@inra.fr

Résumé

Afin de répondre aux exigences de réduction de l'usage des produits phytosanitaires, ce projet vise à concevoir et à évaluer des systèmes viticoles qui en sont très économes. Ces systèmes, menés en agriculture conventionnelle ou biologique, sont basés essentiellement sur des leviers d'efficacité de la lutte chimique pour la gestion des maladies et des ravageurs (règles de décision de traitement), et de substitution pour la maîtrise des adventices (travail du sol, couverts végétaux). Un autre type de système teste aussi le levier de la résistance variétale contre le mildiou et l'oïdium. Une évaluation multicritères de ces systèmes est effectuée pendant 5 ans au vignoble (réduction d'IFT, présence de résidus, maîtrise des bioagresseurs, atteinte des objectifs de rendement, coûts de production, temps de travail). Les résultats montrent que des systèmes basés essentiellement sur l'efficacité permettent de réduire significativement l'IFT en maintenant des performances agronomiques et économiques satisfaisantes. Néanmoins, compte tenu d'une certaine prise de risque engendrée par ces systèmes, la diffusion des règles de décisions doit impliquer les viticulteurs. En viticulture biologique, il apparaît difficile de réduire les doses de cuivre et de soufre par rapport aux pratiques actuelles en maintenant des performances agronomiques stables. La mise en œuvre de variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium permet de réduire l'IFT de 90 % par rapport aux références régionales.

Mots-clés : Règles de décision, Vigne, Multi-performance, Efficacité de la lutte chimique, Variétés résistantes

Abstract: Experiment and evaluate low pesticides input systems in vineyards

As a reduction of pesticide use in agriculture is needed, this project aims to create and evaluate low pesticides input systems in vineyards. These systems, organic or conventional, are principally based on strategies of efficiency for fungicides (with decision rules, low doses use) or substitution for herbicides (with mechanical weed control or cover crops). Another type of system experiments a fungus resistant variety. A multi-criteria evaluation of these systems is made for 5 years, measuring treatment frequency index (TFI), pesticide residues, yields, pests control, costs, working time. The results show that the systems principally based on efficiency of the use of pesticides maintain satisfying agronomic and economic performances with a reduced TFI. However, the diffusion of these decision rules, which conduct to higher risk of yield loss, should be transmitted to winegrowers by involving them. In the

organic systems experimented, it appeared difficult to reduce copper and sulfur use without impacting agronomic performances. Using fungus resistant varieties leads to a 90% reduction of the TFI compared to regional references.

Keywords: Decision rules, Grapevine, Multi-criteria evaluation, Efficiency of the use of pesticides, Fungus resistant varieties

Introduction

L'agrosystème viticole est confronté à plusieurs bioagresseurs - maladies, ravageurs, virus et bactéries - susceptibles de compromettre la quantité et la qualité de la récolte ainsi que la pérennité des ceps. Plusieurs de ces bioagresseurs sont originaires du continent américain et ont envahi l'Europe à la fin du XIX^{ème} siècle. Pour les maladies, c'est le cas du mildiou (*Plasmopara viticola*), de l'oïdium (*Erysiphe necator*) et du black-rot (*Guignardia bidwelli*) (Galet, 1977). Depuis leur apparition dans les vignobles français et européens, ces maladies sont contrôlées par l'usage de traitements fongicides : d'abord le cuivre et le soufre, complétés dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle par des préparations de synthèse. Dans les vignobles, les fongicides, destinés majoritairement à la maîtrise des trois maladies précitées, représentent encore aujourd'hui plus de 80 % de l'Indice de Fréquence des Traitements (IFT). Les arthropodes ravageurs peuvent provoquer des dégâts directs sur feuilles et grappes mais également être vecteurs de virus ou phytoplasmes pouvant engendrer une mortalité des ceps ; certains ravageurs sont soumis à des plans de traitements obligatoires. Leur gestion par des insecticides représente aujourd'hui 15 % de l'IFT total. Les adventices sont considérées à la fois comme bioagresseurs du fait de la concurrence hydrique et azotée qu'elles peuvent exercer sur la vigne mais également comme des plantes de services. Leur gestion dans les inter-rangs peut être en effet raisonnée de manière à contribuer à l'amélioration de la qualité des sols, limiter l'érosion et incorporer dans le temps et dans l'espace de la diversité végétale intra-parcellaire (Deguine et al., 2016). Les herbicides ne représentent que 4,5 % de l'IFT total en viticulture mais restent encore utilisés sur 80 % des surfaces (Agreste, 2013). Ils sont appliqués principalement pour la maîtrise de l'herbe sous le rang de vigne.

Avec plus de 100 000 ha, le vignoble de Bordeaux constitue le plus grand vignoble en Appellation d'Origine Contrôlée de France. Il présente une diversité importante en termes de densité de plantation (de 3 000 à 10 000 pieds/ha) mais également de valorisation avec des vins dit "génériques" jusqu'à des vins à très forte valeur ajoutée. Situé sur la façade atlantique, le vignoble de Bordeaux est particulièrement sujet aux bio-agresseurs favorisés par la pluie : mildiou, black-rot, pourriture grise. Les autres bio-agresseurs sont également présents mais avec des occurrences plus faibles ou de manière plus localisée. Concernant l'entretien des sols, une grande partie du vignoble est conduit avec des inter-rangs totalement ou partiellement enherbés, et avec un désherbage chimique ou un entretien mécanique sous le rang. Dans le vignoble bordelais, l'IFT total moyen est de 16,9 (Agreste, 2013) avec des IFT fongicides de 12,9 et insecticides de 2. Le recours aux produits de Biocontrôle concerne 10 % des IFT, 11 % des fongicides (il s'agit en grande partie de l'usage du soufre) et 5 % des insecticides.

De nombreuses méthodes de biocontrôle existent pour maîtriser les insectes ravageurs, hormis contre la cicadelle vectrice de la flavescence dorée : confusion sexuelle, insecticides biologiques (Pertot, 2017), lutte biologique par conservation (Rusch et al., 2016). L'utilisation de produits alternatifs à la lutte chimique contre les maladies, notamment le mildiou, fait l'objet d'une recherche active. Il s'agit de microorganismes ou d'extraits naturels ayant une action fongicide et/ou stimulatrice des défenses des plantes (Dagostin, 2011). Néanmoins, peu de solutions ont démontré une efficacité régulière au vignoble (Pertot, 2017) même si de plus en plus de produits sont homologués pour lutter contre les principales maladies de la vigne.

Depuis la disparition des hybrides producteurs directs du vignoble Français, très résistants aux maladies, le recours à la résistance variétale n'est plus utilisé pour la maîtrise des bioagresseurs (à l'exception notable du contrôle du phylloxera par des porte-greffes résistants). Néanmoins, des travaux de sélection ont été conduits en Europe et ont abouti à la création de cépages résistants au mildiou et à l'oïdium possédant des caractéristiques agronomiques et organoleptiques compatibles avec les objectifs de production actuels (Delière, 2017). Certains de ces cépages, français ou étrangers, ont récemment été classés et sont désormais à la disposition des viticulteurs (JOR, 2017).

Pour optimiser la lutte chimique, il existe des Outils d'Aide à la Décision (OAD) basés sur des modèles de développement épidémiques, essentiellement climatiques. Ces modèles permettent d'indiquer un niveau de risque et peuvent intégrer des prévisions météorologiques ; ils sont développés sur des plateformes web permettant ainsi un accès rapide aux viticulteurs ou conseillers. D'autres OAD ont pour objectif d'adapter la dose de fongicide utilisée au volume de végétation à protéger, à la caractéristique de la canopée et au stade de sensibilité des organes (Sigfried et al., 2007 ; Gil et al., 2011). C'est le cas en France de l'outil Optidose® qui propose, en complément du volume de végétation, un abaque de détermination de la dose à appliquer basé également sur le risque parasitaire défini à partir des modèles de prévision de celui-ci (Davy et al., 2010). Cet outil est utilisé couramment par les viticulteurs, notamment dans les réseaux DEPHY FERME.

L'objectif du projet est d'évaluer les possibilités d'une réduction très importante de l'IFT (au moins 50 % par rapport aux références régionales) par la mise en œuvre de systèmes mobilisant essentiellement des leviers d'efficacité de la lutte chimique, complétés par des leviers d'atténuation, et de mesurer les performances agronomiques, environnementales et économiques de ces systèmes. Concernant la gestion du sol, la priorité est de réduire fortement voire supprimer lorsque cela est possible l'usage des herbicides. Le projet a également pour ambition d'explorer un système de culture plus en rupture, basé sur l'intégration du levier de la résistance variétale.

1. Matériels et méthodes

1.1 Conception des prototypes de systèmes de culture

Quatre prototypes de systèmes de culture viticoles ont d'abord été définis par le cadre de contraintes, les objectifs en termes de réduction d'intrants attendue et les objectifs agronomiques (Tableau 1). Les leviers permettant l'atteinte sont ensuite identifiés, puis certains sont définis et formalisés à l'aide de Règles De Décision (RDD) tactiques. Pour chaque règle il est ainsi précisé : (i) l'objectif, (ii) la période d'application, (iii) les indicateurs de pilotage utilisés, (iv) la description.

Les leviers d'efficacité de la lutte chimique mis en œuvre s'appuient sur des travaux récents ou en cours visant à construire des Règles De Décision innovantes d'application de traitements pour réduire l'IFT par rapport aux pratiques actuelles. Il s'agit principalement du prototype Mildium® (Léger et al., 2010 ; Delière et al., 2016) et de l'OAD Decitrait® (Projet CASDAR RT 2015-2018 en cours). Le premier a pour objectif de déterminer, à partir d'indicateurs simples, le nombre et le positionnement des traitements contre le mildiou et l'oïdium. Le second regroupe l'ensemble des informations nécessaires à la mise en œuvre d'une protection économe en intrants au sein d'un OAD afin de proposer au viticulteur une stratégie de protection personnalisée vis-à-vis du mildiou, de l'oïdium et du botrytis.

Concernant la gestion des sols, l'objectif de réduction voire de suppression des herbicides se traduit par la substitution partielle ou totale du désherbage chimique sous les rangs par une alternative mécanique de type travail du sol ou tonte inter-cep, selon le matériel et le savoir-faire existant sur les exploitations. Selon les sites, une gestion plus « extensive » des couverts végétaux naturels a été effectuée afin de limiter le travail du sol et/ou la fréquence des tontes, complétée par l'implantation régulière de couverts temporaires (engrais verts hivernaux).

Tableau 1 : Caractéristiques des types de systèmes définis comme prototypes. (AOP : Appellation d'Origine Protégée, RDD : Règle De Décision).

Caractéristiques		Types de systèmes			
		S1	S2	S3	S4
Cadre de contrainte		AOP Conventionnel	AOP Conventionnel	AOP Agriculture Biologique	Vin de France
Objectifs	Réduction des produits phytosanitaires	50 % de l'IFT	50 % de l'IFT aucun herbicide	Réduction des doses de cuivre et de soufre (Cu métal < 4 kg/ha)	80 % à 100 % de l'IFT aucun herbicide
	Agronomiques	Rendements et qualité conformes aux AOP en tenant compte du potentiel agronomique de la parcelle			Rendements assez élevés (10 t/ha) pour une valorisation en Vin de France
		Concurrence hydrique et azotée maîtrisée. Tolérance de symptômes de bioagresseurs sur feuilles et grappes sans impacts sur quantité et qualité de la récolte			
Leviers	Efficience	Raisonnement des traitements fongicides et insecticides selon RDD innovantes			Raisonnement des traitements Black-rot
	Atténuation	Opérations en vert : ébourgeonnage, effeuillage, gestion des palissages selon RDD Utilisation de couverts végétaux sur les inter-rangs selon RDD			
	Biocontrôle	Traitements soufre – Intégration de produits de biocontrôle dans le programme de traitement		Renforcement des traitements avec préparations naturelles	-
	Lutte Physique	Travail du sol inter-rang et sous le rang selon RDD			
	Contrôle génétique	-	-	-	Variété résistante au mildiou et à l'oïdium

1.2 Dispositifs expérimentaux

Les prototypes des systèmes de culture ainsi conçus ont été mis en œuvre et évalués au vignoble de 2012 à 2016. Deux types de dispositifs ont été implantés :

- Un dispositif randomisé (ResIntBio) en station expérimentale, permettant de comparer 3 systèmes de culture ;
- Un dispositif de type Réseau visant à comparer des systèmes de culture "bas intrants" à la conduite du viticulteur sur la même parcelle dans différents contextes de production.

1.2.1 Dispositif ResIntBio

Le dispositif expérimental ResIntBio d'une superficie totale de 1,8 ha a été planté en 2011, sur un site en AOP Pessac Léognan (Unité Expérimentale Vigne & Vin Bordeaux Grande Ferrade, Villenave d'Ornon), dépourvu de précédent viticole depuis 35 ans. Trois systèmes sont testés (Tableau 2) avec trois répétitions spatiales plantées par système. Chaque parcelle élémentaire est d'une superficie de 0,2 ha, constituée de 20 rangs de 68 ceps, à une densité de 6 580 ceps/ha.

Tableau 2 : Description des systèmes mis en œuvre dans le dispositif ResIntBio. (T : traitement phytosanitaire).

Caractéristiques	RES	INT	BIO
Type de système	S4	S1	S3
Cépage	Artaban	Merlot noir	Merlot noir
Mode de taille	Cordon	Guyot	Guyot
Objectif de rendement	80 hL/ha	58 hL/ha	58 hL/ha
Gestion des maladies et ravageurs	Cépage résistant au mildiou et à l'oïdium 0 à 3 T black-rot	Règle de décision Mildium® 2 à 7 T mildiou - 2 à 5 T oïdium 0 à 2 T insecticides – 0 T botrytis	Règle de décision Mildium® adaptée à l'agriculture biologique (soufre / cuivre)
Gestion du sol	Travail du sol sous le rang – inter-rang travaillé/enherbé	Travail du sol / désherbage chimique sous le rang – inter- rang travaillé/enherbé	Travail du sol sous le rang – inter-rang travaillé/enherbé

1.2.2 Le dispositif Réseau

Le dispositif Réseau a été implanté dans 4 exploitations (Lèves, Montagne, Naujan et St Etienne) et sur 5 parcelles. Le système de culture expérimental est appelé système DEPHY. Un système de référence, dit Témoin, pour lequel le viticulteur prend chacune des décisions est aussi suivi. Les 2 systèmes sont présents sur chacune des parcelles. Ces dernières mesurent au moins 0,25 ha. Ces dispositifs ont été mis en place chez des viticulteurs ou dans des exploitations associées aux lycées viticoles de Gironde.

Tableau 3 : Description des systèmes DEPHY mis en œuvre dans le dispositif Réseau (AOP : Appellation d'Origine Protégée, OAD : Outil d'Aide à la Décision, RDD : Règle De Décision).

Caractéristiques		Lèves Sa	Lèves Mn	Montagne	Naujan	St Etienne
Type de système		S1	S1	S1	S2	S3
Cépage		Sauvignon blanc	Merlot noir	Merlot noir	Merlot noir	Cabernet franc
Commune		Les Lèves-et-Thoumeyragues		Montagne	Saint-Aubin-de-Branne	Saint-Etienne-de-Lisse
Surface système		0,72 ha	0,85 ha	0,5 ha	0,5 ha	0,27 ha
Informations sur la production		AOP Entre Deux Mers, 3 333 pieds/ha, taille guyot	AOP Bordeaux-Bordeaux Supérieur, 3 333 pieds/ha, taille guyot	AOP Montagne-Saint-Emilion, 5 000 pieds/ha, taille guyot	AOP Bordeaux 3 636 pieds/ha, taille guyot	AOP Saint-Emilion, 6 060 pieds/ha, taille guyot
Objectif de rendement		65 hL/ha	55 hL/ha	45 hL/ha	55 hL/ha	45 hL/ha
Gestion des maladies et ravageurs		OAD en phase de test à partir de modèle Potentiel Système, et Optidose adapté ¹	RDD Mildium® - OAD DeciTrait® (spécifique AB pour St-Etienne) aucun traitement botrytis			
Gestion des ravageurs		Respect des traitements obligatoires contre la cicadelle vectrice de la flavescence dorée – Traitements insecticides uniquement si forte pression avérée				
Gestion du sol	Sous le rang	2 herbicides		1 herbicide au printemps + travail du sol	Aucun herbicide, tonte sous le rang	Aucun herbicide, travail du sol
	Interrang	Enherbement naturel - tonte extensive – semis d'engrais verts		Travail du sol - tonte - semis engrais verts	Enherbement naturel - tonte extensive – semis d'engrais verts	

¹ L'IFT doit rester inférieur ou égal à 1 à chaque passage, même quand plusieurs cibles sont visées

1.3 Evaluation des performances

Pour évaluer les performances des prototypes mis en œuvre, plusieurs indicateurs communs aux deux dispositifs ont été utilisés.

La pression pesticide est évaluée à travers le calcul de l'IFT total (Ministère de l'Agriculture, 2016) en prenant comme référence la dose minimale homologuée. Il est comparé à l'IFT de référence régional utilisé dans le cadre du réseau DEPHY, qui est de 18 pour l'Aquitaine (Pillet et al., 2014). Un IFT selon le type de produit ou la cible du traitement a aussi été calculé en appliquant la même méthodologie.

Les performances agronomiques sont évaluées à l'aide d'un échantillonnage d'au moins 3 % des ceps de chaque parcelle (par exemple sur ResIntBio, 40 ceps / parcelle élémentaire). Une estimation visuelle de la présence de mildiou, d'oïdium, de black-rot et de pourriture grise sur feuilles et grappes est réalisée à la récolte. Elle permet de calculer, pour chaque bio-agresseur, une fréquence d'organe attaquée et une intensité d'attaque (% moyen de surface d'organe attaqué), pour estimer l'état sanitaire et le niveau de maîtrise des bio-agresseurs. L'état sanitaire global est estimé, sur feuilles et grappes, par la somme des intensités d'attaque de tous les bio-agresseurs à la récolte. Le poids de grappes présent sur chaque cep à la récolte permet d'évaluer le rendement agronomique de la parcelle. Le calcul du rendement de la parcelle se fait en prenant en compte la surface réellement plantée de la parcelle. Le rendement en hL/ha est calculé en appliquant un coefficient par cépage correspondant à la capacité d'extraction du jus.

La vendange issue de ces ceps est vinifiée et les résidus des substances actives des produits phytosanitaires sont recherchés dans les raisins et dans les vins. Leur dosage se fait selon les méthodes d'analyse suivantes : GC ou LC-MSMS (chromatographie gazeuse ou liquide couplée à un spectromètre de masse en tandem), pour le cuivre analyse soit par ICP-AES (spectrométrie d'émission optique à plasma induit) ou absorption atomique. Seuls les résultats supérieurs aux limites de quantification des méthodes d'analyse validées sont retenus.

Les temps de travaux de toutes les opérations sont enregistrés et les coûts de mise en œuvre des systèmes sont estimés selon les principes de la méthode Operation Based Costing (OBC) (Ugaglia, 2009). Ils sont calculés à partir de données dites « standard » (coût des intrants, de la main d'œuvre et du matériel) et des données de pratiques collectées sur chaque parcelle (type de produit et dose, temps passé, type et temps d'utilisation du matériel). Le coût de chaque opération est ainsi calculé en incluant la main d'œuvre, le matériel et les intrants.

En complément, sur le dispositif ResIntBio, l'impact environnemental des systèmes est estimé à l'aide de la méthode Indigo® Vigne (Thiollet-Scholtus, 2015) permettant d'évaluer l'impact des pesticides appliqués sur plusieurs compartiments de l'environnement : Air, Eaux de profondeur, Eaux de surface, Environnement & auxiliaires. Un indicateur « I-Phy » est calculé pour chaque compartiment, avec une note de 0 (risque maximal) à 10 (risque nul).

1.4 Analyse des données

Les analyses de données ont été réalisées en comparant les variables **IFT, niveau de maladie, atteinte des objectifs de rendement, temps de travail et coûts de production**. Elles ont eu pour objectif d'évaluer si pour ces variables :

- Les systèmes RES, INT et BIO du dispositif ResIntBio présentent des différences significatives les uns par rapport aux autres ;
- Pour le dispositif Réseau, les systèmes DEPHY présentent des différences significatives par rapport aux systèmes Témoin.

Nous avons aussi recherché si des effets de millésime (année) ou du site d'expérimentation pouvaient intervenir dans les résultats obtenus.

Pour chaque variable, nous avons réalisé une analyse de variance, nous donnant une p-value pour chaque facteur testé. On considère une différence significative pour une p-value < 0,05. Pour le dispositif ResIntBio, les données des trois répétitions spatiales de chaque système ont été prises en compte. Pour chaque système, trois valeurs par millésime sont donc disponibles. Une analyse de variance à deux facteurs a été effectuée : Système et Année. Lorsque la p-value pour le facteur Système était inférieure à 0,05 nous avons réalisé un test de Tukey afin de rechercher les systèmes significativement différents deux à deux.

Pour le dispositif Réseau, une analyse de variance à 3 facteurs (site, année, système) a été effectuée. Puis, pour chaque site séparément, l'analyse a été faite à 2 facteurs : Système et Année.

Les données ont été analysées avec le logiciel R (v. 3.4.1) en utilisant l'environnement d'utilisateur RStudio (v.1.1.183).

2. Résultats

2.1 Dispositif ResIntBio

2.1.1 Usage des produits phytosanitaires

Tous les systèmes mis en œuvre permettent d'atteindre les objectifs de réduction, avec des IFT inférieurs à 50 % de la référence régionale DEPHY (Figure 1). Pour les systèmes BIO et INT, les IFT moyens obtenus sont respectivement de 6,1 et de 7,4. L'analyse de variance à deux facteurs (système et année), présente une p-value de $5,3 \times 10^{-6}$ pour le facteur « système ». Le test de Tukey (Tableau 4) a alors mis en avant que l'IFT du système RES est significativement différent des deux autres systèmes (p-values inférieures à 10^{-4}), alors qu'il n'y a pas de différence entre BIO et INT (p-value 0,17).

Les fongicides ciblant le mildiou et l'oïdium représentent 81 % à 100 % de l'IFT total selon les années. Un traitement herbicide a été réalisé en 2012 et 2014, et un traitement insecticide en 2013 (lutte obligatoire contre la flavescence dorée) et 2016 (tordeuses). Les règles de décision n'ont pas cherché à augmenter la part de biocontrôle dans les traitements.

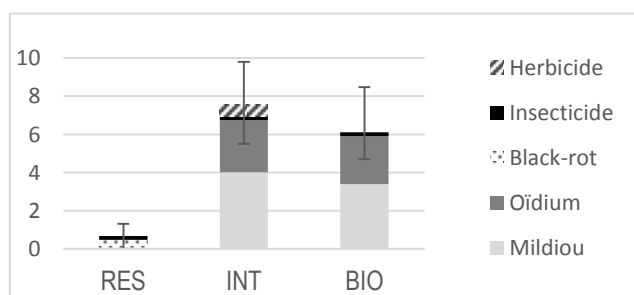


Figure 1 : IFT sur le dispositif ResIntBio de 2012 à 2016 et répartition des cibles des traitements (moyenne 2012-2016). Les minimums et maximums des IFT totaux entre 2012 et 2016 sont représentés. La ligne en pointillés représente 50 % de l'IFT de référence DEPHY régional.

Différence entre systèmes	p-value
RES - BIO	$7,7 \times 10^{-5} **$
RES - INT	$5,8 \times 10^{-6} **$
BIO - INT	0,17

Tableau 4 : p-values obtenues après réalisation d'un test de Tukey comparant les IFT sur ResIntBio. Les valeurs en gras suivies de deux étoiles indiquent les différences significatives (p-value < 0,05).

Le système RES a un IFT de 0 à 1,3 selon les années, significativement inférieur à ceux obtenus avec les systèmes INT et BIO. Entre 2012 et 2014, aucun traitement n'a été appliqué, sauf un traitement

insecticide obligatoire contre la cicadelle de la flavescence dorée en 2013. A partir de 2015, un à deux traitements fongicides ciblant spécifiquement le black-rot ont été appliqués.

Le système RES, qui exploite la résistance variétale, a donc permis d'obtenir un IFT considérablement réduit par rapport à la référence régionale (-96 % en moyenne) ou encore à INT, un système conventionnel bas intrants (-90 % en moyenne).

2.1.2 Performances agronomiques

• Maîtrise des bioagresseurs

Les symptômes sur feuilles et sur grappes ne ressortent pas comme significativement différents entre les systèmes (p-value pour les symptômes sur feuilles de 0,55 et sur grappes de 0,49). Toutefois BIO a la plus grande variabilité de dégâts sur grappes (Figure 2).

Sur grappes, les bio-agresseurs observés sur les systèmes INT et BIO sont essentiellement du mildiou, avec des intensités qui peuvent être très importantes comme en 2016 (jusqu'à 80 % de dégâts sur une répétition de BIO, près de 50 % sur INT). Sur le système RES, les dégâts sur grappes sont majoritairement dus au black rot. Ceux-ci restent faibles (inférieurs à 11 %) sauf en 2014 où le black rot fait jusqu'à 50 % de dégât sur les grappes à la récolte. Une RDD de traitements fongicides a alors été mise en place à partir de 2015, engendrant un ou deux traitements anti-black rot. Les dégâts sur grappe à la récolte, pour les millésimes 2015 et 2016, ont alors été inférieurs à 3 %. Sur feuilles, les dégâts observés sont globalement faibles (inférieurs à 6 % en moyenne). Les maladies présentes sont surtout le mildiou pour les systèmes BIO et RES, et principalement l'oïdium pour INT.

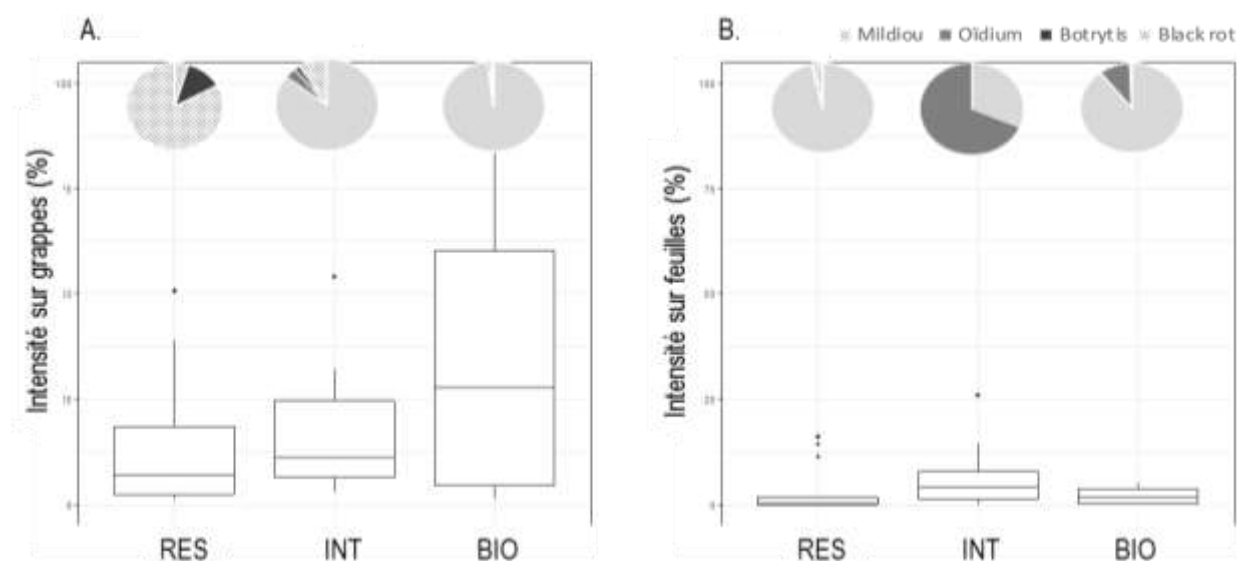


Figure 2 : Intensités de maladies à la récolte entre 2012 et 2016 sur ResIntBio sur grappes (A) et sur feuilles (B). Les répétitions spatiales des trois systèmes sont représentées. Les diagrammes circulaires représentent la répartition des maladies sur 2012-2016.

• Rendements

Les pourcentages d'atteinte de rendement ne ressortent pas comme significativement différents entre les trois systèmes (p-value de 0,17).

Les systèmes INT et RES permettent d'atteindre respectivement plus de 94 % et de 72 % des objectifs de rendement tous les ans. Pour RES, à partir de 2015 où des traitements anti black-rot ont été appliqués, l'objectif de rendement a été atteint. Pour BIO, l'atteinte des objectifs n'est que de 62 % en moyenne, avec un effet année beaucoup plus marqué. Cela peut être relié à des intensités de maladies parfois importantes sur grappes, comme en 2016.

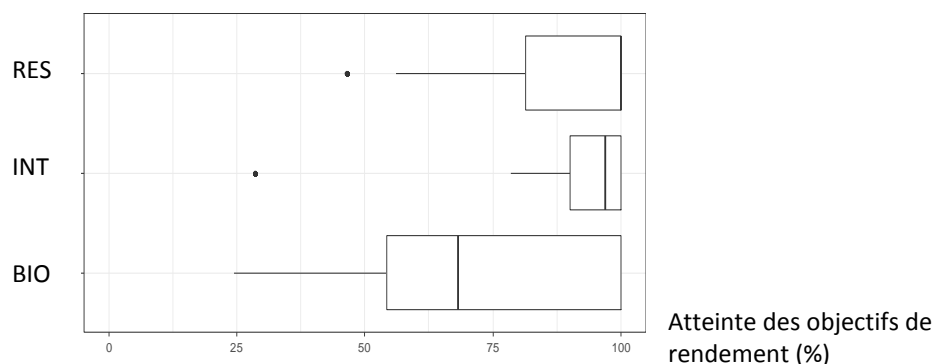


Figure 3 : Pourcentage d'atteinte des objectifs de rendement sur la période 2013-2016 sur ResIntBio. Les répétitions spatiales des 3 systèmes sont représentées. Les rendements supérieurs aux objectifs ont été ramenés à 100%.

• Résidus

Aucun résidu mesuré ne dépasse la LMR (Limite Maximale de Résidus). C'est sur INT que le plus de molécules sont mesurées : 5 à 8 molécules dans les raisins et seulement 3 dans le vin, pour 8 à 10 molécules appliquées (Figure 4). Pour le système BIO, une à deux molécules sont mesurées dans le raisin et le vin, il s'agit du cuivre et du soufre. Enfin, pour le système RES une seule molécule maximum est mesurée dans le raisin et aucune dans le vin.

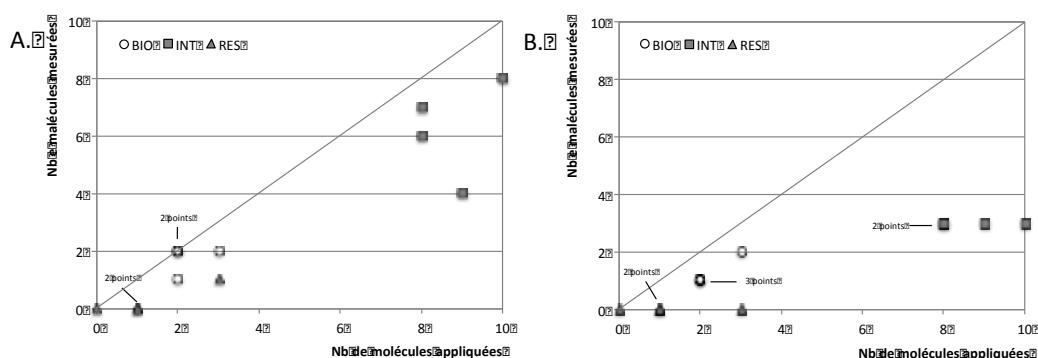


Figure 4 : Nombre de molécules résiduelles mesurées par rapport au nombre de molécules appliquées entre 2012 et 2016 sur raisin (A) et sur vins (B). Chaque point représente un système pour une année. Certains points se superposent.

2.1.3 Performances socio-économiques

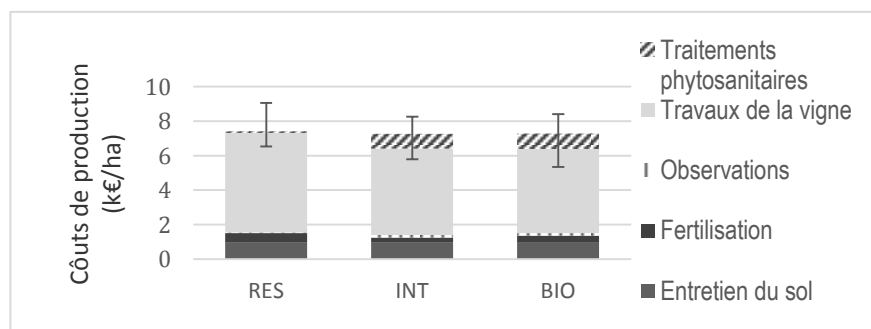


Figure 5 : Coûts de production moyens sur 2012-2016. « Travaux de la vigne » est la somme des travaux de : complantation, taille, prophylaxie, travaux en vert et récolte. Les valeurs minimales et maximales des coûts totaux sont représentées.

Il n'y a pas de différence (p-value 0,94) de coût de mise en œuvre entre les différents systèmes (Figure 5), et ce malgré des coûts de traitement particulièrement faibles sur RES (86 €/ha en moyenne, soit 10 % des coûts enregistrés sur INT et BIO). Ceci est dû à la densité élevée et aux très nombreuses opérations d'entretien de la vigne (taille, épannage, ébourgeonnage, relevage, rognage) dont la plupart sont manuelles, qui représentent 70 % du coût total. Par ailleurs, pour INT et BIO, les coûts sont équivalents aux coûts standards aux mêmes densités (Roby et al., 2008). Il n'y a pas non plus de différence significative de temps de travail entre les trois systèmes (en moyenne 336 h/ha pour INT, 340 h/ha pour BIO, et 357 h/ha pour RES).

2.1.4 Analyse multicritères

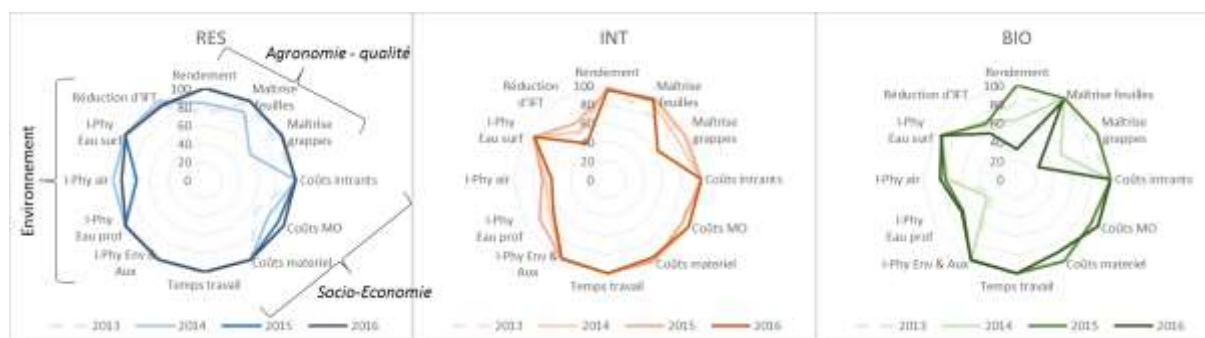


Figure 6 : Analyse multicritères des performances des systèmes RES, INT et BIO de 2013 à 2016. Performances moyennes sur les 3 répétitions de chaque système. Les indicateurs I-PHY calculés de 1 à 10 ont été multipliés par 10. « Maîtrise feuille » et « Maîtrise grappe » représentent respectivement le pourcentage total de surface de feuilles et de grappes saines à la récolte. « Réduction d'IFT » représente la réduction d'IFT par rapport à la référence régionale. « Rendement » représente le pourcentage d'atteinte de l'objectif de rendement. Les indicateurs socio-économiques (Temps travail, Coûts intrants, Coûts MO (main d'œuvre) et Coûts matériel) sont calculés en % du coût de référence à la même densité de plantation (Roby et al., 2008). Si le coût (ou temps de travail) est inférieur ou égal à la référence, l'indicateur est ramené à « 100% » (l'objectif de ne pas dépasser les coûts / temps de travail standards est atteint).

RES présente la meilleure multi-performance (Figure 6) :

- Environnementale avec des IFT réduits de plus de 90 % par rapport à l'IFT de référence régional (contre 50 % pour INT et BIO) et des indicateurs I-Phy entre 7 et 10, supérieurs à INT et BIO (notamment pour I-PHY Eau profondeur sur BIO, qui présente les valeurs les plus basses à cause de l'usage du cuivre) ;
- Agronomique avec des dégâts très faibles de bioagresseurs et des objectifs de rendement majoritairement atteints² ;
- Socio-économique (pas ou peu de surplus de coûts, ni de temps de travail par rapport aux références).

La mise en place d'un ou deux traitements en 2015 et 2016 n'impacte pas les performances environnementales ni économiques.

Les performances d'INT et BIO restent cependant satisfaisantes : les indicateurs I-PHY Eau de surface et Environnement et auxiliaires sont toujours supérieurs à 9 ; et les deux systèmes ne présentent pas de coûts supérieurs aux références. Toutefois, alors que INT présente de bonnes performances agronomiques, avec des dégâts parasitaires limités (sauf en 2016) et des rendements à 80 %, BIO a

² Les performances agronomiques plus faibles des années 2013 et 2014 s'expliquent par la présence de black-rot sur grappes, contre lequel aucun traitement fongicide n'était encore utilisé. En 2013 un éclaircissage des grappes atteintes de black rot a été effectué, ce qui a eu un impact sur le rendement.

des performances agronomiques plus variables avec des dégâts parfois importants dus à une mauvaise maîtrise des bio-agresseurs sur les grappes (2016, 2014).

2.2 Dispositif Réseau

L'analyse de variance à trois facteurs (Système, Site, Année) montre que les IFT totaux sont significativement différents entre les systèmes DEPHY et Témoin (Tableau 5). Dans le détail, les différences se jouent sur les IFT associés aux traitements anti-fongiques et herbicides, pas sur les IFT insecticide et biocontrôle. Ceux-ci n'ont en effet généralement pas fait l'objet de règles de décision. Les p-values obtenues laissent supposer qu'il n'y a pas de différence entre les systèmes DEPHY et Témoin pour les intensités de maladies, l'atteinte des objectifs de rendement, le coût de production ni le temps de travail. L'effet Site est significatif pour la plupart des variables (sauf pour l'IFT oïdium, l'IFT insecticide et l'intensité de maladies sur grappes), les p-values obtenues étant inférieures à 0,05. Cela peut s'expliquer par les importantes différences de gestion selon les sites : quantités de produits appliqués par les viticulteurs, acceptabilité de symptômes ou encore organisation du travail. Pour le facteur Année, il semble impacter seulement le pourcentage d'atteinte du rendement (p-value inférieure à 0,05). Les rendements ont en effet beaucoup varié selon les années : par exemple ils ont été excellents en 2016 alors qu'à *contrario*, 2013 a été difficile suite à des aléas climatiques et certaines exploitations n'ont pas eu de rendement. Les autres variables peuvent parfois être impactées par le millésime (une année pluvieuse nécessite plus de traitements et l'IFT augmente donc, le temps de travail peut varier selon les travaux à réaliser ...) mais cela ne ressort pas significatif.

Tableau 5 : p-values obtenues après réalisation d'une ANOVA à 3 facteurs (Système, Site et Année) réalisée sur l'ensemble des données du dispositif Réseau. Une ANOVA par variable a été réalisée. Les valeurs en gras suivies de deux étoiles permettent d'indiquer les différences considérées significatives (p-value <0,05).

Variable	Système	Site	Année
IFT Total	$3 \times 10^{-10**}$	$2,9 \times 10^{-2**}$	0,67
IFT Mildiou	$6,5 \times 10^{-9**}$	$5,5 \times 10^{-3**}$	0,37
IFT Oïdium	$5,6 \times 10^{-9**}$	0,22	0,66
IFT Botrytis	$8,1 \times 10^{-7**}$	$8,5 \times 10^{-4**}$	0,56
IFT Insecticide	0,86	$7,3 \times 10^{-2}$	0,27
IFT Herbicide	$1,2 \times 10^{-5**}$	$6,8 \times 10^{-9**}$	0,82
IFT Biocontrôle	0,47	$8,7 \times 10^{-3**}$	$5,4 \times 10^{-2}$
Intensité maladies sur feuilles	0,91	$1,6 \times 10^{-5**}$	0,67
Intensité maladies sur grappes	0,15	0,19	$6,9 \times 10^{-2}$
Atteinte du rendement	0,15	$2,7 \times 10^{-2**}$	$1,2 \times 10^{-2**}$
Coût de production total	$8,9 \times 10^{-2}$	$4,6 \times 10^{-10**}$	0,43
Temps de travail	0,2	$2,4 \times 10^{-12**}$	0,54

2.2.1 Usage des produits phytosanitaires

A l'exception de Saint-Etienne, une différence d'IFT entre DEPHY et Témoin est observée pour tous les sites (p-values inférieures à 10^{-3}) (Figure 7). En moyenne, les IFT DEPHY sont ainsi près de 50 % inférieurs aux Témoin. A Saint-Etienne, site en agriculture biologique, le viticulteur a déjà adopté des pratiques économes en produits phytosanitaires. Son IFT est de 10,3 en moyenne sur 2012-2016, soit 42 % de moins que la référence DEPHY régionale.

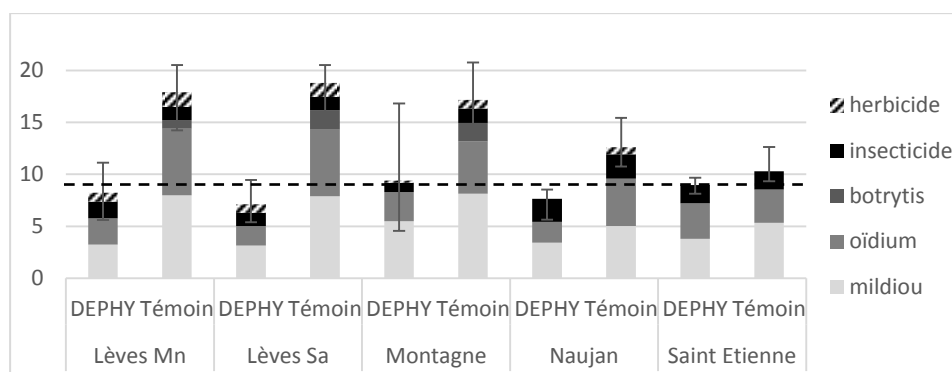


Figure 7 : Moyenne des IFT de 2012 à 2016 et répartition selon les cibles des traitements. Les minimums et maximums des IFT totaux entre 2012 et 2016 sont représentés. La ligne en pointillés représente 50 % de l'IFT de référence régional (objectif d'IFT à atteindre)

L'IFT oïdium est significativement plus bas sur tous les systèmes DEPHY par rapport aux Témoin. Pour le mildiou, les sites de Montagne et Naujan ne présentent pas de différence significative. Par ailleurs aucun anti-botrytis n'a été appliqué sur les systèmes DEPHY alors qu'il y en a eu sur quelques Témoin (à Lèves Mn, Lèves Sa et Montagne). Les IFT botrytis sont donc logiquement significativement différents entre DEPHY et Témoin pour ces trois exploitations. Concernant les traitements insecticides, il n'y a jamais de différence significative entre les Témoin et DEPHY. Cela est dû aux traitements du plan de lutte obligatoire contre les cicadelles vectrices de la flavescence dorée, appliqués en pleine dose quelle que soit la modalité. Ils représentent la majorité des insecticides appliqués. Quant aux herbicides, hormis pour l'exploitation Saint-Etienne menée en agriculture biologique, tous les systèmes DEPHY ont un niveau d'IFT plus bas que les Témoin. Cette différence est significative sur tous les sites sauf à Montagne, où il a été décidé de recourir à un herbicide sur le système DEPHY à partir de 2015. A noter que l'utilisation d'herbicide diffère selon les sites (Tableau 5), ce qui traduit le fonctionnement de chaque exploitation.

Les IFT DEPHY sont donc globalement plus faibles que les IFT Témoin et inférieures en moyenne à 50 % de la référence régionale, ce qui était l'objectif. Les pratiques de chaque exploitant ou encore l'effet millésime font varier les IFT entre les Témoin et DEPHY.

2.2.2 Performances agronomiques

- Maîtrise des bioagresseurs

Pour les maladies sur feuilles (Figure 8-A), il ne semble pas y avoir de différence significative entre les systèmes DEPHY et Témoin (p-value 0,91). L'effet site (Tableau 5) s'explique par le fait que Naujan est plus attaqué que les autres sites. Le seuil d'acceptabilité de symptômes de ce viticulteur est élevé, ce qui a permis de limiter certains traitements mais occasionne une augmentation des symptômes. Pour les maladies sur grappes (Figure 8-B), il n'y a pas de différence de dégâts significative entre les parcelles DEPHY et Témoin (p-value 0,15). Il ne semble pas non plus y en avoir dans la répartition des maladies : dans les deux cas, c'est le botrytis qui cause la majorité des dégâts, suivi du mildiou plus ponctuellement.

Toutes maladies confondues, la somme des dégâts observés sur grappes à la récolte est inférieure à 5 % (Figure 8-B) hormis pour Montagne sur deux années et Saint-Etienne pour une année. Pour Montagne, ce seuil est dépassé sur DEPHY comme sur le Témoin en 2013 et 2014 : il y a eu respectivement de grosses attaques de botrytis et de black rot. Les deux systèmes du site Saint-Etienne ont quant à eux subi une forte attaque de botrytis en 2013.

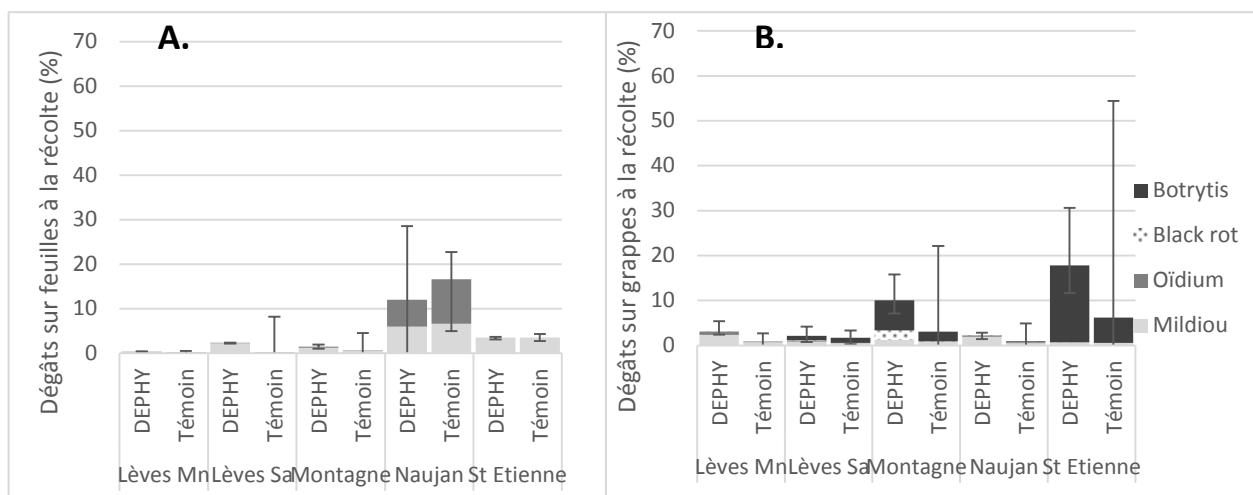


Figure 8 : Intensités moyennes sur 2012-2016 des maladies à la récolte (en %) sur feuilles (A) et sur grappes (B). Les valeurs minimales et maximales des intensités totales sur 2012-2016 sont représentées.

• Rendements

Même si l'analyse de variance ne fait pas ressortir de différence entre DEPHY et Témoin sur l'atteinte des objectifs de rendement (Tableau 5), il semble y avoir plus de variabilité entre les millésimes pour les parcelles DEPHY que pour les Témoin (Figure 9). Le site de Naujan présente les moins bons rendements en moyenne, à cause d'un épisode de grêle en 2013 qui a détruit la totalité de la récolte et à la mise en place en 2012 d'un enherbement total qui a engendré un effet trop concurrentiel pour la vigne, notamment en azote. L'objectif de rendement n'y est atteint qu'en 2016. Notons le site de Saint-Etienne-de-Lisse où le rendement a été atteint sur l'ensemble de la période d'expérimentation.

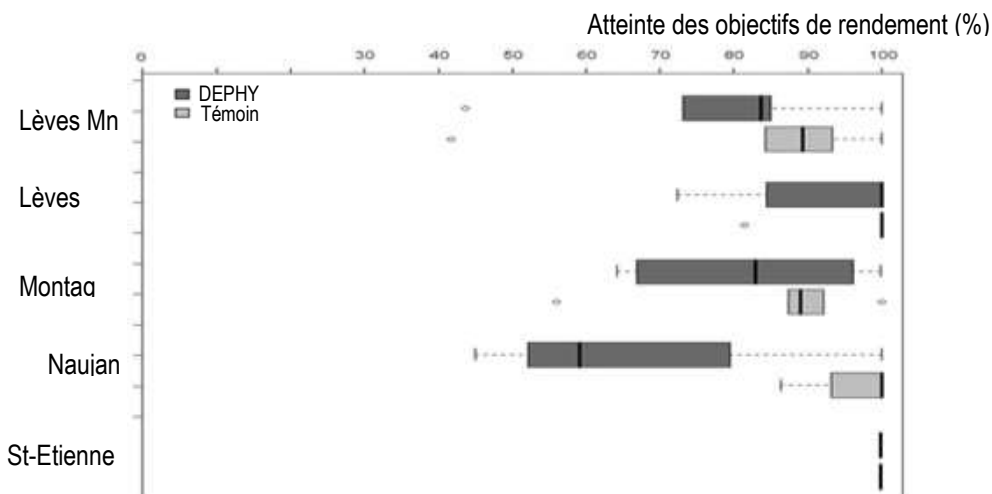


Figure 9 : Pourcentage d'atteinte des objectifs de rendement en moyenne sur 2012-2016, par site et par système. Les rendements supérieurs aux objectifs ont été ramenés à 100%. Pour le site de Naujan, seules les années 2014 à 2016 sont représentées

• Résidus

Aucun résidu mesuré ne dépasse la LMR. Globalement, il est appliqué un nombre plus élevé de molécules sur les modalités Témoin (9 en moyenne sur DEPHY contre 14 sur les Témoin) (Figure 10). Des molécules résiduelles sont systématiquement détectées dans les raisins comme dans les vins ; cependant les vins issus des systèmes DEPHY en comptent 1,6 fois moins que les Témoin. A noter que de manière générale, deux fois moins de molécules sont détectées dans le vin que sur les raisins ;

seulement 25 % des molécules appliquées se retrouvent dans le vin, pour DEPHY comme pour les modalités Témoin.

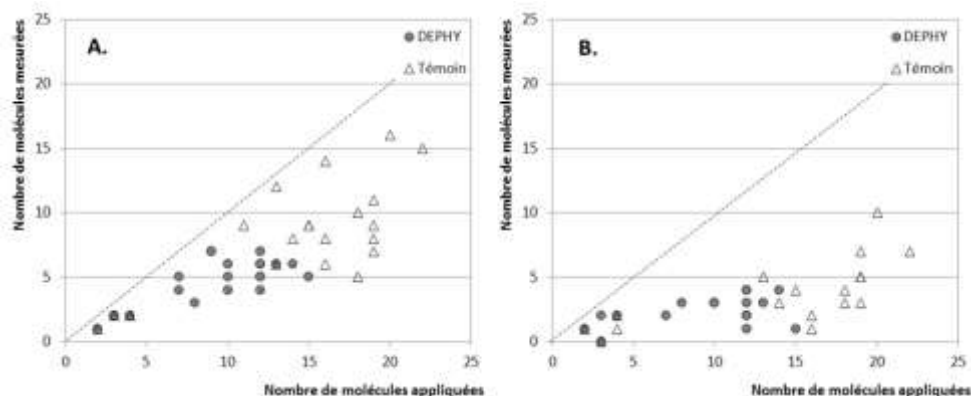


Figure 10 : Nombre de molécules résiduelles mesurées par rapport au nombre de molécules appliquées entre 2012 et 2016 sur raisin (A) et sur vins (B). Chaque point représente un site- année, pour un système donné (DEPHY ou Témoin).

2.2.3 Performances socio-économiques

Concernant le coût total de production (Figure 11), l'analyse de variance ne fait ressortir de différences significatives entre DEPHY et Témoin pour aucun site sauf à Montagne (p-value de 0,022). Sur ce site le système DEPHY a des coûts en moyenne 12 % inférieurs au Témoin. Cela s'explique surtout par le coût des traitements phytosanitaires, deux fois moins élevé sur DEPHY: il y a une économie liée au coût de produits mais aussi au nombre de passages (4 passages de moins en moyenne). Par contre sur le site de Naujan par exemple, le viticulteur n'a réalisé en moyenne qu'un passage de plus sur sa parcelle par rapport au système DEPHY et la différence d'IFT est essentiellement due aux doses appliquées ce qui change peu les coûts.

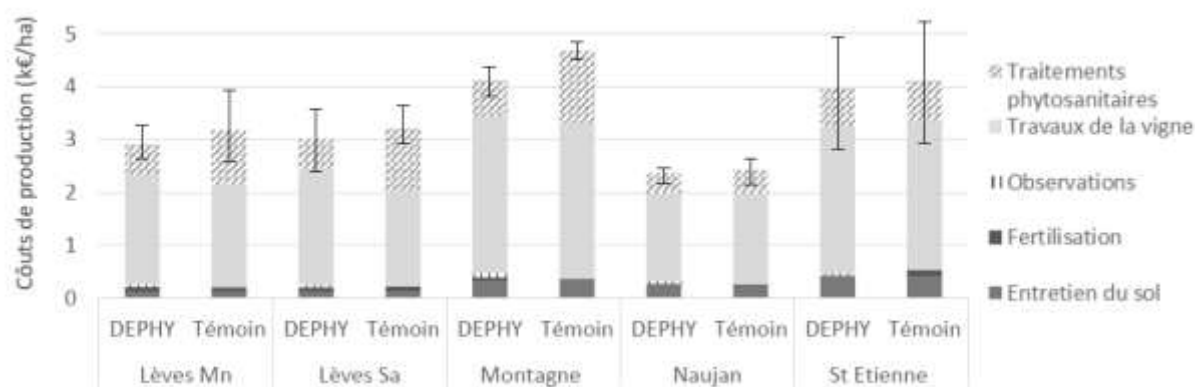


Figure 11 : Coûts de production moyens sur 2012-2016. « Travaux de la vigne » est la somme des travaux de : complantation, taille, prophylaxie, travaux en vert et récolte. Les minimums et maximums des coûts totaux sont représentés.

A noter que sur le site de Lèves Sa, le coût « travaux de la vigne » est en moyenne 22 % plus élevé sur DEPHY que sur le Témoin, avec en 2016 une différence de coût qui vaut même 86 %. Cela peut s'expliquer par la pratique du non écimage et non rognage sur DEPHY, qui entraîne des opérations manuelles d'entretien de la vigne très chronophages.

Par ailleurs, le coût relatif aux temps d'observation des parcelles (1 passage par semaine) s'élève à 1,5 % en moyenne sur DEPHY ce qui est minime vis-à-vis des autres coûts. Par exemple travaux de la vigne et traitements phytosanitaires représentent respectivement 67,8 % et 17,7 % des coûts totaux. Concernant le temps de travail, non présenté, il n'y a pas de différences significatives entre DEPHY et Témoin (en analysant site par site ou tous sites confondus).

3. Discussion

Les systèmes testés dans le projet, combinant des leviers d'atténuation, d'efficience (maladies et ravageurs) et de substitution (adventices) permettent de réduire fortement l'IFT et de supprimer les herbicides. Ils reposent néanmoins toujours sur l'usage des produits phytosanitaires et les résultats obtenus montrent qu'il semble difficile, à l'aide de ces leviers, de réduire l'IFT en deçà de 5 à 7.

En viticulture conventionnelle, ces systèmes basés en grande partie sur des règles de décision innovantes de gestion des traitements phytosanitaires (fongicides, insecticides) permettent une réduction de l'IFT au moins égale à 50 % de la référence régionale DEPHY. Sur le dispositif Réseau, l'IFT total des systèmes DEPHY est toujours inférieur à celui des systèmes de référence. La variabilité de l'IFT entre les parcelles DEPHY est également plus faible que celle observée sur les parcelles de référence. Cette réduction de l'IFT s'accompagne également d'une réduction du nombre de résidus mesurés dans les raisins et dans les vins. Les résultats obtenus sur le dispositif ResIntBio confirment cette tendance avec un IFT moyen inférieure à 50 % de l'IFT de référence régionale.

Les performances agronomiques (rendement, maîtrise sanitaire, qualité des vins) de ces systèmes sont en moyenne satisfaisantes, conformes aux objectifs de production. Néanmoins on observe sur certains sites, selon les années, une occurrence plus importante des bio-agresseurs majeurs (maladies fongiques), notamment en termes d'organes attaqués et d'intensité d'attaque. C'est le cas du millésime 2016 sur le système INT du dispositif ResIntBio où une forte pression parasitaire de mildiou associée à une mauvaise maîtrise des adventices sous le rang a entraîné une intensité d'attaques sur grappes de près de 40 % à la récolte. C'est aussi le cas pour le millésime 2013 pour Montagne et Saint-Etienne avec une présence de botrytis ou pour le millésime 2014 avec une attaque de black rot à Montagne. Ponctuellement, cette présence peut entraîner des dégâts affectant le rendement de manière significative, particulièrement si elle est combinée avec d'autres aléas (coulture, stress hydrique estival, etc.).

En viticulture biologique, les IFT sont globalement inférieurs à ceux enregistrés sur les systèmes conventionnels. Cela est dû, aux types de fongicides appliqués (cuivre et soufre majoritairement) et à leurs doses d'emploi, inférieures aux doses homologuées. Le système DEPHY du dispositif Réseau mené en agriculture biologique (Saint-Etienne) présente des IFT faibles mais pas significativement inférieurs à ceux enregistrés sur la parcelle témoin (IFT de 9 sur DEPHY et de 10,3 sur Témoin). La quantité moyenne de cuivre appliquée est de 3,7 kg/ha contre 5,1 kg/ha sur le Témoin et est inférieure aux références régionales (5,6 kg/ha selon une enquête menée par l'ITAB entre 2000 et 2009). Il n'a pas été possible de se limiter à 4 kg de cuivre/ha tous les ans malgré les règles de décision mises en œuvre (4,5 kg/ha appliqués en 2016). Sur le système BIO du dispositif ResIntBio, l'objectif était de réduire significativement le nombre d'applications et les quantités de cuivre et de soufre appliquées. Ainsi de 2012 à 2016, entre 1,8 kg et 3,5 kg de cuivre par hectare ont été appliqués chaque année, pour un IFT moyen de 6,1, ce qui est inférieur aux moyennes régionales. Le système n'a cependant pas toujours permis une maîtrise satisfaisante des maladies, notamment du mildiou sur les grappes les années à forte pression (2014, 2016), et a entraîné des pertes de rendement significatives. Ces résultats tendent à montrer qu'il serait difficile de réduire encore significativement l'IFT actuel en viticulture biologique, et notamment la quantité totale de cuivre appliquée, en mobilisant uniquement des leviers d'efficience.

Les résultats montrent que la conduite de ces systèmes n'entraîne pas d'augmentation significative des temps de travaux ou des coûts de mise en œuvre. Ces systèmes intègrent des coûts complémentaires comme les observations à la parcelle ou des substitutions d'opérations mécanisées par des interventions manuelles (comme l'épamprage manuel ou la substitution du rognage par le rabattage des rameaux sur le rang sur le site Lèves Sa). Ces opérations peuvent augmenter le temps de travail mais les coûts supplémentaires sont la plupart du temps toujours compensés par les économies réalisées sur les postes de protection phytosanitaire. Si ces changements de pratiques ne modifient pas en profondeur le système de culture à l'échelle de la parcelle ils peuvent néanmoins entraîner des conséquences plus importantes à l'échelle de l'exploitation. En effet, ces opérations nécessitent le plus souvent une modification des compétences à mettre en œuvre (observation, détection de symptômes) et surtout une modification des périodes de forte charge entraînant une réorganisation importante du travail. C'est le cas par exemple à Naujan où la substitution des herbicides par la tonte sous le rang et l'implantation d'engrais verts entre les rangs nécessitent plus de passages en saison pour la maîtrise des adventices sous le rang et des interventions supplémentaires après la vendange pour préparer le lit de semences (travail du sol) et semer les couverts. Un autre élément à prendre en compte concernant le transfert et la diffusion de ces systèmes est celui du changement d'échelle. Certaines informations utilisées dans les règles de décision sont collectées à l'échelle de la parcelle alors que les décisions seront prises à l'échelle de l'exploitation. Se pose donc la question de l'échantillonnage des observations, de leur représentativité à l'échelle de l'exploitation et plus globalement de la gestion des règles de décision à cette échelle (Delière, 2013).

La conduite des systèmes de culture au sein de ce projet a montré que les règles de décision appliquées entraînaient une certaine prise de risque au niveau de la gestion des bio-agresseurs, pouvant entraîner des pertes ponctuelles de rendement. Cette prise de risque n'est aujourd'hui pas acceptable par l'ensemble des viticulteurs particulièrement dans les situations où le potentiel de rendement est déjà dégradé (déperissements, accidents climatiques, etc.). Ces règles de décision ne peuvent donc être transférées "en l'état" auprès du plus grand nombre et nécessitent d'être adaptées aux contraintes de l'exploitation afin de sécuriser les performances agronomiques. Cette adaptation peut engendrer une certaine "dégradation" des règles (modification des seuils d'intervention, du nombre d'applications) entraînant une réduction plus faible de l'IFT. Ce travail, qui doit être conduit dans le cadre d'une co-construction agriculteur-conseiller (Lamine, 2009), nécessite une très bonne explicitation des principes et du fonctionnement de ces règles de décision. Les réseaux DEPHY FERME représentent des outils pertinents pour réaliser cet accompagnement ainsi que l'évaluation des règles définies (Boulfray-Mallet, 2015).

Une autre voie à explorer pour sécuriser ces règles pourrait être d'y intégrer des produits de biocontrôle. Aujourd'hui des solutions de biocontrôle autres que le soufre ou la confusion sexuelle sont disponibles, avec une législation en leur faveur. En 2017, 4 nouveaux produits homologués sur 12 ont été inscrits sur la liste des produits de biocontrôle. Parmi ces produits, on retrouve plusieurs fongicides. Ils pourraient ainsi compléter l'efficacité des produits conventionnels voire se substituer à eux dans des situations de pressions parasitaires plus faibles. Les règles de décision d'intégration de ces solutions de biocontrôle restent à construire et font l'objet de projets en cours ou démarrant tant au niveau national que régional.

Pour tendre vers une réduction encore plus significative de l'usage des produits phytosanitaires, le projet a montré pour la première fois en viticulture, la possibilité de recourir au levier de la résistance variétale. En effet, avec seulement 2 applications de fongicides maximum par an, le système RES a eu non seulement les meilleures performances environnementales, mais également une bonne régularité des performances agronomiques (rendement, maîtrise sanitaire). L'évaluation économique est cependant encore difficile à réaliser dans cette étude, car seuls les coûts de production ont été pris en compte, compte-tenu de la faible potentialité de valorisation actuelle des raisins (Vin de France). Néanmoins, les potentialités d'intégration de ces nouvelles variétés dans les AOP font actuellement

l'objet de discussions au niveau français et européen. D'un point de vue plus général, le déploiement de ces systèmes basés sur l'usage de la résistance variétale soulève encore de nombreux questionnements notamment concernant la durabilité de ces résistances et les leviers complémentaires à mobiliser pour atteindre les objectifs de production (Delière, 2017).

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des viticulteurs ainsi que l'Unité Expérimentale Vigne Bordeaux 1442, INRA, F-33883 Villenave d'Ornon, pour leur contribution à la mise en place et au suivi des expérimentations, mais aussi l'ensemble des collaborateurs des unités engagées dans le projet ayant participé aux travaux dans les parcelles et aux réflexions sur les systèmes expérimentés.

Références bibliographiques

- Agreste, Enquête sur les pratiques culturales en viticulture 2013.
- Boulfray-Mallet A., 2015. Fiche Trajectoire DEPHY Ecophyto. "Un coopérateur expérimentateur". http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/VITI_CENTRE_MALLET_TRAJ_2014.pdf
- Dagostin S., Scärer H., Pertot I., Tamm L., 2011. Are there alternatives to copper for controlling grapevine downy mildew in organic viticulture ? *Crop Protection*, 30:7, 776-788.
- Davy A., Raynal M., Vergnes M., Remenant S., Michez A., Claverie M., Codis S., Bernard FM., Colombier L., Davidou L., Girard M., Mornet L., Perraud J-P., Rives C., Vergnes D., 2010. Trials results of the « Optidose » method using an adjustment of the pesticide dose for control of downy and powdery mildew. *Proceedings of the 6th International Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildew, Bordeaux*, 123-1250
- Deguine J.P., Gloanec C., Laurent P., Ratnadass A., Aubertot J-N., 2016. *Protection agroécologique des cultures*, Editions Quae, 288 p.
- Delière L., Schneider C., Audeguin L., Le Cunff, L., Cailliatte R., Prado E., Onimus C., Guimier G., Fabre F., Delmotte F., 2017. Cépages résistants : la vigne contre-attaque !. *Phytoma – La santé des végétaux* 708, 34-37
- Delière L., Cartolaro P., Léger B., Naud O., 2015. Field evaluation of an expertise-based formal decision system for fungicide management of grapevine downy and powdery mildews. *Pest. Manag. Sci.*, 71: 1247–1257.
- Delière L., Cartolaro P., Gtoutouly JP., Barbier, J-M., Bonicel L., Forget D., Leroy P., Naud O., Alonso-Ugaglia A., Del'homme B., Davy A., Davidou L., Guisset M., Guillois F., 2013. Conception et transfert de systèmes décisionnels pour la réduction des traitements en viticulture : le projet SyDéRéT. *Innovations Agronomiques* 28 (2013), 155-168
- Galet P., 1977. *Maladies et parasites de la vigne. Tome 1*. Editions Lavoisier, 872 p.
- Gil E., Llorens J., Landers A., Llop J., Giralt L., 2011. Field validation of DOSAVINA, a decision support system to determine the optimal volume rate for pesticide application in vineyards. *European journal of agronomy*. Vol. 35, Issue 1, 33-46.
- Lamine C., Meynard J-M., Perrot N., Bellon S., 2009. Analyse des formes de transition vers des agricultures plus écologiques: Les cas de l'Agriculture Biologique et de la Protection Intégrée. *Innovations agronomiques* 4, 483-493
- Léger B., Naud O., Bellon-Maurel V., Clerjeau M., Delière L., Cartolaro P., Delbac L., 2010. GrapeMilDeWS: A formally designed integrated pest management decision process against grapevine powdery and downy mildews In *Decision Support Systems in Agriculture, Food and the Environment: Trends, Applications and Advances*. Eds IGI global. Chap 12 ; 247-269.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2016. Guide méthodologique : Indicateur de fréquence de traitements phytopharmaceutiques (IFT) Version 2. 74 p.
- Pertot I., Caffi T., Rossi V., Mugnai M., Hoffmann C., Grando M-S., Gary C., Lafond D., Duso C, Thiery

T., Mazzone V., Anfora G., 2017. A critical review of plant protection tools for reducing pesticide use on grapevine and new perspectives for the implementation of IPM in viticulture. *Crop Protection* 97, 70-84.

Pillet E. (Coord.), 2014. Réseau DEPHY-Ferme, synthèse des premiers résultats à l'échelle nationale. http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/201411_Synthese_Resultats_DEPHY_cle438e79.pdf

Raynal M., Debord C., Guittard S., Vergnes M., 2010. EPIcure a geographic information decision support system risk assessment of downy and powdery mildew epidemics in Bordeaux vineyards. *Proceedings of the 6th International Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildew, Bordeaux*, 144-146.

Roby J.P., Van Leeuwen C., Marguerit E., 2008. Références technico-économiques de systèmes de conduite de la vigne.

Rusch A., Sentenac G., Thiery D., 2016b. Biodiversité fonctionnelle en viticulture et services de régulation naturelle des ravageurs : quels leviers d'action. In: Deguine J.P., Gloanec C., Laurent P., Ratnadas A., Aubertot J.N. (Eds.), *Protection agroécologique des cultures*. Quae.com, pp. 162-166.

Siegfried W., Viret O., Huber B., Wohlhauser R., 2007. Dosage of plant protection products adapted to leaf area index in viticulture. *Crop Prot* 26(2):73-82.

Thiollet-Scholtus M., Bockstaller C., 2015. Using indicators to assess the environmental impacts of wine growing activity : the INDIGO® method. *Europ. J. Agronomy* 62, 13-25

Ugaglia A., 2009. Pratiques de comptabilité analytique en viticulture : des coûts de production au coût des pratiques environnementales, *La Revue du Financier*, n°176, mars-avril 2

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)