



## **DEPHY EXPE EcoViti Arc Méditerranéen : synthèse des résultats 2012-2017**

Raphael Metral, Christel Chevrier, Nadine Bals, Yvan Bouisson, Valérie Didier, Clément Enard, Nicolas Fremond, Pauline Garin, Thomas Gautier, Bernard Genevet, et al.

### **► To cite this version:**

Raphael Metral, Christel Chevrier, Nadine Bals, Yvan Bouisson, Valérie Didier, et al.. DEPHY EXPE EcoViti Arc Méditerranéen : synthèse des résultats 2012-2017. Innovations Agronomiques, 2018, 70, pp.3-20. <10.15454/ukkobw>. <hal-02016727>

**HAL Id: hal-02016727**

**<https://hal.science/hal-02016727v1>**

Submitted on 12 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

## **DEPHY EXPE EcoViti Arc Méditerranéen : synthèse des résultats 2012-2017**

**Métral R.<sup>1</sup>, Chevrier C.<sup>2</sup>, Bals N.<sup>3</sup>, Bouisson Y.<sup>4</sup>, Didier V.<sup>5</sup>, Enard C.<sup>4</sup>, Fremond N.<sup>6</sup>, Garin P.<sup>7</sup>, Gautier T.<sup>6</sup>, Genevet B.<sup>8</sup>, Goma-Fortin N.<sup>9</sup>, Guillois F.<sup>10</sup>, Ohl B.<sup>4</sup>, Thiery J.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Montpellier SupAgro, UMR System, F-34060 Montpellier

<sup>2</sup> Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie

<sup>3</sup> Association pour le Développement et la Valorisation de l'Agroenvironnement Héraultais

<sup>4</sup> INRA, UMR System, F-34060 Montpellier

<sup>5</sup> Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales

<sup>6</sup> Chambre d'Agriculture de la Drôme

<sup>7</sup> Chambre d'Agriculture de Vaucluse

<sup>8</sup> Chambre d'Agriculture du Gard

<sup>9</sup> Chambre d'Agriculture de l'Hérault

<sup>10</sup> Chambre d'Agriculture de l'Aude

**Correspondance** : raphael.metral@supagro.fr

### **Résumé**

Les six années d'essais du réseau DEPHY EXPE Arc méditerranéen ont permis de concevoir, expérimenter et évaluer deux prototypes innovants de systèmes viticoles à bas intrants phytosanitaires. Le premier IPM-50%, basé sur la protection intégrée et le second InnoBio, mettant en avant le biocontrôle, ont été testés sur sept sites appartenant aux groupes des Chambres d'Agriculture et de l'INRA/SupAgro de Montpellier. Des règles de décision innovantes ont été construites pour le contrôle du mildiou et de l'oïdium (bioagresseurs principaux de la vigne responsables de 75% des IFT). Les résultats montrent qu'il est possible de réduire de 37% l'IFT hors biocontrôle pour la stratégie IPM-50% et de 60% avec InnoBio. Les performances des systèmes ont également été évaluées sur d'autres critères agronomiques et socio-économiques. La majorité des systèmes IPM-50% montrent une durabilité satisfaisante tous les ans. Pour la stratégie InnoBio, bien que la baisse d'IFT corresponde aux attentes du plan Ecophyto, les objectifs de production et de rentabilité ne sont pas atteints chaque année, et nécessitent des réajustements pour valider des résultats prometteurs utilisant les leviers de biocontrôle.

**Mots-clés** : Viticulture, Expérimentation système, Règles de décision, Réduction des pesticides

### **Abstract: DEPHY EXPE EcoViti French mediterranean belt project: synthesis of 2012-2017 results**

During the six years of experiments, the DEPHY EXPE Mediterranean belt network has designed, experimented, and assessed two innovative prototypes of grapevine farming systems with low pesticide inputs. The first one IPM-50%, based on integrated protection management, and the second one InnoBio, using biocontrol solutions, have been tested in seven experimental stations of Agricultural Chambers and INRA/SupAgro Montpellier. Innovative decision rules were designed for the control of powdery mildew and downy mildew (main grapevine diseases leading to the part of 75% of the Treatment Frequency Index). The results indicate that the TFI (calculated without biocontrol

applications) decrease of 37% is possible with IPM-50% strategy, and a decrease of 60% with InnoBio strategy. The performances of the systems have been also assessed on agronomic and socio-economic criteria. The IPM-50% strategy has each year a high score of overall sustainability. For the InnoBio strategy, the TFI decrease is matching with the performances expected by the French Ecophyto plan. But, the production and the profitability objectives are not achieved every years. The InnoBio farming system needs re-adjustments to validate promising results using biocontrol levers in grapevine farming systems.

**Keywords:** Viticulture, Farming system experiment, Decision rules, Pesticide reduction

## Introduction : contexte et enjeux pour la filière en zone méditerranéenne

Le contexte général de réduction des intrants phytosanitaires impose à chaque région de chercher les solutions adaptées à ses conditions de production : caractéristiques pédoclimatiques, cahier des charges. Ainsi pour l'Arc méditerranéen (Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Drôme et Ardèche), les objectifs du plan Ecophyto sont des enjeux majeurs pour les professionnels. La surface agricole utile dans cette région est en grande partie dédiée à la vigne avec 377 345 ha (45% des superficies des vignes en France). La vigne fait partie, avec l'arboriculture, des cultures les plus fortes consommatrices de produits phytosanitaires par unité de surface. L'analyse des NODU (Nombre de Doses Unités) du bassin Arc méditerranéen démontre que le poids des fongicides (pour plus de la moitié du total) est cohérent avec le poids de la lutte anti-fongique (mildiou, oïdium).

Dans le rapport Ecophyto R&D (Butault *et al.*, 2010), il est mentionné que la baisse de pression pesticide (économiquement envisageable) estimée en viticulture ne serait que de 37% et la baisse de production (en valeur) serait de 24% sans adaptation des systèmes de production. Compte tenu des enjeux environnementaux et de la prépondérance des superficies en vigne dans l'Arc méditerranéen, la profession s'est investie dans la recherche de stratégies plus économes en produits phytosanitaires. Parallèlement il faut prendre en compte que le revenu de la majorité des exploitations est particulièrement variable et soumis aux différents aléas (climat, économie,...) et la durabilité des exploitations viticoles est fortement remise en cause. Cette forte volonté des viticulteurs a engagé le bassin Arc méditerranéen à participer au projet d'envergure nationale ECOVITI.

En 2013, l'IFT moyen en viticulture en France était de 14,7 pour 19 traitements effectués (source : Ministère de l'agriculture). 80% de ces traitements concernent la maîtrise des maladies. Et pour 96% des fongicides utilisés, il s'agit de lutter contre les deux maladies principales de la vigne que sont le mildiou et l'oïdium. Hormis le soufre depuis 2015 contre l'oïdium, très peu de solutions de biocontrôle existent pour ces deux bioagresseurs. Leur maîtrise repose sur la définition de tactiques définissant des interventions basées sur des observations, des prévisions et parfois des modèles de risque, quand ils sont disponibles, comme pour le mildiou par exemple.

Les caractéristiques du climat méditerranéen sont bien connues : pluviométrie annuelle plutôt faible (500 à 800 mm/an), irrégulière avec une relative sensibilité à la sécheresse, des hivers doux avec peu de risque de gel, des printemps de plus en plus précoces et des étés souvent chauds voire caniculaires. Ces contraintes climatiques induisent des caractéristiques remarquables relativement aux autres régions viticoles du point de vue de la pression parasitaire. Pour les deux principaux parasites que sont le mildiou et l'oïdium, il faut retenir :

- Une **pression mildiou moyenne voire faible** localement ou certaines années. La pression est plutôt printanière, rarement estivale. Ce paramètre distingue nettement notre région des vignobles de la façade atlantique par exemple où la pression est plus forte, plus régulière et plus constante dans la saison ;

- Une **pression oïdium plus variable** sur la zone avec de façon schématique un gradient allant du Nord (Drôme) et de l'Est (Vaucluse) présentant un niveau de pression moyen à faible, pour aller vers le Sud (Hérault) et l'Ouest (Pyrénées-Orientales) où le parasite est nettement plus difficile à contrôler tant du point de vue de sa virulence que de sa période de développement. Ce gradient peut s'analyser de la même façon en distinguant une zone littorale nettement plus sensible au regard des zones plus intérieures.
- La **pression des ravageurs (insectes) est plus locale**, avec de fortes disparités à l'intérieur d'une petite région. Dans ce contexte, les tordeuses de la grappe peuvent être considérées comme les ravageurs les plus présents, associés au cas particulier de la flavescence dorée. Réduire de 50% les IFT est un objectif ambitieux car, sur la zone Languedoc-Roussillon, 66% de la surface en vigne sont soumis aux arrêtés préfectoraux de lutte obligatoire contre la flavescence dorée imposant l'application d'insecticides. Et la maladie est en développement constant en région Provence Alpes Côte d'Azur. Cela nécessite donc de un à trois traitements systématiques, compliquant la baisse globale de l'IFT bien que des aménagements soient possibles pour réduire de un voire deux traitements grâce à la surveillance du territoire.

Dans ce contexte, les pratiques usuelles de protection de vignoble pour la gestion fongicide du mildiou et de l'oïdium sont basées sur les éléments forts suivants :

- Des stratégies le plus souvent mixtes de lutte simultanée contre le mildiou et l'oïdium ;
- Une base de 4 à 5 traitements visant les deux parasites avec une faible variabilité (+/- 1 à 2) selon la petite région, les années, les cépages...

Le travail présenté ici s'est attaché à décliner des systèmes viticoles innovants pour ce bassin, avec les objectifs suivants : réduire de 50% l'utilisation des produits phytosanitaires et proposer une alternative aux pesticides avec le biocontrôle. Ces objectifs ont conduit à la conception de deux prototypes qui ont été adaptés et mis en expérimentation dans sept stations constituant le réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen. Sont exposés ici les principaux résultats de ces essais qui se sont déroulés de 2012 à 2017.

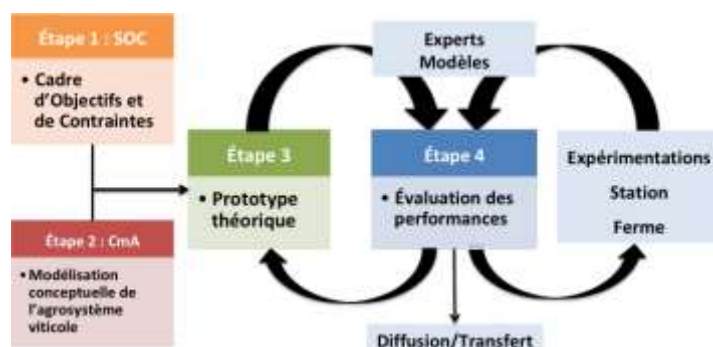
## 1. Réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen 2012-2017 : méthode et dispositif expérimental mis en œuvre

### 1.1 Conception des systèmes viticoles expérimentés

Le projet Casdar EcoViti a accompagné de 2010 à 2014 les réseaux DEPHY EXPE en vigne (Lafond *et al.*, 2015). Des ateliers de conception nationaux ont posé les bases des grandes stratégies disponibles pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires. Ensuite, chaque réseau régional a conduit un travail d'adaptation des prototypes théoriques au contexte local pour mettre ceux-ci en expérimentation et évaluer leurs performances. La Figure 1 illustre cette démarche basée sur une boucle de progrès en plusieurs étapes enchaînant conception/expérimentation/évaluation/réajustement avant validation et diffusion.

Le réseau Arc méditerranéen a conduit après chaque campagne annuelle, un atelier technique de re-conception des prototypes expérimentés d'après les résultats des essais du millésime. Le groupe avec ses experts associés a ainsi fait évoluer les tactiques de gestion (règles de décision, RDD) pour aboutir en 2014 à un système plus stable. Les dernières années du projet ont permis de tester sa robustesse. Le projet EcoViti a également fourni un ensemble commun de critères et d'indicateurs

environnementaux, agronomiques et socio-économiques pour suivre et analyser les performances des systèmes testés dans ce projet (Métral *et al.*, 2015 et 2017).



**Figure 1 :** Les différentes étapes de la conception de systèmes de culture par connaissances expertes et évaluation par expérimentations de terrain (Lafond *et al.*, 2013 ). SOC : Set of Objectives and Constraints – Cadre d'objectifs et de contraintes, CmA : Modèle Conceptuel de l'Agrosystème.

## 1.2 Deux prototypes innovants conçus et adaptés au contexte viticole Arc méditerranéen

La réflexion s'est focalisée sur une réduction espérée significative de l'emploi des intrants phytosanitaires, et notamment, des fongicides. Le travail s'est déroulé en deux étapes :

1. Fixer un cadre d'objectifs et de contraintes (ou SOC en anglais, Set of Objectives and Constraints) permettant de donner les éléments de contexte et les performances attendues ;
2. Proposer pour ces SOC, des stratégies de réductions d'intrants formalisées au sein d'un prototype de système viticole.

Un cadre commun d'objectifs et de contraintes (SOC) a été préalablement défini pour l'ensemble des plateformes expérimentales :

- Viser au moins la réduction de 50% de l'utilisation des produits phytosanitaires ;
- Maintenir les rendements (IGP – 80 hL/ha et AOP – 45 hL/ha) ;
- Maintenir la qualité (Dégâts < 10% vendange altérée : oïdiée et/ou botrytisée) ;
- Zéro herbicide ;
- Limiter au maximum le travail du sol tout en favorisant un enherbement permanent voire « flexible ou adaptable » ;
- Piloter la fertilisation (et l'irrigation si disponible) selon l'état du système sol-herbe-vigne.
- Deux prototypes différents ont été conçus proposant une réflexion poussée sur les tactiques de gestion contre le mildiou et l'oïdium principalement : IPM-50% (pour Integrated Pest Management -50%) basé sur la protection intégrée et visant la réduction de 50% de l'IFT, et InnoBio tourné vers le biocontrôle.

En croisant cadre d'objectifs et de contraintes avec les prototypes, le réseau Arc méditerranéen est constitué de 12 parcelles d'essais système, 6 pour chaque prototype.

### 1.2.1 Prototype IPM – 50%

Il vise à limiter le nombre d'interventions contre le mildiou et l'oïdium en conservant un panel assez large de spécialités commerciales utilisables avec malgré tout, l'exclusion des substances classées

CMR (Cancérogènes, Mutagènes, Reprotoxiques) et les plus toxiques du classement de l'index phytosanitaire ACTA.

Les règles de décision sont basées sur les acquis des travaux menés dans le cadre du programme Pod Mildium® (Delière *et al.*, 2015). En complément, lors de chaque intervention la dose d'emploi est modulée en fonction du développement végétatif, selon la méthode Optidose® (IFV, 2010).

### **1.2.2 Prototype InnoBio**

Il a pour enjeu d'exclure les fongicides de synthèse mais aussi de limiter l'emploi du cuivre et du soufre. Cette limitation est compensée par l'emploi de substances de biocontrôle (issues de la liste du NODU Vert, avec en plus les nouveaux produits candidats non encore inscrits sur cette liste). L'objectif est également d'intégrer autant que possible les mesures prophylactiques au vignoble.

Rappelons qu'en cours de projet, le soufre a intégré la liste des produits de biocontrôle et que des substances prometteuses ont été proposées et testées (ex : huiles minérales, COS-OGA).

Pour l'ensemble des prototypes, pour la gestion des ravageurs (vers de la grappe et cicadelles vectrices de la flavescence dorée), les leviers suivants sont proposés : aménagement de la lutte pour réduire les traitements obligatoires contre la cicadelle, confusion sexuelle si possible pour limiter les vers de la grappe ou conception d'une règle de décision pour les traitements insecticides.

La suppression des herbicides et la volonté de limiter au maximum le travail du sol ont conduit à la mise en place de couverts semés ou spontanés, pérennes ou non sur les inter-rangs des systèmes viticoles testés. Le rang est quant à lui, travaillé avec des outils inter-ceps.

## **1.3 Présentation du réseau d'expérimentation et des partenaires**

Trois éléments majeurs structurent le choix des sites d'études :

- Partir de vignes en place pour pouvoir apporter des résultats plus rapidement qu'avec une nouvelle plantation ;
- Une diversité de cépages avec des sensibilités variables aux maladies ; d'où la présence dans notre réseau des variétés suivantes : Grenache, Syrah, Cabernet franc, Chardonnay, Mourvèdre ;
- Deux objectifs de rendement sont retenus suivant les cahiers des charges : type AOP – 45 hL/ha, type IGP – 80 hL/ha.

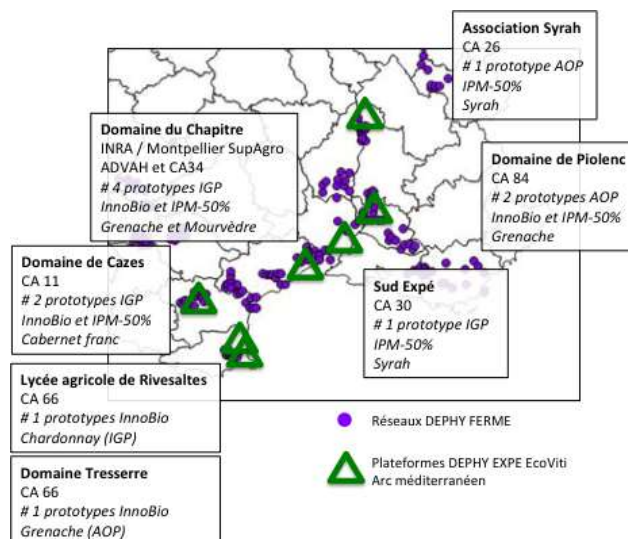
Ainsi sept sites d'étude ont été retenus sur l'Arc méditerranéen (Figure 2). Le réseau est bâti sur le socle des conseils-experts viticoles des Chambres d'Agriculture de la Drôme, du Vaucluse, du Gard, de l'Hérault et de l'Association pour le Développement et la Valorisation de l'Agroenvironnement Héraultais, de l'Aude et des Pyrénées-Orientales. Ce groupe est renforcé par la coordination de la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie, l'appui scientifique et expérimental de l'INRA/SupAgro Montpellier associé à la CA34 pour les essais, et l'expertise filière de l'Institut Français de la Vigne et du Vin, de SudVinBio et du Groupe de Recherche en AB.

Sur l'ensemble du réseau, un même ensemble d'observations et d'indicateurs sont observés et calculés. Les suivis sur la vigne se font sur un échantillonnage de 50 ceps au minimum par prototype. En résumé, sont collectés :

- La traçabilité de l'ensemble des interventions réalisées sur la parcelle ;
- Les enregistrements des temps de travaux et estimations des coûts selon les références ou standard locaux ;
- Les suivis des maladies et ravageurs selon les stades phénologiques clés ;
- La mesure du rendement et de la qualité de la vendange.

Chaque site du réseau dispose d'une référence viticulteur soit sous la forme d'un système conduit selon la pratique viticole de l'exploitation, soit sous la forme d'un enregistrement des bulletins de préconisation locale pour la gestion phytosanitaire (dans ce cas pas de données de rendement et de qualité sanitaire de la parcelle).

Des témoins non traités (TNT) seront également suivis pour chaque site. Ils représentent au moins quelques dizaines de souches de vigne qui ne sont pas traitées. Les TNT permettent de caractériser la pression parasitaire du millésime, et ainsi évaluer les performances des règles de décisions pour le contrôle des bioagresseurs dans les systèmes expérimentés.



**Figure 2 :** Réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen de 2012 à 2017, et sa proximité avec les réseaux DEPHY FERME.

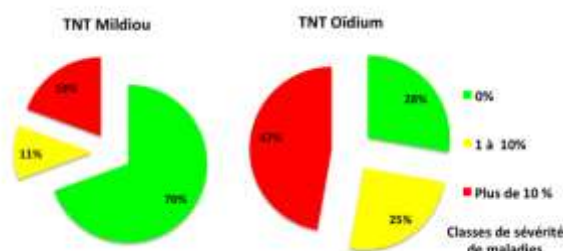
## 2. Stratégies et règles de décision innovantes conçues pour les prototypes expérimentés

La conception des règles de décision pour les prototypes expérimentés fait partie des résultats de ce travail, au même titre que l'évaluation des différentes performances environnementales et socio-économiques. La méthode et la démarche de réflexion qui conduisent à changer un système de culture sont à transférer et diffuser au même titre que des résultats ou des références d'essais.

### 2.1 Préambule : un constat de nombreuses situations à faible pression voire absence de maladies

Le mildiou et l'oïdium sont réputés virulents, pouvant générer des dégâts et des pertes importantes de récolte jusqu'à la totalité de la vendange. Cependant, l'observation de parcelles témoin non traitées (TNT), groupe de ceps allant de vingt-cinq à plusieurs dizaines de souches, montre pour l'Arc méditerranéen des pressions en maladies moins élevées qu'attendues. La Figure 3 présente les sévérités d'attaque mildiou (à gauche) et oïdium (à droite). Sur les 36 situations (site x année) observées sur le réseau EXPE, 81% des cas ne nécessiteraient aucun anti-mildiou pour être en dessous du seuil d'acceptabilité de 10% de sévérité (défini dans le cadre d'objectifs et de contraintes lors de la conception du système), et 53% des cas ne nécessiteraient aucun anti-oïdium. Dans les faits, des traitements non absolument nécessaires sont donc réalisés par sécurité, et pourraient être évités avec suffisamment d'informations et de connaissances sur l'état du système et des prévisions météorologiques fiables. Un grand nombre de cas à faible pression oïdium se situe dans le Vaucluse et

la Drôme avec des parcelles non traitées touchées à moins de 10%. A l'opposé, les zones littorales sont plus sensibles.



**Figure 3 :** Répartition des situations de pression mildiou et oïdium sur les Témoins Non Traités du réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen (36 situations Site x Année).

## 2.2 Des règles de décision innovantes pour réduire les traitements contre l'oïdium et le mildiou

Comme le montre l'analyse précédente des TNT, pourrait-on ne pas traiter les années et parcelles où les maladies mildiou et oïdium ne conduiraient pas à des dégâts inacceptables (cf SOC) ? Oui si l'on peut anticiper et prédire correctement les épidémies... Cependant, les connaissances actuelles notamment sur l'oïdium apparaissent insuffisantes. C'est l'enjeu qui est abordé dans la conception des règles de décisions (RDD) suivantes.

Pour limiter au maximum les interventions non nécessaires, le groupe d'experts DEPHY EXPE Arc méditerranéen a conçu des RDD pour l'ajustement tactique des traitements contre le mildiou et l'oïdium. Les mêmes RDD ont été testées sur l'ensemble du réseau. Chaque année, ces RDD étaient évaluées et éventuellement réajustées. Elles ont été conçues sur la même architecture et les mêmes principes en trois axes :

1. Estimation d'un risque de maladies (le plus précocement possible) ;
2. Suivi des stades phénologiques « sensibles » et observations de symptômes (d'après méthode Mildium®) ;
3. Adaptation des doses de traitement (méthode Optidose® et Optipulvé) (IFV, 2010).

L'objectif recherché est donc de pouvoir traiter moins quand il y a peu de risque de maladies, et si possible pas du tout quand le risque de maladie est estimé très faible voire nul.

Des règles de décision ont été conçues pour chaque pathogène de la vigne créant des dégâts importants dans le réseau étudié. Ces règles sont rediscutées et ré-ajustées si nécessaires tous les ans, selon les bilans fait sur chaque site. Les règles pour l'Oïdium et le Mildiou, présentées ci-dessous, sont donc celles qui ont été les plus travaillées lors de ces expérimentations.

### 2.2.1 RDD Oïdium

La modélisation et la prévision des risques de développement de l'oïdium ne sont aujourd'hui pas suffisamment avancées pour proposer des indicateurs précoces de développement de la maladie. En 2012, une RDD basée sur l'observation des premiers symptômes d'oïdium pour déclencher les premiers traitements a été un échec. En effet, du fait de la discrétion des symptômes précoces, les observateurs ont des difficultés à détecter ces symptômes sur la vigne avant un stade trop avancé. Dans le cas de présence important de symptômes à ce stade, il en résulte une difficulté à contenir l'épidémie du fait des effets curatifs limités des produits phytosanitaires.

Par conséquent, à partir de 2013, la RDD Oïdium a été re-conçue et ajustée dans sa version actuelle basée sur les trois étapes suivantes (Figure 4) :



**Étape 1 : historique de pression sur la parcelle.** L'absence de mesure possible de l'inoculum présent et de prévision précoce du développement de la maladie est palliée par une évaluation de l'historique de la pression sur la parcelle des années précédentes. La pression oïdium est mesurée par une observation de la fréquence de grappes présentant des symptômes au stade fermeture de la grappe. Le seuil défini pour le prototype InnoBio et IPM-50 % est de 20%. Si une année parmi les trois années précédentes présente un dépassement du seuil, alors la parcelle est considérée comme ayant un risque historique oïdium et les traitements de début de cycle végétatif seront déclenchés.

**Étape 2 : traitements obligatoires pour encadrer la floraison.** Identifiée comme un stade-clé très sensible, la floraison doit être protégée systématiquement contre l'oïdium. Il n'est pas possible (actuellement) de détecter la maladie suffisamment tôt sur fleur pour éviter des dégâts supérieurs au seuil acceptable de pertes de récolte et de qualité de la vendange (ex : 10% de vendange altérée).

**Étape 3 : de nouveaux traitements sont appliqués uniquement si des symptômes sont observés.** Après floraison, la tactique repose sur l'observation des fréquences de grappes atteintes pour décider d'un nouveau traitement. Deux stades sont surveillés (« grains de poivre » et « fermeture de la grappe ») avec des seuils de déclenchement adaptés selon le prototype, voire selon le cépage ou l'objectif du viticulteur. Ici pour le prototype IPM-50%, successivement 5 et 15% de grappes atteintes en fréquence, pour InnoBio seul le seuil au stade « fermeture de la grappe » change et a été fixé à 10%.

Pour chaque traitement, la dose appliquée est définie selon l'abaque proposée par la méthode Optidose® tenant compte du stade phénologique (niveau de végétation) et de la pression en maladie observée dans la parcelle sauf pour celui obligatoire de la floraison.



**Figure 4 :** Règles de décision pour la maîtrise de l'oïdium pour le prototype IPM-50% expérimenté dans le réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen.

### 2.2.2 RDD Mildiou

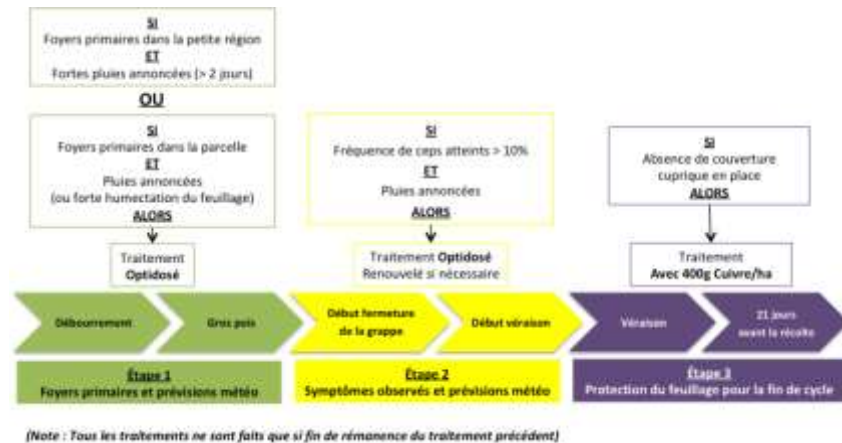
Le mildiou présente pour son contrôle des caractéristiques différentes de l'oïdium. En zone méditerranéenne, il est moins présent et moins virulent qu'en climat océanique. Des modèles agro-climatiques permettent de mieux prévoir le démarrage des épidémies et le développement des symptômes. La tactique de gestion est basée en trois étapes (comme pour l'oïdium) (Figure 5). Elle est identique pour les deux prototypes InnoBio et IPM-50% :

**Étape 1 : prévision des pluies, couplée avec la présence de la maladie.** La décision de traitement est prise selon la quantité de pluie annoncée ET la présence de la maladie : « Foyers primaires détectés dans la petite région viticole (BSV) ET Fortes pluies annoncées (>2 jours consécutifs) » OU « Foyers primaires détectés dans la parcelle ET Pluies (ou forte humectation du feuillage) annoncées ».

**Étape 2 : observations des symptômes présents.** Un traitement est déclenché si la fréquence de ceps touchés par le mildiou dans la parcelle, dépasse le seuil de 10% ET si des pluies sont annoncées.

**Étape 3 : couverture cuprique obligatoire** (400g Cu/ha) si la parcelle n'est pas couverte (c'est-à-dire non traitée ou produit lessivé) afin de protéger le feuillage pour la fin de cycle et la constitution de réserves pour le débourrement de l'année suivante. En cas de contexte exceptionnellement défavorable au mildiou, ce traitement peut être annulé.

Une meilleure connaissance de la biologie du mildiou (besoin d'eau liquide pour son cycle) par rapport à l'oïdium, permet de concevoir une tactique plus audacieuse. En effet, en l'absence de symptôme ou de pluie annoncée, il est possible de ne faire aucun traitement contre le mildiou (à part la demi-dose de cuivre en fin de cycle, qui pourrait être remise en cause selon le contexte). Ce fut le cas en 2014 au domaine du Chapitre à Montpellier par exemple, où aucun anti-mildiou n'a été appliqué avant la véraison.



**Figure 5** : Règles de décision pour la maîtrise du mildiou expérimentées dans le réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen (Idem entre prototype InnoBio et IPM-50%)

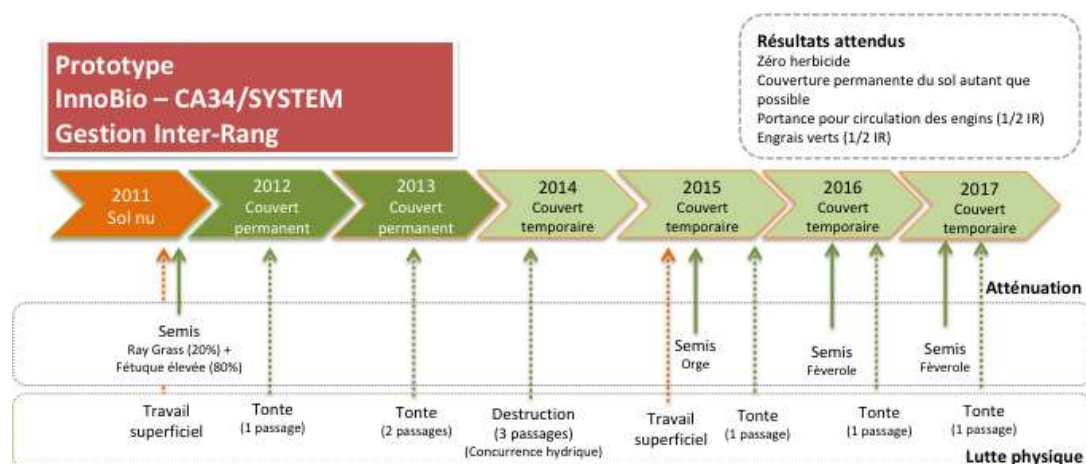
### 2.2.3 Autres règles de décision

D'autres règles de décision ont été conçues au cours de projet. Elles concernent l'entretien des sols, et la gestion des autres bioagresseurs avec les tordeuses de la grappe, et le black-rot. Les tordeuses ne sont pas présentes sur tous les sites, et les traitements obligatoires contre les cicadelles vectrices de la flavescence dorée permettent parfois de contrôler les tordeuses en même temps. Une RDD a néanmoins été proposée avec la tactique suivante : pas de traitement sur la première génération (G1) de papillons, en G2 un traitement est déclenché si le seuil de 10% de pontes viables est dépassé (observation), puis en G3 idem, avec en plus l'absence de traitement à moins de 21 jours de la date de récolte.

La réduction des traitements contre l'oïdium et le mildiou, peut avoir pour effet collatéral de permettre l'émergence de maladies secondaires comme le black rot. Ce fut notamment le cas sur le site du Domaine de Piolenc (CA84) en 2015. Une RDD a été écrite pour gérer les éventuelles épidémies de cette maladie. Elle propose des interventions phytosanitaires selon des seuils observés et l'historique de maladie de la parcelle.

L'**entretien des sols** proposé vise à supprimer les herbicides et limiter au maximum le travail du sol. Le rang de vigne reste géré avec des outils inter-ceps qui travaillent plus ou moins superficiellement le sol. La stratégie de gestion de l'inter-rang est décrite dans la Figure 6. Elle vise à maintenir le plus possible de couverts pérennes pouvant rendre des services de portance pour la circulation des engins agricoles en vue de limiter les tassements du sol (ex : fétuque élevée), ou des services d'engrais verts (ex : fèverole). Des couverts temporaires sont choisis en cas de contrainte hydrique forte diagnostiquée (ex : méthode de suivi des arrêts de croissance des apex, ou mesure de delta C13 sur moûts de raisin à la récolte). La même RDD s'applique sur les prototypes IPM-50%, à la seule différence que l'on ne sème

pas de couverts, mais est conservée la flore spontanée en la maintenant le plus longtemps possible avant destruction dès qu'une compétition hydrique trop importante est diagnostiquée.



**Figure 6 :** Stratégie de gestion de l'inter-rang mise en œuvre durant le projet sur le prototype InnoBio sur le site CA34-SYSTEM.

### 3. Principaux résultats du réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen

#### 3.1 Performances des RDD Oïdium et Mildiou

##### 3.1.1 RDD Oïdium

La

Dans le cas du prototype InnoBio (

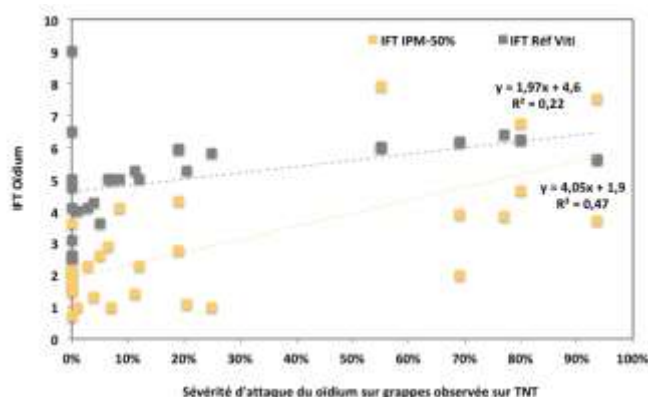
), on observe également une baisse des IFT lorsque la pression en oïdium baisse (observations sur TNT), montrant donc également comment les RDD permettent d'adapter les pratiques à la situation de la parcelle. Dès que la pression en maladie devient forte, les IFT InnoBio ont tendance à dépasser ceux de la référence Viticulteur.

Ceci peut s'expliquer notamment par une utilisation plus importante du soufre en InnoBio que dans la stratégie de référence Viti qui utilise des produits de synthèse pouvant être plus rémanents.

**Figure 8 :** Relation entre la pression en oïdium (Intensité sur grappe observée sur Témoin Non Traité) et l'IFT Oïdium du prototype InnoBio et la référence viticulteur.

représentant, l'IFT oïdium en fonction de la pression en maladie (observation des TNT) permet d'évaluer la performance de la RDD à traiter moins quand la pression est faible. Dans le cas du prototype IPM-50%, l'IFT est toujours en dessous de la référence viticulteur lorsque la pression en oïdium baisse. La RDD « s'adapte » au niveau de pression, les décisions ne sont pas figées *a priori*. On notera que la référence « s'adapte » également à la baisse mais dans une moindre mesure. Cela s'observe sur la figure en appréciant la pente de la régression linéaire, qui est plus faible pour la référence (1,97 contre 4,05 pour IPM-50%).

**Figure 7 :** Relation entre la pression en oïdium (Intensité sur grappe observée sur Témoin Non Traité) et l'IFT Oïdium du prototype IPM-50% et la référence viticulteur.

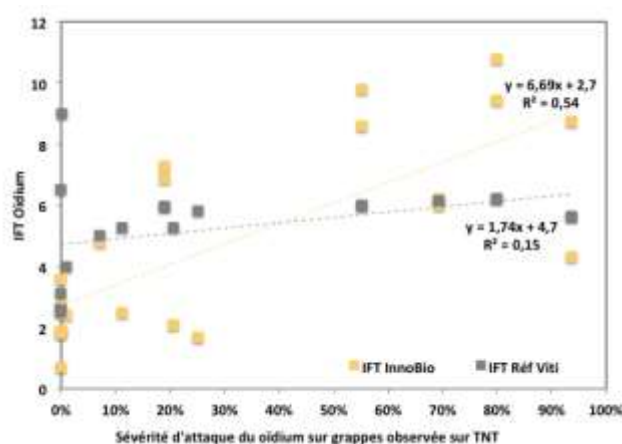


Dans le cas du prototype InnoBio (

), on observe également une baisse des IFT lorsque la pression en oïdium baisse (observations sur TNT), montrant donc également comment les RDD permettent d'adapter les pratiques à la situation de la parcelle. Dès que la pression en maladie devient forte, les IFT InnoBio ont tendance à dépasser ceux de la référence Viticulteur.

Ceci peut s'expliquer notamment par une utilisation plus importante du soufre en InnoBio que dans la stratégie de référence Viti qui utilise des produits de synthèse pouvant être plus rémanents.

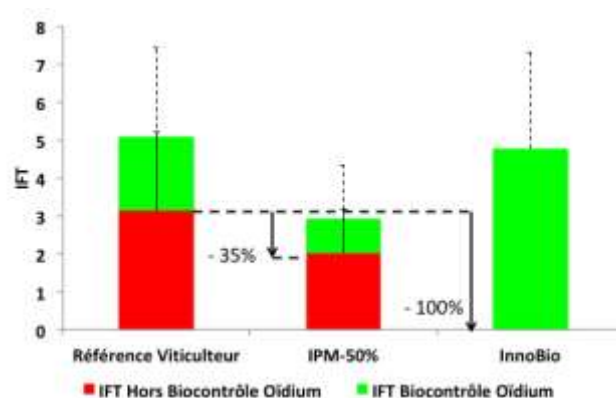
**Figure 8 :** Relation entre la pression en oïdium (Intensité sur grappe observée sur Témoin Non Traité) et l'IFT Oïdium du prototype InnoBio et la référence viticulteur.



**Figure 8 :** Relation entre la pression en oïdium (Intensité sur grappe observée sur Témoin Non Traité) et l'IFT Oïdium du prototype InnoBio et la référence viticulteur.

En conclusion sur 6 années d'essais, **le prototype IPM-50% a permis de diminuer de 35% l'IFT moyen oïdium** hors biocontrôle et **le prototype InnoBio de 100%** (grâce à une utilisation importante du soufre devenu NODU Vert...) par rapport à la référence "viticulteur" (

Figure 9).



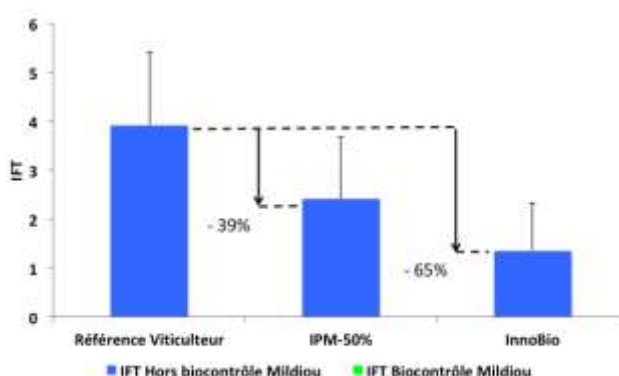
**Figure 9** : IFT hors biocontrôle et biocontrôle pour la maîtrise de l'oïdium des prototypes InnoBio et IPM-50% par rapport à la référence viticulteur. (Moyenne et écart-type standard des IFT oïdium hors biocontrôle en trait plein, et biocontrôle en trait pointillé de 2012 à 2017 du réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen).

Ces résultats montrent également que les leviers d'efficacité et de substitution (avec du soufre qui n'est pas un produit sans conséquence sur l'utilisateur et l'environnement proche (cf. risque d'allergies), ne sont pas suffisants en cas de forte pression en maladies et avec des variétés sensibles...

### 3.1.2 RDD Mildiou

Cette règle de décision est centrée sur une prise de risque liée (i) à la fiabilité des prévisions météorologiques de pluies, et (ii) la qualité des observations pour la détection des foyers primaires de mildiou. Cela génère un pilotage « sous stress » à gérer par le conseiller et le vigneron, car il faut faire confiance aux prévisions météorologiques et à ses observations de son vignoble pour trouver les foyers primaires de mildiou...

En l'absence d'utilisation de cépages résistants au mildiou et de solutions de biocontrôle disponibles contre cette maladie, cette « prise de risque » est la seule façon de réduire les traitements. Les résultats sur les six années d'essais du réseau (Figure 10) montrent comme pour l'oïdium une baisse importante d'IFT mildiou par rapport à la référence viticulteur : **-39% pour le prototype IPM-50% et -65% pour l'InnoBio**.

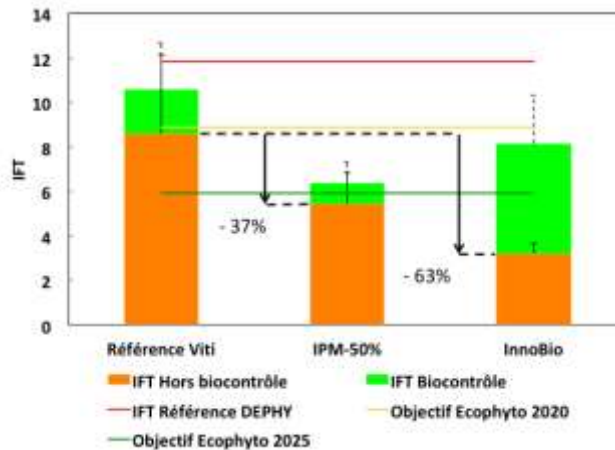


**Figure 10** : IFT hors biocontrôle et biocontrôle pour la maîtrise du mildiou des prototypes InnoBio et IPM-50% par rapport à la référence viticulteur. (Moyenne et écart-type standard des IFT mildiou hors biocontrôle de 2012 à 2017 du réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen) (Notons des IFT biocontrôle nuls dus à l'absence de produits de biocontrôle)

## 3.2 Des réductions significatives des IFT sont possibles



Les six années d'essais du réseau DEPHY EXPE Arc méditerranéen montrent qu'il est possible de réduire les IFT. Les deux prototypes testés IPM-50% et InnoBio atteignent l'objectif 2020 d'Ecophyto avec une baisse d'IFT supérieure à -25%. L'objectif 2025 de -50%, n'est quant à lui atteint que si l'on prend l'IFT hors biocontrôle (Figure 11) (Ministère de l'Agriculture, 2015). Cependant, les références DEPHY (IFT Total) ne permettent pas d'identifier la part de biocontrôle qu'elles contiennent.



**Figure 11 :** IFT hors biocontrôle et biocontrôle des prototypes IPM-50% et InnoBio par rapport à la référence viticulteur (Moyenne et écart-type standard des IFT hors biocontrôle en trait plein, et biocontrôle en trait pointillé de 2012 à 2017 du réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen) (Référence DEPHY moyenne des régions Languedoc-Roussillon, PACA, Rhône-Alpes).

L'utilisation de la référence viticulteur hors biocontrôle, plus « locale » (donc plus proche des différents contextes de production particulièrement variés en zone méditerranéenne), permet de surmonter cet écueil. Les prototypes IPM-50% et InnoBio atteignent ainsi respectivement une baisse de 37% et 63% de l'IFT.

Ces résultats sont variables selon les sites expérimentaux. Ainsi dans les sites de l'Aude, de la Drôme, et du Vaucluse, les prototypes permettent des réductions supérieures à 50% de l'IFT Total.

Pour l'ensemble des essais, les moyennes sur 6 ans de l'IFT hors biocontrôle sont toujours inférieures à l'objectif 2025 Ecophyto (réduction de 50% de l'IFT).

### 3.3 Production : rendement et qualité de la vendange

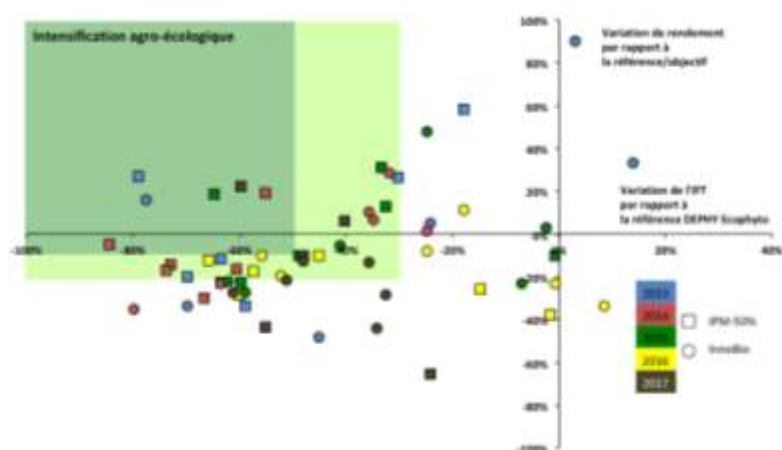
L'efficacité des traitements phytosanitaires et la performance environnementale (vue à travers les IFT), doivent s'analyser aussi en regard d'autres critères et objectifs. En viticulture, les résultats de production dépendent conjointement du rendement et de la qualité de la vendange (ici, l'état sanitaire de la vendange).

Si l'on met en regard de la baisse d'IFT, la variation de rendement obtenue par rapport à l'objectif ou la référence viticulteur (Figure 12), alors la moitié des situations répond au double objectif de réduire au moins de 25% les IFT tout en ne conduisant pas à plus de 20% de baisse de rendement (Seuil défini lors de l'établissement du SOC comme pouvant être acceptable certaines années sans remettre en cause le modèle économique du vin produit par le système). Les résultats montrent qu'il n'y pas de lien entre pertes de rendement et baisse de l'IFT.

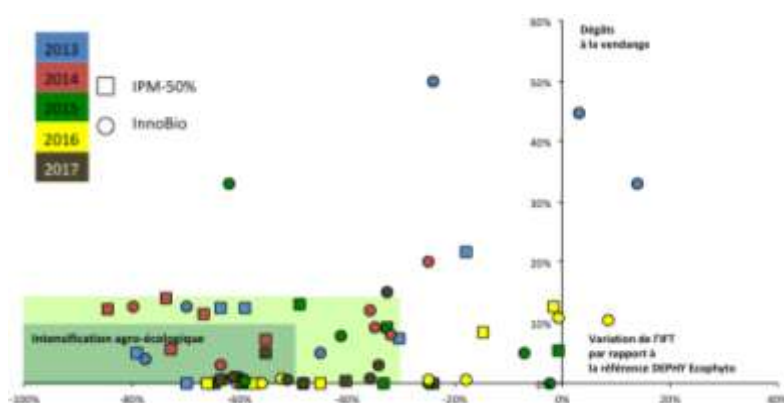
L'analyse du rendement n'est pas suffisante, il est nécessaire de confronter la variation d'IFT et les dégâts mesurés à la vendange (altération de la qualité des raisins).

La Figure 13 montre que la baisse d'IFT ne se traduit pas par une baisse de la qualité. Il n'y a pas de corrélation entre l'IFT et la qualité de la vendange. Des dégâts importants peuvent être constatés avec des IFT forts. Cela met notamment en évidence, la difficulté du rattrapage et du manque d'effet curatif

des produits de traitements contre l'oïdium notamment, qui malgré les interventions phytosanitaires, ne permettent pas de réduire les dégâts une fois un seuil de présence de la maladie dépassé.



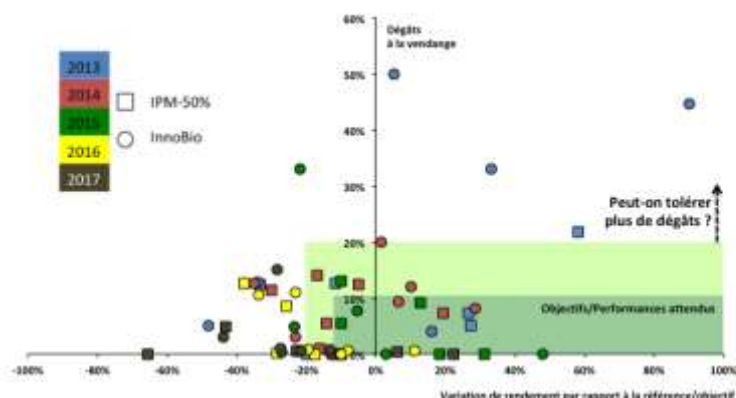
**Figure 12 :** Relation entre la variation de rendement (par rapport la référence du site) et la variation d'IFT (par rapport à l'IFT de référence régional DEPHY) de 2013 à 2017 pour les prototypes IPM-50% et InnoBio du réseau DEPHY EXPE Arc méditerranéen.



**Figure 13 :** Relation entre les dégâts à la vendange et la variation d'IFT (par rapport à l'IFT de référence régional DEPHY) de 2013 à 2017 pour les prototypes IPM-50% et InnoBio du réseau DEPHY EXPE Arc méditerranéen.

Les résultats dans leur ensemble montrent donc des qualités plutôt satisfaisantes. Cependant, le seuil visé de 10% d'altération de la vendange (voire une tolérance jusqu'à 15%) doit être validé et adapté selon les contextes de production (ex : cépages) et les objectifs de chaque viticulteur.

Pour être complet, il n'y a pas non plus de relation entre les pertes de rendement et l'augmentation des dégâts à la vendange (Figure 14). Si des travaux sont en cours, il n'existe pas encore d'indicateurs robustes de compréhension et de prévision des pertes quantitatives dues aux bioagresseurs. L'analyse des suivis expérimentaux (avec un témoin viticulteur) a permis d'identifier d'autres causes possibles pour les pertes de récolte : accidents climatiques (ex : gel et sécheresse en 2017, coulure en 2013), stress hydrique et ou azoté,...

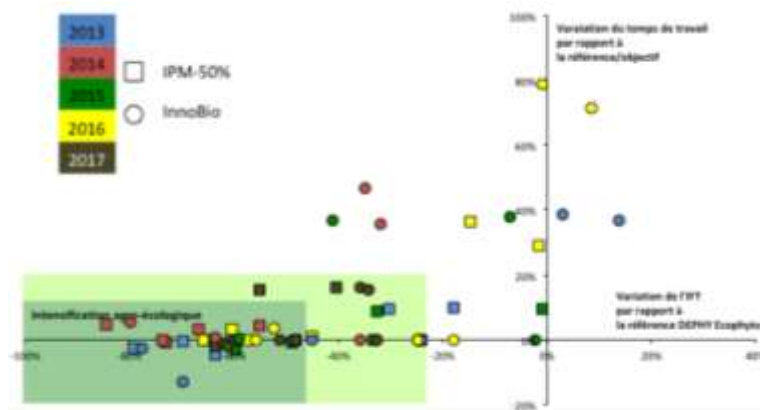


**Figure 14 :** Relation entre les dégâts à la vendange et la variation de rendement (par rapport à objectif ou référence) de 2013 à 2017 pour les prototypes IPM-50% et InnoBio du réseau DEPHY EXPE Arc méditerranéen.

### 3.4 Faisabilité technique et rentabilité

Pour l'évaluation de la rentabilité et de la faisabilité technique, les temps de travaux permettent une comparaison satisfaisante des systèmes pour ces critères. Un objectif de 10% de temps de travail en plus par rapport à la référence est visé. Une tolérance de 20% de temps de travail en plus au maximum peut être envisagée selon les cas où un réajustement des objectifs peut être étudié si le système est performant et intéressant par ailleurs.

Comme le montre la Figure 15, réduire les IFT n'entraîne pas de hausse du temps de travail lié à des travaux manuels ou plus de passages mécanisés pour l'entretien du sol par exemple. Ces résultats vont encore une fois à l'encontre des *a priori* et des idées reçues.



**Figure 15 :** Relation entre la variation du temps de travail (par rapport à la référence du site) et la variation d'IFT (par rapport à l'IFT de référence régional DEPHY) de 2013 à 2017 pour les prototypes IPM-50% et InnoBio du réseau DEPHY EXPE Arc méditerranéen.

Les systèmes qui utilisent au moins 20% de main d'œuvre en plus par rapport à la référence sont majoritairement les prototypes InnoBio. Des choix de mode de conduite ont induit des temps de travaux plus élevés sur ceux-ci où la prophylaxie était encouragée via des travaux en vert (ex : ébourgeonnage, effeuillage précoce donc manuel,...).

Globalement, la mise en œuvre IPM-50% et InnoBio n'a pas dégradé la faisabilité technique pour les systèmes testés avec une charge en travail maîtrisée et une rentabilité plutôt préservée. Ces résultats sont encourageants dans la perspective d'un transfert vers les viticulteurs.



### 3.5 Evaluation multicritère des performances des prototypes testés du réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen

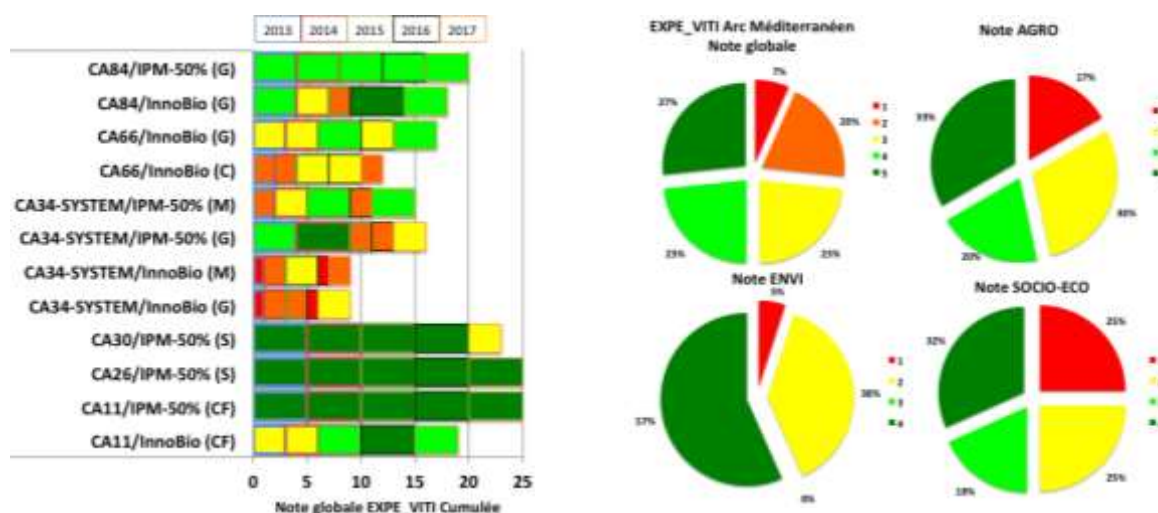
Dans le cadre de la synthèse nationale DEPHY EXPE Viticulture réalisée à mi-parcours en 2016 (Delière *et al.*, 2016), une analyse multicritère des performances des systèmes testés a été mise en œuvre. L'objectif est de proposer une notation globale des systèmes intégrant des critères environnementaux, agronomiques, économiques et sociaux. Elle a été réalisée à l'aide du logiciel DEXi (Métral *et al.*, 2015) qui permet de réaliser des arbres décisionnels pour l'agrégation de variables en classes qualitatives. La note EXPE\_VITI résulte de l'agrégation de trois modules, ENVI, AGRO et SOCIO\_ECO (Figure 16). Chaque module intègre plusieurs paramètres et sa valeur varie de 1 à 4. La note EXPE\_VITI peut prendre 5 valeurs.



**Figure 16 :** Arbre d'agrégation pour l'évaluation globale multicritères des systèmes viticoles testés dans le réseau DEPHY EXPE EcoViti. Le poids de chaque variable est indiqué en pourcentage. (Source : Delière *et al.*, 2016)

Le module ENVI repose sur les objectifs Ecophyto de réduction de l'IFT total par rapport à la référence régionale (Delière *et al.*, 2016). La pression parasitaire est prise en compte pour donner « un bonus » aux situations réduisant l'IFT en conditions de fortes pressions en maladies, démontrant la pertinence et la performance des stratégies mises en œuvre. En cas contraire, un « malus » peut être délivré. Le module AGRO repose sur l'évaluation quantitative et qualitative de la récolte. Enfin, le module SOCIO\_ECO évalue les coûts bruts de production couplés à l'adoptabilité du système testé (pénibilité, risque phytosanitaire et sécurité pour les différentes interventions de l'itinéraire technique).

Sur les 60 situations (site x année) évaluées pour le réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc méditerranéen entre 2013 et 2017, 50% de celles-ci obtiennent une note globale de durabilité de 4 ou 5 considérée comme répondant aux attentes de performances (Figure 17). C'est au minimum le même résultat en proportion pour chacun des trois sous-modules évalués. Si la performance environnementale, à travers la réduction de l'IFT, est l'objectif prioritaire, les autres composantes de la durabilité des systèmes viticoles n'ont pas été sacrifiées.



**Figure 17 :** Performance globale des différentes situations (site x année) du réseau DEPHY EXPE EcoViti Arc Méditerranéen. Histogramme de gauche = Note globale EXPE\_VITI par site de 2013 à 2017 (avec site/Prototypage) avec C = Chardonnay, CF = Cabernet-Franc, G = Grenache noir, M = Mourvèdre, et S = Syrah) (la couleur et la longueur des segments indiquent la note, un segment par année). Les graphiques de droite détaillent les effectifs (en %) pour la note globale EXPE\_VITI et les notes des modules ENVI, AGRO et SOCIO-ECO (Figure 16).

Certains systèmes (principalement IPM-50%) (ex : CA30/IPM-50% (S), CA26/IPM-50% (S), CA11/IPM-50% (CF)) ont été performants dès la première année et tout au long des ans avec des notes globales supérieures à 4. Ils montrent une stabilité intéressante, et permettent d'envisager un transfert vers les viticulteurs à court terme en lien avec les réseaux DEPHY FERME pour démultiplier les démonstrations et la diffusion.

Un second groupe de situations (à la fois IPM-50% et InnoBio) ont des résultats plus variables (donc incertains). Deux dynamiques peuvent malgré tout être dégagées. (i) Les prototypes améliorent leurs performances au cours des années par un phénomène d'apprentissage et d'ajustement des stratégies, (ex : CA11/InnoBio (CF), CA34-SYSTEM/IPM-50% (M)) ou bien (ii) les résultats restent aléatoires sur six ans (ex : CA66/InnoBio (G)). Dans les deux cas, ces résultats sont prometteurs et doivent être validés ou encore réajustés pour être diffusés.

Et enfin, un troisième groupe constitué de trois prototypes InnoBio sur six qui n'ont jamais dépassé la note globale de 3 jugée insuffisante (ex : CA34-SYSTEM/InnoBio (M) et (G), CA66/InnoBio (C)). Dans ce cas, si les performances environnementales atteignent les objectifs, il peut être intéressant de revoir la partie socio-économique. Par exemple, le prototype peut être adapté à un objectif de production moindre qui pourrait être compatible avec un mode de valorisation revu également : les prototypes InnoBio CA34-SYSTEM n'atteignent pas les 80 hL/an visés, mais ils pourraient intéresser des viticulteurs ayant un objectif de rendement moindre mais acceptable compte tenu de leur mode de commercialisation (ex : plus de vente en bouteilles valorisant mieux la production pour l'agriculteur). Les résultats doivent être analysés dans le détail pour conserver ce qui marche (ex : la baisse d'IFT) et identifier les contextes où le système sera applicable sans impasse techniques (ex : exploitation en cave particulière, appellation appropriée, etc.).

## Conclusion

Les six années d'expérimentation conduites sur les sept sites du groupe DEPHY EXPE Arc méditerranéen ont démontré les possibilités de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires sur vigne en place. Les prototypes conçus et testés, ont affiché une baisse de l'IFT hors biocontrôle de 37%

en moyenne pour le système IPM-50% et 60% pour le système InnoBio, ce qui répond en grande partie aux attentes du plan Ecophyto.

Retenons qu'en situation de forte pression en maladies, il reste difficile de réduire fortement l'IFT sur des vignes sensibles. Il est cependant possible de limiter significativement l'utilisation de fongicides contre le mildiou et l'oïdium à l'aide de tactiques de gestion (RDD) innovantes. Elles reposent sur un minimum obligatoire de suivis au vignoble et l'acceptation d'une prise de risque maîtrisée. Cette incertitude diminuera avec l'apport de nouvelles connaissances pour encore mieux prévoir et anticiper les épidémies.

Plus que ces chiffres, les règles de décision innovantes pour le contrôle du mildiou et de l'oïdium qui ont été produites, et la démarche de raisonnement qu'elles contiennent, sont des résultats majeurs de ce projet. Ces réductions d'IFT supposent la maîtrise de certains leviers techniques comme une pulvérisation de qualité lors des applications de produits, ainsi qu'une bonne compréhension de la dynamique des épidémies des maladies fongiques. Les observations de symptômes nécessitent de la part des viticulteurs du temps de travail (difficile à estimer car très dépendant de la surface occupée par le système) et des compétences à acquérir si besoin. Ces deux conditions sont à prendre en compte pour envisager un transfert de la méthodologie développée dans ce projet.

Ces résultats montrent une bonne performance des règles de décision conçues. La stratégie vise à contenir l'épidémie en deçà d'un seuil acceptable, et de traiter uniquement lorsqu'une observation de symptômes et/ou un modèle de risque le justifient. Les seuils d'intervention peuvent être adaptés au contexte d'utilisation des RDD (ex : cépage, sensibilité du site, objectif de production et de qualité,...). Ces essais mettent d'abord en avant une méthode pour mieux raisonner et améliorer ses pratiques.

L'approche multicritère des performances est indispensable et complémentaire des différentes analyses du fonctionnement des systèmes de culture expérimentés. Elle montre ici dans la majorité des situations la robustesse des leviers mis en œuvre dans les systèmes viticoles en plus de leur durabilité. Pour atteindre de hautes performances environnementales, des compromis doivent être faits et impliquent une prise de risque dans la maîtrise des maladies (pour ne pas traiter systématiquement) et une acceptabilité d'une altération partielle possible de la vendange. Malgré tout, la durabilité globale de la majorité des prototypes IPM-50% a été évaluée comme satisfaisante. Quant aux prototypes InnoBio, les objectifs de production et de rentabilité ne sont pas atteints chaque année, et nécessitent des réajustements pour valider des résultats prometteurs utilisant les leviers du biocontrôle. Ces résultats permettent d'envisager une diffusion vers les groupes DEPHY FERME et autres réseaux de valorisation pour démontrer chez des agriculteurs la mise en œuvre des stratégies et la faisabilité de la réduction des pesticides. Les futurs projets R&D devront permettre d'aller plus loin dans l'application des concepts de l'agroécologie appliquée à la viticulture en s'appuyant sur la résistance variétale aux maladies, et la fertilité des sols à l'aide de plantes de service, en renforçant les leviers de biocontrôle et les régulations biologiques.

## Références bibliographiques

Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I, Volay T., 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude, INRA Editeur (France), 90 p.

Delière L., Burgun X., Lafond D., Mahé H., Métral R., Serrano E., Thiollet-Scholtus M., Rougier M., Emonet E., Pillet E., 2016. Réseau DEPHY EXPE : Synthèse des résultats à mi-parcours à l'échelle nationale - filière Viticulture. Cellule d'Animation Nationale DEPHY Ecophyto, 70p

Delière L., Cartolaro P., Leger B., Naud O., 2015. Field Evaluation of an Expertise Based Formal Decision System for Fungicide Management of Grapevine Downy and Powdery Mildews. *Pest Management Science* 71, n° 9 (septembre 2015): 1247-57. <https://doi.org/10.1002/ps.3917>.

Institut Français de la Vigne et du Vin, 2010. Méthode Optidose® et Méthode Optidose® pour le Sud-Est en ligne : <https://optidose.vignevin-epicure.com/index>.

Lafond D., Métral R., 2015. Concevoir en partenariat une EcoViticulture ECONomiquement viable et ECOlogiquement responsable par rapport aux pesticides (EcoViti). *Innovations Agronomiques* 46, 39-50.

Lafond D., Coulon T., Métral R., Mérot A., Wery J., 2013. EcoViti : a systemic approach to design low pesticide vineyards. *Integrated Protection and Production in Viticulture*. IOBC-WPRS Bulletin Vol. 85 pp. 77-86.

Métral R., Delière L., Lafond D., Burgun X., Chevrier C., Serrano E., Thiollet-Scholtus M., Wery J., 2017. Conception de systèmes viticoles innovants à bas intrants phytosanitaires pour répondre aux attentes du plan Ecophyto : synthèse des premiers résultats et perspectives. 9ème journée scientifique de la vigne et du vin. Campus INRA/SupAgro Montpellier - 07/03/2017, publié dans Cahier Technique de la Revue Française d'œnologie N°284, 4p.

Métral R., Dubuc M., Delière L., Lafond D., Petitgenet M., Gary C., 2015. DEXIPM-GRAPEVINE©: a multicriteria assessment tool of the sustainability for grapevine farming systems. 19th International Meeting of Viticulture GiESCO, Pech Rouge-Montpellier 31/05 - 04/06 2015. p.319-323.

Métral R., Rapidel B., Delière L., Petitgenet M., Lafond D., Chevrier C., Bernard F-M., Serrano E., Thiollet-Scholtus M., Wery J., 2015. Prototyping method for the re-design of intensive perennial systems: the case of vineyards in France. 5th International Symposium for Farming Systems Design, 7-10 September 2015, Montpellier, France. 2p.

Ministère de l'Agriculture, 2015. Plan Ecophyto II. <http://agriculture.gouv.fr/plan-ecophyto-2015>, 67 pages.

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 ou DOI).