



HAL
open science

Diversifier le peuplement végétal des parcelles viticoles pour réduire les usages de pesticides : le projet DiverViti

David Lafond, Guillaume Delanoue, Esteban Fortin, Garin Pauline,
Keichinger Olivier, Tabuteau Laura, Marie Thiollet-Scholtus

► To cite this version:

David Lafond, Guillaume Delanoue, Esteban Fortin, Garin Pauline, Keichinger Olivier, et al.. Diversifier le peuplement végétal des parcelles viticoles pour réduire les usages de pesticides : le projet DiverViti. Innovations Agronomiques, 2024, 98, pp.69-86. 10.17180/ciag-2024-vol98-art06 . hal-04829242

HAL Id: hal-04829242

<https://hal.inrae.fr/hal-04829242v1>

Submitted on 10 Dec 2024

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 Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Diversifier le peuplement végétal des parcelles viticoles pour réduire les usages de pesticides : le projet DiverViti

David LAFOND¹, Guillaume DELANOUE Guillaume², FORTIN Esteban¹, GARIN Pauline³, KEICHINGER Olivier⁴, TABUTEAU Laura³, THOLLET-SCHOLTUS Marie⁵

¹ IFV Val de Loire Centre, Unité d'Angers, 42 Rue Georges Morel, 49070 Beaucouzé, France

² IFV Val de Loire Centre, Unité d'Amboise, 509 avenue de Chanteloup, 37400 Amboise, France

³ Chambre d'agriculture de Vaucluse, Site Agroparc, 84912 Avignon, France

⁴ Chercheur indépendant, 67600 Sélestat, France

⁵ INRAE, Université de Lorraine, UMR LAE, 68000 Colmar, France

Correspondance : david.lafond@vignevin.com

Résumé

Le projet DiverViti vise à étudier le potentiel de réduction des usages de pesticides en diversifiant le peuplement végétal de parcelles de vigne. Quatre systèmes sur trois sites (Montreuil-Bellay (49), Amboise (37) et Piolenc (84)) ont été conçus. Les méthodes de conception utilisées (prototypage à dire d'expert, co-conception) ont permis de concevoir des systèmes adaptés aux contextes locaux, mais complexes. Le système d'Amboise, planté en 2013, a permis de montrer l'intérêt d'associer des rosiers à la vigne pour permettre aux parasitoïdes de cicadelles du genre *Anagrus* de compléter leur cycle sur la parcelle. Les systèmes des sites de Montreuil-Bellay et de Piolenc, plantés en 2019, sont encore trop jeunes pour tirer des conclusions définitives, cependant quelques enseignements peuvent en être tirés sur l'implantation d'un couvert total, ou sur l'impact de ces systèmes sur la biodiversité.

Mots-clés : viticulture, diversification des cultures, combinaison de leviers, évaluations de performances agronomiques et de durabilité

Abstract : Diversifying the vegetation on vineyard plots to reduce pesticide use

The DiverViti project aims to study the potential for reducing pesticide use by diversifying the plant population of vineyard plots. Four systems on three sites (Montreuil-Bellay (49), Amboise (37) and Piolenc (84)) were designed. The design methods used (expert prototyping, co-design) produced systems adapted to local contexts, albeit complex ones. The Amboise system, planted in 2013, demonstrated the value of combining roses with vines to enable parasitoids of leafhoppers of the genus *Anagrus* to complete their cycle on the plot. The systems on the Montreuil-Bellay and Piolenc sites, planted in 2019, are still too young to draw definitive conclusions, but some lessons can be learned about the implementation of a total greencover, or the impact of these systems on biodiversity.

Keywords : vineyard, innovation, diversity, set of levers, assessment of viticultural performances, sustainability of vineyard

1. Introduction

Le projet DiverViti (projet DEPHY EXPE 2018-2023) vise à concevoir et évaluer des systèmes viticoles s'appuyant sur la diversification du peuplement végétal des parcelles. Il comprend trois sites, dont l'un a été planté en 2013 lors d'un précédent projet DEPHY EXPE (le projet EcoViti Val de Loire, Lafond et al. 2018), au lycée viticole d'Amboise (37), et les deux autres en 2019, après une phase de conception en 2018, au domaine expérimental de l'IFV à Montreuil-Bellay (49) et au domaine de la chambre d'agriculture de Vaucluse à Piolenc (84). Au terme des 6 ans de projets, nous présentons ici les résultats finaux issus



du site d'Amboise et les premiers résultats des sites de Montreuil-Bellay et Piolenc, ces deux sites étant toujours en cours de suivi.

2. Conception de systèmes diversifiés

2.1. Méthodes de conception

2.1.1. Cadre général de conception

Différentes méthodes de conceptions ont été utilisées sur les différents sites du projet. L'ensemble de ces méthodes se situent dans le cadre de la conception innovante (Le Masson et al. 2006). L'objectif est de concevoir *de novo* des systèmes, par rapport aux objectifs fixés *a priori*. Pour ces systèmes on vise une reconception complète, par opposition à des systèmes ayant recours seulement à des leviers d'efficacités ou de substitution (Hill & MacRae 1995).

Les systèmes étudiés sont issus de conception *de novo*, c'est-à-dire en partant d'une feuille blanche, par opposition aux démarches dites *pas à pas*, qui consistent à faire évoluer progressivement un système existant (Meynard et al. 2012). Ces systèmes une fois conçus ont été traduits en règles de décisions (RDD) formalisées. La modalité de travail sur ces systèmes est l'observatoire piloté, c'est-à-dire que l'élaboration des RDD se fait tout au long de l'expérimentation, et que les RDD sont susceptibles d'évoluer fortement au fil des années.

2.1.2. Conception par prototypage à dire d'experts (Piolenc, Amboise)

Deux des systèmes conçus l'ont été lors du projet CASDAR EcoViti (Lafond 2013), celui d'Amboise et celui de Piolenc. Ce projet a pendant trois ans réuni un groupe d'experts en viticulture de différents horizons et de différentes spécialités, afin de concevoir des prototypes de systèmes de culture viticoles à faible usage de pesticides. La base du système de Piolenc est issue d'un des premiers ateliers de conceptions réalisés lors de ce projet, le prototype proposé pouvant être résumé ainsi : variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium, taille minimale, enherbement total, fertirrigation enterrée. Par la suite, ce prototype a été retravaillé en 2018 par l'équipe projet pour aboutir au système finalement implanté. Ces réflexions ont notamment permis l'ajout de la culture associée du thym et l'intégration d'animaux (cf. 0).

Le site d'Amboise est issu d'un atelier de réflexion sur la diversification des cultures, visant à envisager des synergies entre cultures afin de réduire la pression des bioagresseurs. Cet atelier a conduit à envisager l'association vigne / rosiers, qui a ensuite été implantée sur le site d'Amboise en 2013, lors d'un précédent projet DEPHY EXPE.

2.1.3. Co-conception (Montreuil-Bellay, Amboise)

Lors de la conception du système implanté sur le site de Montreuil-Bellay, l'équipe projet avait quelques idées sur les leviers à mettre en œuvre, mais sans *a priori* sur la manière de les combiner dans un système. Il a donc été décidé d'organiser des ateliers de conception avec la communauté technique locale. Trois ateliers ont été organisés en 2018, 2019 et 2020 par l'IFV. Les participants ont inclus des agriculteurs, des techniciens de cave coopérative, des conseillers de chambre d'agriculture et indépendants, des formateurs de l'enseignement agricole secondaire et supérieur, et des membres de l'équipe IFV. Le premier atelier a permis de définir l'organisation générale du système, le second s'est concentré sur la gestion du sol, et le troisième sur la gestion des traitements phytosanitaires. Chacun de ces ateliers a donné lieu à plusieurs propositions, qui ont servi de base de travail à l'équipe de l'IFV. Cette démarche a permis de s'appuyer sur une diversité d'expertises pour construire un système cohérent et adapté aux conditions locales.



Le site d'Amboise a également fait l'objet d'un atelier de co-conception en 2021 pour voir comment aller plus loin dans la diversification du système. Cet atelier a permis d'ouvrir des perspectives pour ce site, de manière théorique car le suivi de ce site s'est terminé en 2023.

2.2. Résultats de la conception : 3 sites diversifiés

Le **Tableau 1** présente les différentes stratégies adoptées en fonctions des systèmes. Les systèmes sont décrits en faisant ressortir la cohérence dans les paragraphes suivants.

Tableau 1 : répartition des stratégies par système (haut) et impact sur les principaux bioagresseurs (bas : 1 : impact majeur, 2 : impact secondaire).

	Couverture du sol	Gestion de la vigueur	Plantes relais <i>Anagrus</i>	Plantes relais oïdium	Plantes relais tordeuses	Parasitoïdes des	CONFUSION TORDEUSES	SEXUELLE	Arbres	Diversification production	Vitipastoralisme	Système de conduite	Variétés résistantes	Choix des produits	Pulvérisation confinée	Fertirrigation enterrée
Amboise	X	X	X	X						X				X		
Montreuil-bellay	X	X		X	X			X				X		X	X	
Piolenc 1	X	X		X			X	X	X	X	X	X		X		X
Piolenc 2	X	X		X			X	X	X	X	X	X	X	X		X
Mildiou		2								2	2	2	1	1	1	
Oïdium		2		1						2	1	1	1	1	1	
Botrytis		1								2	1					
Cicadelles			1							2				1		
Tordeuses					1	1	2	2	2	2				1		
Adventices	1									2	1					1

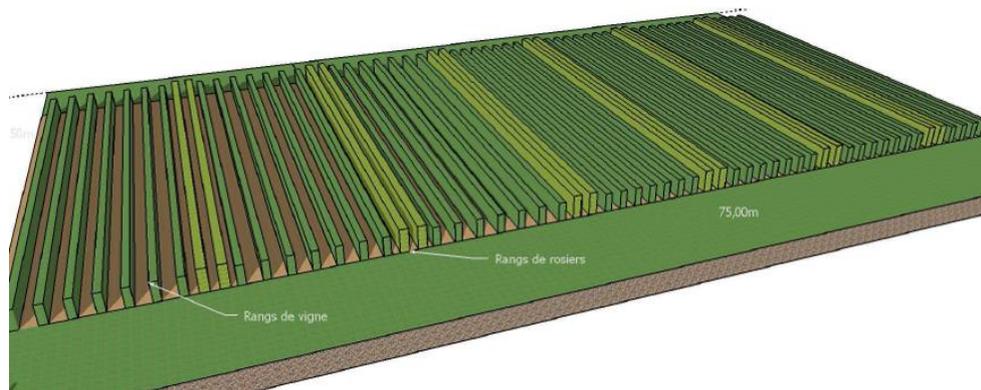
2.2.1. Amboise

Le site d'Amboise (Figure 1) a été conçu lors d'un atelier du projet CASDAR EcoViti ((Lafond et al. 2018). Ce projet, le premier développant les approches systèmes en viticulture, a été à l'origine de plusieurs systèmes expérimentés dans la première génération de projets DEPHY EXPE. L'atelier en question consistait à se demander quelles associations de cultures pourraient permettre une baisse significative des usages de pesticide sur la vigne. L'un des processus envisagés était la combinaison de rosiers avec la vigne pour permettre à un parasitoïde des cicadelles, *Anagrus sp.*, de boucler son cycle sur les rosiers. Or, le cépage Côt utilisé en appellation Touraine Amboise est particulièrement sensible à la cicadelle verte *Empoasca vitis*. Ce parasitoïde hiverne sous forme d'œuf de cicadelle parasité, or *Empoasca vitis* passe l'hiver en diapause, à l'état adulte. Certaines cicadelles des rosacées passent par contre l'hiver sous forme d'œuf, ce qui permettrait à *Anagrus* de boucler son cycle. Le système proposé associe donc vigne et rosiers à parfum. La parcelle Ecoviti en AB plantée en 2013 est d'une surface de 0,5 ha, cépage



Côté. 2 rangs de rosiers sont plantés tous les 7 rangs de vignes : 1 rang rosier à fleurs blanches, 1 rang rosier à fleurs rouges (Parfum de Honfleur / Sweet Love).

Figure 1 :
Représentation simplifiée de la parcelle du site d'Amboise



2.2.2. Piolenc

Le site de Piolenc (Figure 2) a été réfléchi dans le but de concevoir un modèle agricole intégré utilisant la diversification afin de renforcer la résilience des systèmes. De plus, le fait de favoriser la couverture maximale du sol et de mettre en place des pratiques telles que l'éco-pâturage permettait d'optimiser l'utilisation des ressources tout en préservant la biodiversité. Ce modèle s'appuie sur les piliers de l'agroécologie tout en tenant compte du contexte méditerranéen et de ses problématiques.

La diversification permet une plus grande prise de risque dans la gestion des intrants (diminution d'IFT attendue). La culture associée est le thym à linalol (planté sur toile tissée), plante rustique qui se récolte en avril/mai avant les traitements sur vigne. Cela permet durant une année à forte pression maladie de compenser la diminution de production d'un atelier par un autre.

La couverture du sol doit être maximale pour préserver la qualité et la vie du sol, stocker du carbone et favoriser la biodiversité. Ainsi, de la piloselle épervière a été plantée sous le rang, tapissant le cavaillon, et un enherbement diversifié a été semé en inter-rang lors de la plantation. Cette couverture du sol est donc limitante en termes de production de raisins mais incite la vigne à s'enraciner en profondeur.

La diversification et la couverture totale du sol nécessite la mobilisation de leviers favorisant la production. La taille minimale permet de faciliter l'entretien de la parcelle en réduisant le temps de travail. De plus, ce système de conduite semble limiter la sensibilité aux maladies cryptogamiques (observation sur le terrain). La simplicité d'entretien ainsi que la réduction des traitements entraînent alors une réduction du coût de production. La fertirrigation enterrée en profondeur favorise un fort rendement pour assurer une production et donc un revenu suffisant. De plus, le fait de ferti-irriguer diminue le passage de tracteur et donc le tassement de sol et l'usage de carburant.

Afin de réduire l'IFT, deux systèmes ont été choisis utilisant pour levier le matériel végétal :

- Piolenc 1 : variétés résistantes rouges aux maladies cryptogamiques (Resdur 2 : 1082L) ;
- Piolenc 2 : mélange de plusieurs cépages *vinifera blancs* (Rolle, Clairette, Colombard et Muscat d'Alexandrie)

L'usage de porte-greffe vigoureux permet de compenser la concurrence hydrique. La gestion de l'enherbement est réalisée par une tonte saisonnière, permettant aussi d'entretenir les abords du thym. De plus, afin de gérer et valoriser la surface enherbée et de faire profiter le sol des déjections animales, de l'éco-pâturage est réalisé durant la période hivernale. Des ruches ont été mises en place sur la parcelle, afin de favoriser et valoriser la présence d'insectes pollinisateurs. En effet, les interactions gagnant/gagnant entre producteurs sont ainsi favorisées à l'échelle du territoire.

Afin de favoriser la biodiversité, plusieurs habitats ont été mis en place comme un perchoir à rapaces, des niches à chiroptères, des tas de cailloux pour les reptiles, une haie diversifiée, des refuges à abeilles sauvages, etc. Enfin, des partenariats ont été développés afin de diffuser les résultats en cours de projet :

(i) un projet tutoré de suivi de la biodiversité a été mis en place en 2016, avec l'Université d'Avignon. (ii) le Groupe Chiroptères de Provence a participé en 2015, à l'installation de gîtes pour favoriser l'installation de pipistrelles de Kuhl susceptibles de prédateur les eudémis.

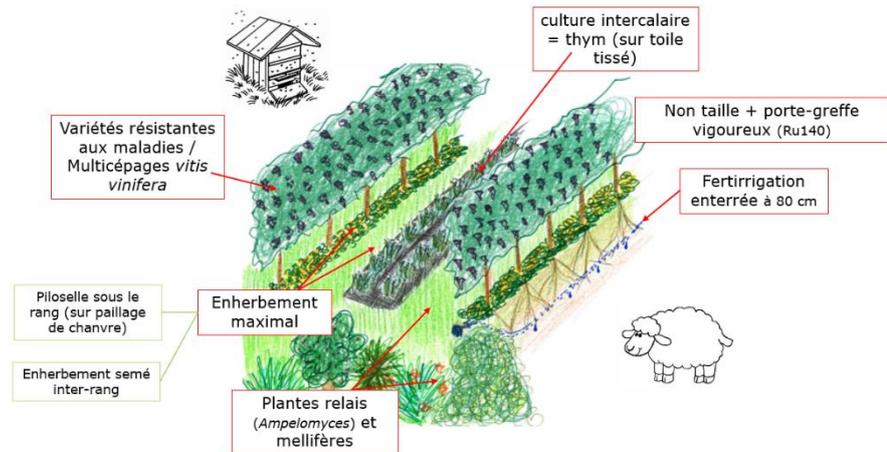


Figure 2 : Schéma synthétique du dispositif sur la parcelle de Piolenc

2.2.3. Montreuil-Bellay

La parcelle expérimentale du site de Montreuil-Bellay (Figure 3) est située sur une butte, ce qui a fortement conditionné les résultats du processus de conception. Dans les propositions faites par les groupes de travail, la mise en place de terrasses était proposée, mais cette option n'a pas été retenue par l'équipe projet, d'une part pour éviter de perturber les horizons de sol par un terrassement important, et d'autre part pour des questions budgétaires, le cout engendré pouvant être important et n'étant pas prévu dans le projet. Le projet final est une parcelle agroforestière, avec une plantation de chêne truffiers au centre, l'idée générale étant de permettre une bonne circulation de la biodiversité dans la parcelle depuis des zones refuges (haies, chêne truffiers) vers la vigne via les alignements d'arbres et les couverts.

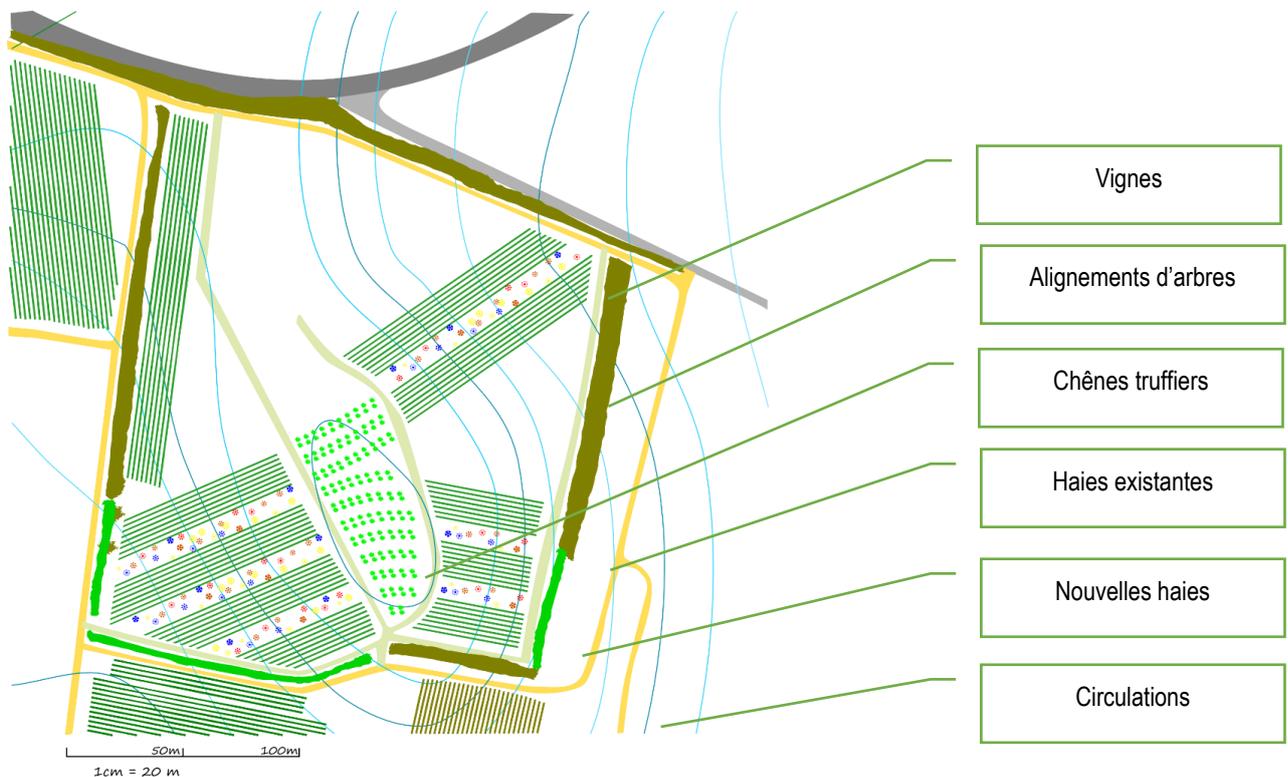


Figure 3 : Schéma synthétique de la parcelle de Montreuil-Bellay



Outre le volet biodiversité, la segmentation de la parcelle par les rangées d'arbres pourrait permettre de limiter les propagations de bioagresseurs.

La présence d'un couvert permanent a été actée, segmentée en trois parties :

- Un inter-rang de passage du tracteur composé de plantes destinées à favoriser la structure du sol et résistantes au tassement (Vesce, lotier, radis, fétuque, pissenlit, plantain, trèfle, mélilot, véronique de perse)
- Un inter-rang « biodiversité » destiné à assurer un étalement de floraison tout au long de la saison et à fournir gîte et couvert aux auxiliaires (Achillée, Vesce, Lotier, Aneth, Carotte sauvage, Phacélie, Sainfoin, Pâturin, Pâquerette, Mélilot, Ciboulette sauvage, Anthémis des teinturiers, Souci, Bleuet, Gaillet jaune, Coquelicot, Saugue des prés, Silène penché, Silène enflé)
- Un couvert sous le rang destiné à couvrir le sol sans trop concurrencer la vigne (Pâturin, Lotier, Trèfle blanc nain, Thymus longicaulis autour des ceps)

Ce couvert total a été semé en 2019, au moment de la plantation.

Il pourrait également avoir un effet sur la limitation des contaminations de mildiou, en limitant les éclaboussures liées aux pluies, vectrices des contaminations primaires.

Le cépage utilisé (Chenin B.) est un cépage emblématique de la région. Le choix s'est porté sur une variété sensible, compte tenu de la prédominance de ces variétés dans le paysage viticole et le fait que d'autres projets s'intéressaient à l'utilisation de la résistance variétale. Le porte greffe choisi (1103 Paulsen) est connu pour conférer une vigueur importante au greffon et une moindre sensibilité à la sécheresse, ce qui devrait permettre un meilleur développement de la vigne malgré le couvert permanent.

Le système de conduite choisi, la taille en haie semi-minimale, a été choisi car il devrait permettre une moindre sensibilité de la vigne aux maladies cryptogamiques, avec un arrêt de croissance plus précoce, donc l'arrêt de productions de jeunes feuilles, plus sensibles aux maladies, et des grappes plus aérées, plus petites et réparties dans toute la canopée (Intrieri et al. 2011).

Enfin, pour limiter l'effet des traitements sur les auxiliaires, un pulvérisateur confiné sera utilisé pour réaliser les traitements. Cela permet en outre de limiter les quantités de matières actives apportées à l'hectare.

3. Expérimentation et évaluation des systèmes diversifiés

3.1. Méthodes d'expérimentation et d'évaluation

3.1.1. Mise en place des parcelles expérimentales

Le site d'Amboise était déjà implanté depuis 2013, permettant la réalisation de suivis complets dès le début du projet. En revanche, pour les sites de Montreuil-Bellay et Piolenc, la mise en place des systèmes a dû être réalisée les premières années du projet (en 2019 et 2018 respectivement). Les itinéraires techniques innovants testés ont complexifié les travaux d'installation (fertirrigation, déroulage de paillage en feutre, agroforesterie...).

Les observations et mesures réalisées se partagent en différents types en fonction de l'objectif :

- Indicateurs de pilotages : ces indicateurs étaient définis dans la description des règles de décision. Ils servaient à déclencher (ou non) certaines opérations. Ils étaient suivis par les pilotes des expérimentations (Exemples : stades phénologiques, état sanitaire, état hydrique du sol et du végétal, etc.).



- Indicateurs d'évaluation : ces indicateurs permettaient de vérifier l'atteinte des objectifs assignés au système (Exemples : Indice de Fréquence de Traitement, rendement, suivi de maturité, microvinification, dégustation, etc.)
- Indicateurs d'analyse : ces indicateurs permettaient de comprendre le déroulement de la campagne et d'expliquer dans le cas échéant la non-atteinte des objectifs assignés au système (Exemples : mesure de fréquence et intensité des maladies fongiques et ravageurs, rendement, suivi de maturité, etc.).

3.1.2. IFT

La pression d'usage des produits phytopharmaceutiques est évaluée à l'aide de l'Indice de Fréquence des Traitements (IFT) pour l'ensemble des traitements mais aussi détaillée pour les fongicides, les herbicides et les produits de biocontrôle utilisés puis comparée aux références régionales (en 2013, IFT = 13,6 en Val de Loire et IFT = 9,6 en vallée du Rhône) (Pujol, 2017).

3.1.3. Résultats agronomiques : Parmi les différents suivis agronomiques réalisés au cours de l'essai, les rendements des systèmes sont ici présentés.

3.1.3. Biodiversité

Divers suivis de biodiversité ont été réalisés en fonction des objectifs des systèmes. L'objectif de ces suivis pouvait être de deux natures :

- Voir l'impact du système sur la biodiversité générale : des suivis ont été effectués suivant différentes méthodes en fonction des taxons : quadras, inventaires floristiques, pièges barber, filet faucheur pour les arthropodes, écoutes et observations pour les oiseaux...
- Valider la mise en place d'un processus de régulation particulier : dans ce cas les suivis étaient axés sur le taxon concerné (prélèvements de feuilles oïdiés et suivis PCR pour *Ampelomyces quisqualis*, piégeages et émergences pour *Anagrus sp...*).

3.1.4. Evaluation multicritère avec des indicateurs de la méthode INDIGO®

L'évaluation de la durabilité environnementale des modalités « témoin » et « dephy » est faite à l'aide de la méthode INDIGO®-vigne (Thiollet-Scholtus & Bockstaller, 2015), calculant des risques pour chacun des compartiments environnementaux en lien avec les pratiques de l'itinéraire technique viticole. Chaque indicateur est rapporté à une échelle de 0 (risque maximal) à 10 (aucun risque), avec un seuil de 7/10 correspondant aux recommandations de la viticulture intégrée. L'indicateur I-phy évalue les risques du programme de pulvérisation de pesticides pour la qualité des eaux souterraines, la qualité des eaux de surface, la qualité de l'air, la mortalité des auxiliaires de la vigne et la quantité de pesticides mise dans la parcelle. L'indicateur I-N évalue les risques de fuites d'azote dans l'atmosphère et dans les eaux souterraines en lien avec le programme de fertilisation et de minéralisation de l'azote. L'indicateur I-MO évalue le risque de perte de matière organique du sol de la parcelle, en fonction des entrées sous forme d'amendement organique ou de gestion d'un couvert végétal par exemple et sous forme de sorties par les bois de taille et le travail du sol par exemple. L'indicateur I-en évalue la consommation totale de l'itinéraire technique en énergies non renouvelables. Aussi bien pour les « témoins » que pour les « dephy », les itinéraires techniques ne discriminent pas suffisamment en dessous de 9500 kJoules/ha/an. C'est pourquoi, les résultats sont présentés en valeur absolue (kJoules/ha/an) et non en note d'indicateur comme pour les autres indicateurs. Le seuil de 9530 kJoules correspond à la note de 10 de l'indicateur I-en. Et l'indicateur I-CS évalue le risque d'érosion hydrique et de déstructuration du sol de la parcelle en fonction de la couverture du sol, de la pente et de la longueur de pente et de la répartition des pluies sur la parcelle. Comme toutes les parcelles du projet son enherbées totalement, la valeur de I-CS est de 10/10 et il n'y a donc pas d'érosion hydrique sur aucune des parcelles du projet.



3.2. Résultats

3.2.1 Résultats du site d'Amboise

Les résultats originaux du site d'Amboise concernent principalement la régulation des cicadelles vertes par les parasitoïdes du genre *Anagrus*. C'est en effet le principal processus identifié ayant donné lieu au dispositif expérimenté. Pour le reste, la conduite était classique, suivant le cahier des charges de l'agriculture biologique, comme une partie du domaine. Il était prévu de diversifier les leviers pour accentuer la baisse de l'IFT, mais l'atelier de conception prévu à eu lieu tardivement dans le projet (en 2022), et il n'a pas été possible de mettre en place les évolutions proposées.

Ainsi les résultats agronomiques (IFT et rendement) ne montrent que peu de différence avec la référence AB (Figure 4).

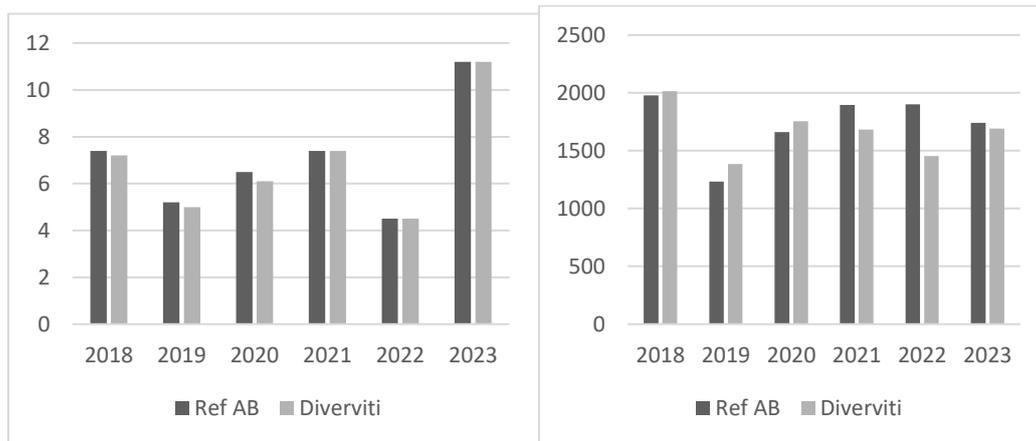


Figure 4 : IFT (à gauche) et rendement (à droite, en g par souche) par du système d'Amboise, comparé à la référence AB du domaine

Le rendement en huile essentielle de rose n'a pas pu être évalué, car les quantités de pétales produites sont trop faibles pour permettre une distillation en un lot.

Sur la parcelle d'Amboise, nous nous sommes intéressés au rôle de l'implantation de rosiers constituant théoriquement un habitat pour les parasitoïdes oophages *Anagrus* sp de la cicadelle verte. Nous avons analysé si les parasitoïdes du genre *Anagrus* sont présents dans la parcelle EcoViti.

Le genre *Anagrus* spp est un micro-Hyménoptère de 0,6 mm, faisant parti de la Super-famille de Chalcidoïde, et de la famille des Myrmaridae. Il existe ainsi plusieurs espèces d'*Anagrus*, 5 répertoriées et il est très difficile de les identifier autrement que par séquençage ADN.

Une fois les œufs d'*E. vitis* (insérés dans les nervures des feuilles de vignes) parasités par les Myrmaridae ils prennent une couleur orangée qui les rend plus visibles. *Anagrus atomus* est de loin l'espèce prépondérante, responsable de 72% à 100% du parasitisme sur la cicadelle verte de la vigne.

Suivi des populations de cicadelles et *Anagrus* dans les rosiers et autres essences de la haie adjacente

La méthode retenue pour ce suivi est celle des seaux éclosiers. Des prélèvements de feuilles de vigne de la parcelle Ecoviti et d'une parcelle témoin sans rosiers ont été réalisés tous les ans afin d'observer les émergences du parasitoïde. Les feuilles et rameaux de rosiers collectés ont été placés dans des seaux « éclosier » (seaux de 11L pour 100 feuilles, fermés par un tamis). Les éclosiers sont des seaux de 10 à 12L avec un couvercle contenant une ouverture recouverte de toile bluter (maille : 100 µm). Sur le terrain, après avoir retiré les larves de cicadelles et autres arthropodes, les lots de 100 feuilles avec pétiole sont mis dans l'éclosier. Ensuite ils sont stockés dans une salle à 24°C, avec une humidité relative minimale de 50%. Après 15 jours, les feuilles sont mises à tremper pendant au moins 4 heures dans 8 l



de solution dite de trempage. Cette solution est une dilution aqueuse de Javel (0,5%) et de Triton X100 (0,1%). Après cette période de trempage, les feuilles sont lavées une à une, l'eau de trempage et celle de rinçage sont filtrées sur les tamis de 425 μ et de 75 μ . Ces derniers sont observés à la loupe binoculaire, aux grossissements x12 et x25. Les larves de cicadelle et les parasitoïdes oophages sont dénombrés, on isole ces derniers pour identification par barcode moléculaire avec la base de données Bold Systems.

Nous avons tout d'abord constaté que les cicadelles sur la parcelle EcoViti ont 100% d'identité avec des séquences d'*Empoasca decipiens* -considérée comme un parasite très destructeur des grandes cultures et les cultures de légume- et non pas la cicadelle *Empoasca vitis* qui n'a pas été observée sur EcoViti cette année-là.

Les résultats des analyses d'émergence suggèrent que le taux de parasitisme de la cicadelle est plus important dans la parcelle EcoViti (Tableau 2). Les collectes précédentes ont confirmé la présence d'un complexe d'*Anagrus* : *A. atomus*, *A. ustulatus* et une espèce inconnue *A. « Ecoviti »* non répertoriée dans Bold Systems, dans Ecoviti et son environnement. *A. atomus* semble être présente uniquement dans la vigne et les rosiers de la vigne. *A. ustulatus* est le seul à avoir été retrouvé dans la vigne, la haie et les rosiers inter-rangs (cf tableau) « *A. ecoviti* » est la seule espèce retrouvée dans la vigne, on peut donc se demander quel est son hôte refuge hivernal qui doit être une cicadelle qui hiverne à l'état d'œuf. *A. parvus* n'est pas répertoriée dans Bold Systems, il s'agit peut-être de *A. ecoviti*.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des espèces de micro-hyménoptère retrouvées dans les rosiers, la vigne et la haie adjacente

ESPECES PARASITOÏDES OOPHAGES IDENTIFIEES	DE PRESENCE	PARASITOÏDE DE EMPOASCA DECIPIENS	DE PARASITOÏDE DE EMPOASCA VITIS
ATOMUS	Rosiers Ecoviti, vigne	Oui	Oui
USTULATUS	Rosiers Ecoviti, rosiers de la haie	Pas de données	Oui
« ECOVITI »	Vigne	Pas de données	Pas de données
STETHYNIUM TRICLAVATUM	Vigne	Pas de données	Oui

D'une part cette étude démontre qu'il peut y avoir d'autres cicadelles que la cicadelle verte et d'autre part qu'elles sont parasitées par plusieurs espèces d'*Anagrus*, pas seulement *A. atomus*. Cette étude confirme aussi l'intérêt des rosiers en inter-rangs pour abriter d'autres cicadelles, hôtes secondaires d'*Anagrus* pour hiverner à l'état d'œuf.

3.2.2 Montreuil Bellay

La parcelle de Montreuil-Bellay a connu un développement très limité en raison du choix fait d'implanter un couvert dès le début de la culture, ce qui a entraîné une forte concurrence. En outre, la gestion de ce couvert a été voulue pour être le moins interventionniste possible, afin de permettre à une biodiversité florale importante de s'installer. La vigne n'est donc pas entrée en production et la croissance a été extrêmement limitée durant les 5 premières années. La mortalité a été faible la première année (2%) car les couverts étaient en phase de développement, avant d'augmenter pour atteindre 20 % en 2022, puis se stabiliser en 2023.

Aucun traitement n'a été effectué sur la durée de l'essai donc nous n'avons pas calculé d'IFT. En effet aucun symptôme n'a été détecté dans des proportions déclenchant des traitements dans les règles de décision. Dans tous les cas, les notations de fin de saison effectuées montrent des niveaux d'attaques toujours inférieurs à 2 % de ceps présentant des symptômes, que ce soit pour le mildiou ou l'oïdium. Cela



peut s'expliquer par la faible pousse de la vigne, la forte pousse du couvert qui aura joué le rôle de barrière physique, et l'absence d'inoculum endogène à la parcelle, puisque la vigne précédente a été arraché en 1996.

Au niveau biodiversité (Figure 5), les suivis floristiques et faunistiques montrent un étalement de floraison tout au long de la campagne, ce qui permet de nourrir les auxiliaires, en particulier des adultes de parasitoïdes de tordeuses, qui se nourrissent de nectar (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, par exemple). Nous avons distingué les plantes nectarifères dans ce suivi (plantes dites favorables aux auxiliaires). A noter que les espèces semées en 2019 sont loin d'être tous présentes (cf. § 0), et qu'un grand nombre d'autres sont identifiées. C'est lié à la volonté de laisser un équilibre naturel se mettre en place et d'intervenir au minimum, tant que les fonctions du couvert sont remplies.

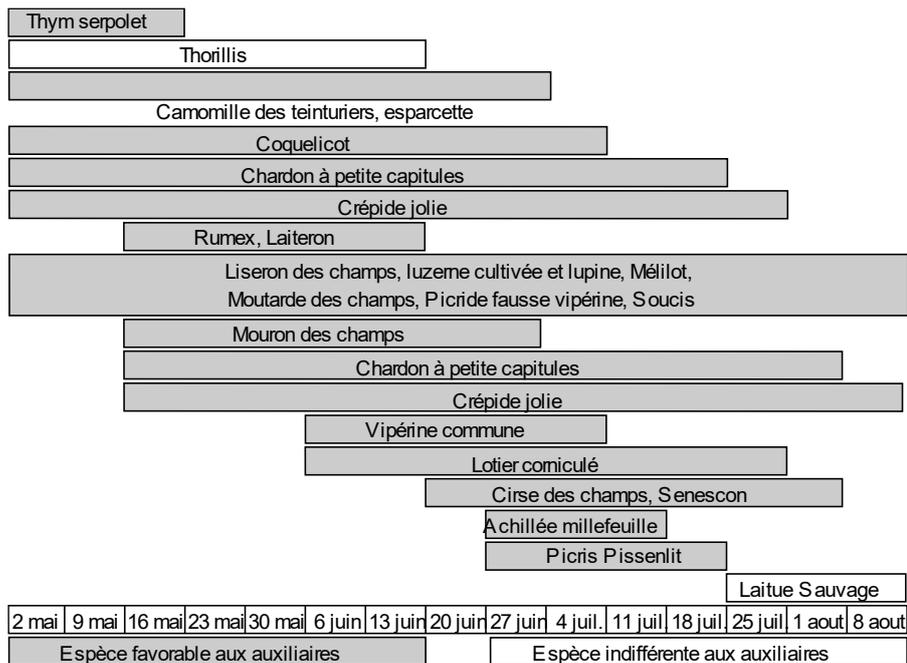


Figure 5 : Répartition de floraison au cours de la campagne 2022, site de Montreuil-Bellay

Au niveau faune, des suivis au filet faucheur et au piège Barber ont montré une grande diversité de groupes (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Certains groupes attendus ne sont pas encore présents, par exemple les parasitoïdes de tordeuses, ce qui est complètement normal en l'absence de grappes sur la vigne.

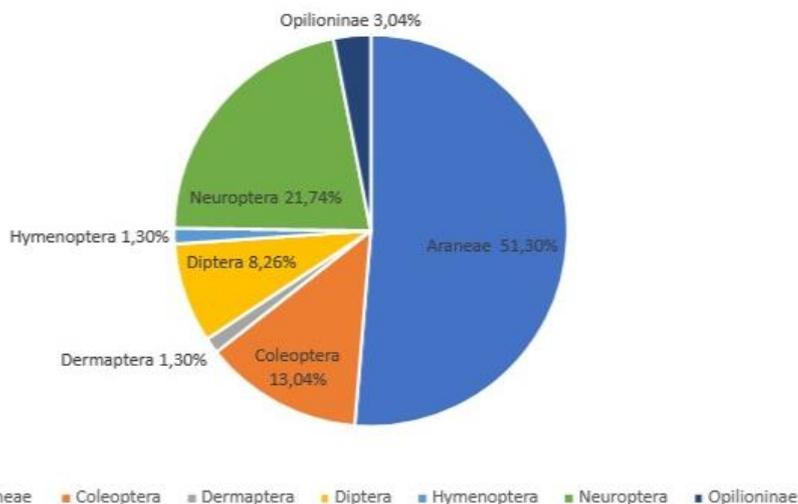


Figure 6 : Répartition des ordres des auxiliaires capturés sur la parcelle de Montreuil-Bellay en 2022, abondance totale = 234 individus



Certaines conséquences imprévues de la diversification à la conception des systèmes se sont manifestées sur le site de Montreuil. Le premier est une prolifération en 2020 de *Theba pisana*, petits escargots blancs se nourrissant en début de saison des jeunes feuilles. Leur présence très importante a causé l'arrêt de croissance de nombreux ceps quand ils ont consommé l'apex des rameaux. La situation s'est ensuite progressivement régulée, et les populations ont été beaucoup moins importantes

Un deuxième bioagresseur est également apparu, identifié en 2023, dommageable cette fois pour les arbres. Il s'agit de la cicadelle bubale *Stictocephala bisonia*. Les blessures causées par cet insecte pour pondre sur les arbres entravent la croissance et limitent le développement des arbres d'alignement. Il est favorisé par la présence de végétation au pied des arbres, car les larves vivent sur des plantes herbacées, ce qui est par construction le cas dans notre système.

Ces deux exemples montrent que la diversification peut avoir des effets indésirables. Ces problèmes peuvent se réguler naturellement, comme ce fut le cas pour *Theba pisana*, ou nécessiter une réflexion plus approfondie, comme ce sera le cas pour *Stictocephala bisonia* si le problème ne se régule pas de lui-même.

Les résultats de l'évaluation multicritères de la parcelle de Montreuil-Bellay (Figure 7) montrent que la parcelle ne présente pas de risque majeur pour les compartiments de l'environnement évalués. Tout d'abord, la qualité des eaux de surface et de profondeur, la qualité de l'air ne sont pas affectées, et les doses de produits phytosanitaires ne présentent pas de risque non plus : l'indicateur I-phy présente une valeur de 10 toutes les années de l'étude : 10 correspond à aucun risque pour l'environnement. Deuxièmement, la parcelle de Montreuil-Bellay n'induit pas de fuite d'azote que ce soit dans le sol ou dans l'atmosphère. En effet, les résultats de l'indicateur I-N varient de 6 (2019) à 10 (stable à partir de 2021). L'indicateur I-N prend en compte dans son calcul de risque la fertilisation azotée des 3 années précédant l'année de calcul. C'est pourquoi, le résultat est de 6/10 en 2019. Ceci correspond à la gestion de la parcelle avant la mise en place de l'expérimentation système agroécologique. Troisièmement, la consommation d'énergies non renouvelables est très faible sur la parcelle de Montreuil-Bellay : ceci se voit dans le résultat de l'indicateur I-en. L'indicateur I-en présente de très bons résultats car la consommation d'énergie est très faible, voire nulle. En effet, à Montreuil-Bellay, il y a très peu de passage d'outils et aucun traitement pesticide ni d'usage d'engrais minéral. C'est le choix qui a été fait lors de la conception du système expérimenté à Montreuil-Bellay : réduire le nombre de passage de tracteurs qui utilisent des énergies fossiles. Enfin le risque de déstructuration du complexe argilo-humique du sol est fort dans la parcelle de Montreuil-Bellay : I-MO présente un résultat de 2/10. La présence et le broyage de couvert végétal permanent, la présence d'un semis ou encore l'apport d'engrais organique contribuent à préserver la structure du sol. Mais à pratiques de gestion du sol identiques, ce sont les caractéristiques du sol et du climat qui font varier la minéralisation de la matière organique et donc les résultats de l'indicateur I-MO sur le site de Montreuil-Bellay. L'indicateur n'a été calculé qu'une seule fois parce que les pratiques de fertilisation et d'entretien du sol ne varient pas au cours des années d'étude.

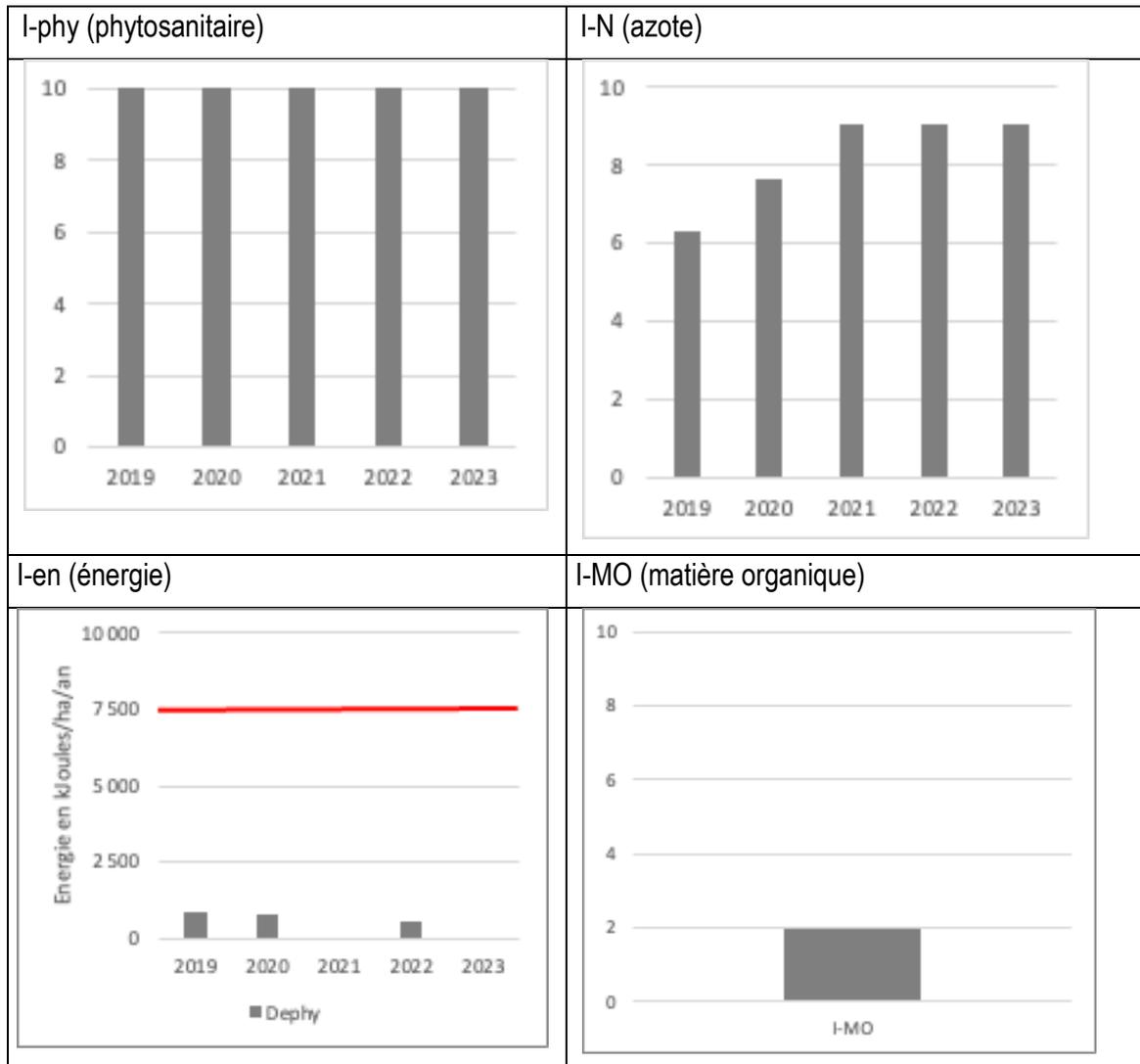


Figure 7 : Résultats de l'évaluation environnementale de la parcelle de Montreuil-Bellay par année

3.2.3. Site de Piolenc

L'un des principaux enjeux du projet était la réduction des intrants phytosanitaires (évalué par l'IFT **Figure 8**). Les objectifs de réduction de l'IFT de chaque site par rapport à la référence hors-herbicides/biocontrôles étaient :

- Piolenc 1 (Variétés résistantes) : -100%
- Piolenc 2 (multi-cépages *Vitis vinifera*) : -50%

Concernant le site de Piolenc 1, la réduction moyenne (de 2021 à 2023) de l'IFT était de - 98 %. En effet, il est conseillé d'appliquer 1 à 2 traitements fongiques en fonction de la pression des maladies cryptogamiques sur les variétés résistantes (risque de contournement, instruction de l'INRAE). En 2023, un traitement au cuivre a été réalisé car la pression épidémique était importante (cf. Tableau 2). En revanche, l'usage de biocontrôles (par exemple : COS-OGA) permettrait de réduire la dose de cuivre/hectare. Durant des années humides, le niveau d'infestation du black rot est plus élevé, dû à la sensibilité des variétés résistantes. Le site de Piolenc 1 permet globalement une bonne maîtrise des bioagresseurs, hormis la présence de *Lobesia botrana* en raison des grappes compactes et de la forte production de la parcelle (cf. Tableau 2).

A propos du site de Piolenc 2, la réduction moyenne (de 2021 à 2023) de l'IFT était de - 83 %. Ce type de système permettait de tirer profit de la résilience via les différentes sensibilités aux maladies cryptogamiques des cépages. De plus, l'usage de biocontrôles et l'optimisation de la dose à l'aide de la méthode Optidose® contribuaient à cette réduction. Le site de Piolenc 2 permet une plutôt bonne maîtrise des bioagresseurs (Tableau 3). Cependant, il est important de noter la difficulté d'avoir une culture intercalaire sur la parcelle, notamment durant un printemps pluvieux. En effet, avant récolte du thym, celui-ci devait être exempt de produits phytosanitaires. La date de récolte du thym pouvait impacter négativement l'état sanitaire de la vigne (notamment le mildiou), si trop tardive par rapport au stade de la vigne. Les dates de traitement de la vigne et de la récolte du thym doivent se raisonner en fonction des enjeux économiques des deux productions.

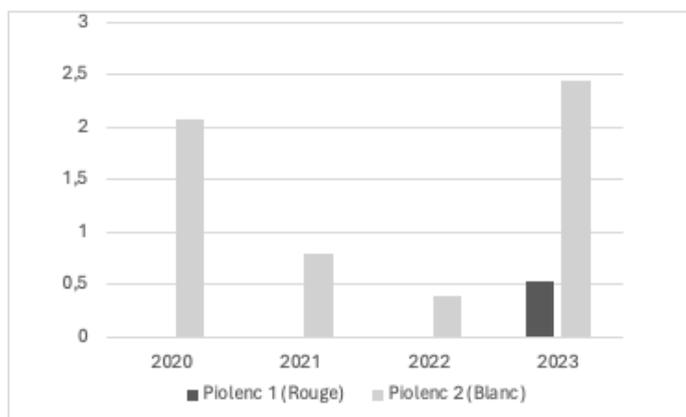


Figure 8 : IFT des systèmes de Piolenc

Tableau 3 : Maîtrise des bioagresseurs par système et années, représenté par un code couleur et illustré par le niveau d'infestation relevé en fin de saison pour les maladies cryptogamiques (mildiou, oïdium et black rot) et le bilan de 3^{ème} génération *Lobesia botrana*.

		Mildiou	Oïdium	Black rot	<i>Lobesia botrana</i>
Piolenc 1 (Rouge)	2020	■	■	■	■
	2021	■	■	■	■ Bilan 3 ^{ème} génération : 65 %
	2022	■	■	■	■ Bilan 3 ^{ème} génération : 15%
	2023	■ Sur feuilles : Fréq. : 13 % Int. : 1,41% Sur grappes : ø	■	■	■ Sur feuilles : Fréq. : 2% Int. : 0,07% Sur grappes : Fréq. : 16% Int. : 1,04% Bilan 3 ^{ème} génération : 108%
Piolenc 2 (Blanc)	2020	■ Sur feuilles : 10 taches/cep Sur grappes : ø	■ Sur feuilles : 10 taches/1000 ceps Sur grappes : ø	■	■
	2021	■ Sur feuilles : 1 à 10 taches/cep Sur grappes : ø	■ Sur feuilles : 1 tache/1000 ceps Sur grappes : ø	■	■
	2022	■ Mildiou mosaïque en fin de saison (50 % de défoliation)	■	■	■
	2023	■ Sur feuilles : Fréq. : 83 % Int. : 26,27% Sur grappes : Fréq. : 91 % Int. : 51,65%	■	■	■
		■ bonne maîtrise bioagresseurs	■ maîtrise moyenne	■ maîtrise insuffisante	Fréq. : Fréquence ; Int. : Intensité ø : infestation nulle

Au niveau rendement, la parcelle de Piolenc a montré une différence massive entre le développement des variétés résistantes et celles des variétés sensibles, liée à la différence de productivité de ces variétés (Tableau 4). Les variétés résistantes ont été très productives dès la troisième année, avec une chute de rendement en 2022 (dû à une vendange partielle en 2021 et à la sécheresse) avant de repartir à la hausse en 2023. La question qui se posera sera de voir si un phénomène d'alternance ne se produit pas avec ces variétés, ainsi que la durée de vie de vignes qui produisent autant. Les variétés blanches (mélanges de *Vitis vinifera*) ont, elles, mis plus de temps à entrer en production, et ne sont pas encore aux rendements des appellations en 2023 (objectif : 50 hl/ha).

Tableau 4 : Rendements des parcelles de Piolenc (en hL/ha/an)

	PIOLENC 1 (ROUGE)	PIOLENC 2 (BLANC)
2020	X	X
2021	66	0
2022	44	2
2023	156	28

Les résultats de l'évaluation multicritères de la parcelle de Piolenc (Figure 9) montrent une hétérogénéité selon les indicateurs. Les risques liés à l'usage des produits phytosanitaires (I-phy) varient selon le



programme de traitement. Les résultats de l'indicateur I-N pour Piolenc sont liés au risque de lessivage de NO₃. Les variations sont dues à des combinaisons différentes selon les sites de la texture du sol, du pourcentage de matière organique, du type et de la profondeur de sol, du mode d'entretien du sol des inter-rangs (enherbement et semis ou non) et enfin du drainage hivernal (et donc perte acceptable). En 2019, les faibles pertes azotées sont expliquées agronomiquement par la pratique d'enherbement total de la parcelle, ce qui semble limiter les risques de perte de nitrates dans les eaux souterraines. Les valeurs de l'indicateur I-en sont expliquées par la consommation directe d'énergie directe liée au nombre de passage d'outils au cours de l'itinéraire technique ainsi qu'à la consommation d'énergie indirecte pour la fabrication des pesticides, et en particulier les fortes doses de soufre. A Piolenc, les résultats de l'indicateurs I-en sont plus modérés mais restent très acceptables pour l'agroécologie, car le nombre de passage d'outils et l'usage de pesticides sont limités. C'est l'utilisation d'engrais minéraux qui a fait un peu augmenter la consommation d'énergie et donc baisser la note de l'indicateur I-en. En effet, I-en prend en compte l'énergie non renouvelable qui est utilisée pour la fabrication des engrais minéraux.

Les résultats de l'indicateur I-MO sont très satisfaisants pour les deux sites de Piolenc. C'est la présence presque intégrale d'un couvert végétal sur le sol de la parcelle qui permet d'augmenter le taux de matière organique dans le sol et induit une note d'indicateur de 10 pour les 2 sites.

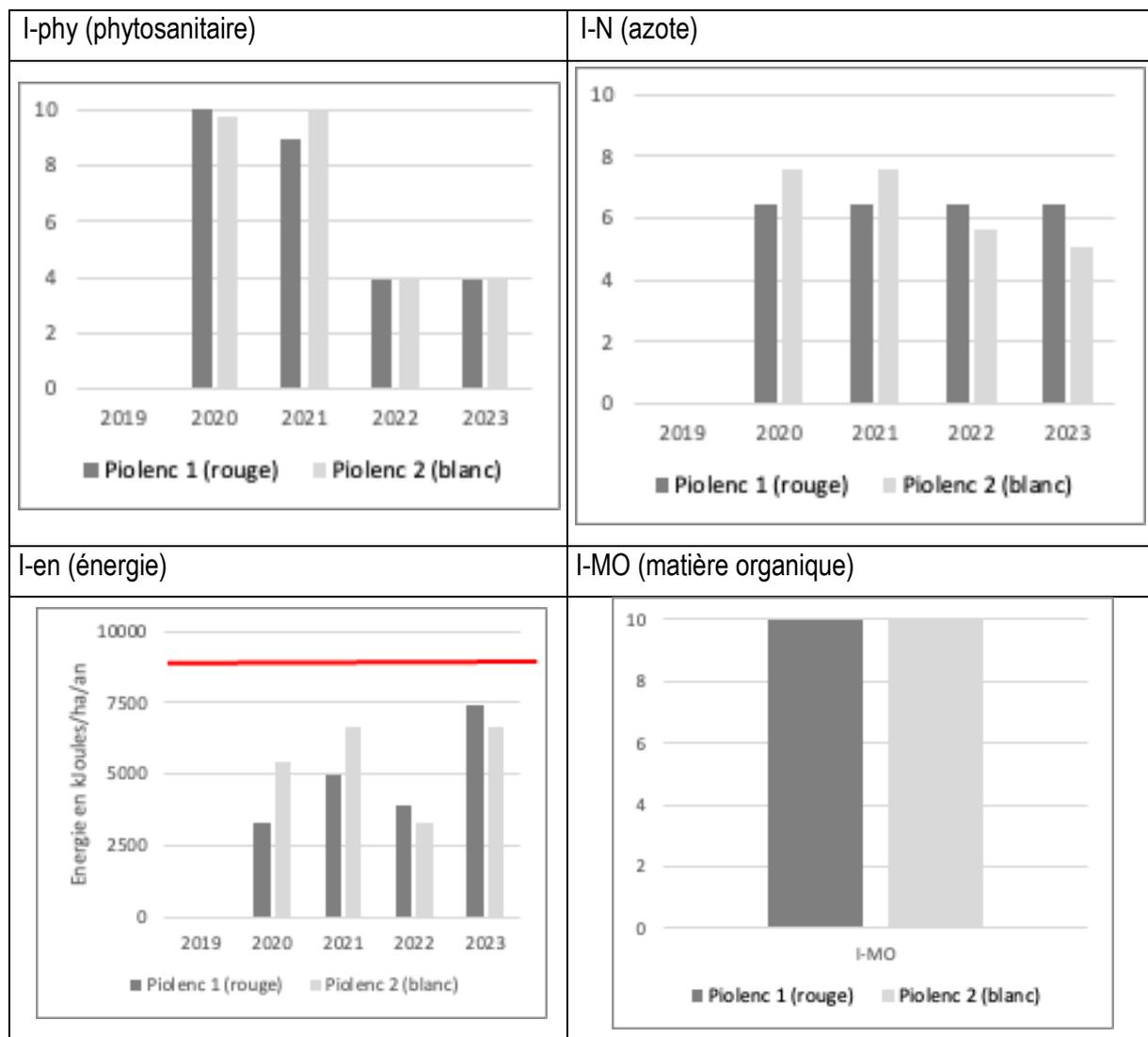


Figure 9 : Résultats de l'évaluation environnementale de la parcelle de Piolenc 1 (rouge) et Piolenc 2 (blanc) par année



4. Discussion

Il est encore difficile de tirer des conclusions définitives d'un tel projet, regroupant trois systèmes différents par leur conception, dont deux sont encore très jeunes et loin d'être stabilisés. Néanmoins quelques enseignements peuvent être tirés.

Les différentes méthodes de conception utilisées dans le projet ont en commun d'aboutir à des systèmes adaptés au contexte local de conception. Pour un système issu de co-conception, comme c'est le cas de Montreuil-Bellay, la démarche de conception est fortement localisée. La parcelle est définie, avec ses caractéristiques, les contraintes et les objectifs sont clairement posés, y compris pour des choses très spécifiques (matériel disponible, par exemple). Dans le cas des systèmes conçus par prototypage à dire d'expert (cas d'Amboise et de Piolenc), le système est conçu de manière générique, mais une phase d'adaptation est ensuite réalisée par les équipes projet pour adapter le système au contexte local.

De plus, le contexte peut changer : apparition de la flavescence dorée à Piolenc en 2024, qui entrainera des traitements insecticides, apparition de bioagresseurs inattendus (*Theba pisana* ou *Stictocephala bisonia* à Montreuil-Bellay), impacts du changement climatique... Ces modifications du contexte entraînent nécessairement une évolution des règles de décision en cours de projet.

Enfin, le caractère innovant de certaines pratiques entraîne une difficulté pour le pilotage du système. C'est par exemple le cas de la fertirrigation enterrée à Piolenc, qui a fait l'objet de tâtonnement dans la gestion les premières années, avec des répercussions sur le temps long. En effet, la gestion a été la même sur les deux parcelles de ce site, avec des conséquences très différentes sur la croissance des vignes. Un pilotage plus adapté à la vigueur des cépages aurait pu permettre de réduire ces écarts.

Tout cela entraîne des difficultés à interpréter et diffuser les résultats de tels essais. Sur l'interprétation, notamment la généralisation des résultats, le caractère très local des systèmes rend impossible leur généralisation tels quels. Il est important d'en faire ressortir la logique globale.

De plus, les interactions entre pratiques peuvent être difficiles à appréhender, ce qui rend impossible d'en distinguer les effets. Pour aider à l'interprétation, il peut être intéressant de mettre en place des essais factoriels complémentaires (essais satellites). Ainsi, à Montreuil-Bellay, la stratégie d'implantation de l'enherbement choisie a consisté à planter l'enherbement dès la plantation, avec des conséquences sur le développement de la vigne. Une autre stratégie de gestion des sols pour l'entrée en production aurait été de préserver la vigne de toute concurrence pendant la phase d'entrée en production, avant d'implanter le couvert en troisième année, avec le risque de provoquer un choc de concurrence à ce moment-là. Si sur la parcelle DiverViti le choix a été fait d'implanter l'enherbement directement pour permettre au couvert de trouver un équilibre naturel et d'héberger une faune auxiliaire variée, un essai satellite (implanté dans le cadre du projet SERPOLET, financé par la région Pays de la Loire et Interloire) a été implanté en même temps sur une parcelle voisine, comparant différentes stratégies de gestion des sols pour la phase d'entrée en production : enherbement total, enherbement total avec ajout de biochar, travail du sol et paillage à la paille de blé. Cet essai montre des différences entre modalités spectaculaires, plus encore qu'attendu (essai en cours, résultats non publiés), et donne à penser que la stratégie adoptée sur l'essai système n'était pas la plus pertinente.

Cet exemple montre également la difficulté à concevoir des systèmes en ruptures faisant appel à des pratiques non validées, ce qui peut être cause d'échec. Au cours de la conception, un retard de croissance en implantant l'enherbement était attendu, mais pas une stagnation aussi importante que ce qui a été observé. Néanmoins, il fallait opérer un choix, sans maîtriser tous les éléments ; Une solution aurait consisté à planter d'abord l'essai satellite, puis l'essai système dans un second temps, mais il est impossible de faire cela pour tous les leviers, et les pas de temps concernés rendraient très compliqués la mise en place d'essais systèmes. Enfin, ces essais satellites ne prennent pas en compte les interactions entre pratiques (ou très partiellement), donc pour des combinaisons de pratiques avec des synergies, les évaluer séparément serait inopérant.



Concernant l'évaluation des performances agronomiques : les résultats méritent d'être complétés par la poursuite de la conduite des systèmes pour stabiliser la production. L'évaluation des risques environnementaux des parcelles est satisfaisante et valide les leviers agroécologiques mis en œuvre *a priori* lors de la conception des systèmes viticoles.

Les résultats d'évaluation socio-économiques (non présenté) ne sont pas satisfaisants pour la durabilité sociale et économique des systèmes. En effet, les indicateurs socio-économiques sont construits pour des vignes en production et les systèmes du projet sont des systèmes de jeunes vignes qui ne produisent pas encore de rendement. Une adaptation d'indicateurs d'évaluation est à prévoir pour (i) prendre en compte les jeunes plantations et prendre en compte les spécificités des systèmes viticoles en production agroécologique (intégration des autres plantes et de certains services écosystémiques par exemple).

Concernant la diffusion des résultats, les formes habituelles de présentation ne permettent pas d'appréhender la complexité des systèmes. Une présentation brève comme elle peut avoir lieu lors d'une journée technique ou d'un salon professionnel ne permet pas aux viticulteurs de s'approprier la logique globale des systèmes, et d'en tirer des enseignements à intégrer dans leurs propres systèmes. La forme la plus pertinente est une visite de 2 heures, qui permet d'exposer les différentes caractéristiques du système, de voir la parcelle d'essai système, de discuter des résultats, de visiter la parcelle d'essai satellite, ce qui permet d'amener une vue nuancée des résultats.

5. Conclusion

Le projet DiverViti a permis de travailler à la diversification du peuplement végétal de systèmes de culture viticoles. Cette approche entraîne une complexité importante des systèmes conçus. Toutefois des enseignements peuvent être tirés de ces essais. Ainsi, la parcelle d'Amboise nous a permis de valider l'hypothèse de la conservation de parasitoïdes du genre *Anagrus* sur les rosiers, en quantité suffisante (quantité évaluée qualitativement par expertise) pour assurer la régulation de cicadelles vertes *Empoasca vitis*. D'autres hypothèses n'ont pas pu être confirmées à ce stade. Les systèmes de Montreuil-Bellay et de Piolenc montrent la difficulté de gérer des systèmes enherbés totalement. Les stratégies employées pour limiter la concurrence des couverts ne sont pas simples à piloter, car il s'agit d'une approche nouvelle. L'apport d'un complément par fertirrigation enterrée peut être intéressant, mais son efficacité dépend fortement de la vigueur du matériel végétal utilisé. À Montreuil-Bellay, la stratégie d'implantation du couvert dès la plantation a clairement montré ses limites, confirmées par l'essai satellite mis en place. Néanmoins, ces essais méritent d'être poursuivis, car les systèmes sont loin d'être stabilisés, et d'autres résultats sont très encourageants (biodiversité, réduction drastique des IFT, coûts de production).



Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCID des auteurs

MTS: <https://orcid.org/0000-0002-9811-7316>

Contributions des auteurs

DL : Animation du projet, conception du site de Montreuil-Bellay, appui à la conception du site d'Amboise, acquisition de données, conception, rédaction et relecture de l'article

EF : Pilotage du site de Montreuil-Bellay, acquisition de données, rédaction et relecture de l'article

GD : Suivi du site d'Amboise, acquisition de données, rédaction et relecture de l'article

LT, PG : Pilotage du site de Piolenc, acquisition de données, rédaction et relecture de l'article

OK : Conception de méthode multicritère, acquisition de données, calculs d'indicateurs, analyse et écriture de résultats d'évaluation, relecture de l'article.

MTS : Conception de l'article, conception de méthode multicritère, écriture de méthodes et de résultats d'évaluation, relecture de l'article.

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des personnes ayant travaillé sur ce projet : les participants à la conception (experts et participants aux ateliers), les équipes ayant réalisé le suivi de terrain (ingénieurs, techniciens et stagiaires), les intervenants extérieurs sollicités, les équipes du réseau DEPHY pour leur soutien et les outils mis à disposition, et tous ceux dont les remarques, réflexions et questions ont nourri le projet lors de son élaboration comme lors de sa mise en œuvre.

Déclaration de soutien financier

Ce document a été produit dans le cadre d'une action du plan Ecophyto, piloté par les ministères en charge de l'agriculture, de l'écologie, de la santé et de la recherche, avec l'appui technique et financier de l'Office français de la Biodiversité.

Références bibliographiques :

Hill, S. B., et MacRae, R. J., 1995. « Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture ». *Journal of Sustainable Agriculture (USA)*. <http://agris.fao.org/openagris/search.do?recordID=US9701855>

Intrieri, C., Filippetti I., Allegro G., Valentini G., Pastore C., Colucci E., 2011. « The Semi-Minimal-Pruned Hedge: A Novel Mechanized Grapevine Training System ». *American Journal of Enology and Viticulture* 62 (3): 312-18. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10083>



Keichinger, O., and Thiollet-Scholtus, M., 2017. SOECO: Socio-economic indicators for viticulture and innovative cultural systems. 40th World Congress of Vine and Wine Sofia, Bulgaria, 29 mai-2 juin 2017. <http://doi:10.1051/bioconf/20170904012>

Lafond, D., Delanoue G., Dutruel L., Fortin E., Gilet G., Sorgniard D., 2018. « Projet EcoViti Val de Loire-Centre : expérimentation de systèmes viticoles à faible usage d'intrants phytosanitaires en Val de Loire. Innovations Agronomiques 70, 21-36 ». INRA. <https://doi.org/10.15454/by4wq3>

Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A. 2006. *Les processus d'innovation : conception innovante et croissance des entreprises*. Stratégie et management. Paris: Lavoisier [u.a.].

Meynard, J.-M., Dedieu, B., Bos A. P., 2012. « Re-Design and Co-Design of Farming Systems. An Overview of Methods and Practices ». In *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*, édité par Ika Darnhofer, David Gibbon, et Benoît Dedieu, 405-29. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18

Pujol, J. (2017). "Apports de produits phytosanitaires en viticulture et climat : une analyse à partir des enquêtes pratiques culturelles." DRDAF-AGRESTE, Paris.

Thiollet-Scholtus, M., Bockstaller, C., 2015. Using indicators to assess the environmental impacts of wine growing activity: the INDIGO® method. *European Journal of Agronomy* 62, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.001>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

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 et son DOI, la date de publication.