

UNIVERSITÉ de BORDEAUX

INSTITUT DES SCIENCES DE LA VIGNE ET DU VIN

RAPPORT de fin de stage

pour l'obtention du

MASTER Science de la Vigne et du Vin

PARCOURS : VIGNE ET ENVIRONNEMENT VITIVINICOLE

**Etude des impacts de l'agroforesterie sur la viticulture
méditerranéenne face au changement climatique**

Présenté par

Bertrand Clara

Étude réalisée à : Chambre d'Agriculture du Vaucluse (84)
Sous la direction de : Emmanuelle Filleron

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement ma maitre de stage Emmanuelle, qui a grandement participé à mon intégration au sein de la CA84. Merci pour ta bienveillance, ta confiance, tes conseils, ton expérience. Merci pour tout ce que j'ai pu apprendre lors de ces 6 mois. Ça a été un plaisir de travailler avec toi.

Je souhaite également remercier Pauline Garin, qui a été ma deuxième maitre de stage, merci pour ta franchise, ton expérience, pour tous ces moments passés sur le terrain (de jour comme de nuit).

Je souhaite également remercier toute l'équipe Viti, Rémi, Silvère, Laura, Clarisse, Nathalie, Marine, Catherine, Xavier, merci pour votre accueil, pour ce que vous m'avez appris, pour votre bienveillance, pour tout ce que vous m'avez apporté professionnellement et bien sûr merci pour les pains au chocolat et la bonne humeur.

Je tiens aussi à remercier l'équipe de choc de stagiaires Mélanie et Eloise. Eloise merci pour tes chansons (clic clic pan pan pan), de m'avoir accompagnée sur le terrain et pour ton aide précieuse pendant mes heures passées sur R...

Je voudrais également remercier Lucile Chedorge, pour ta confiance et ton soutien.

Je remercie tous mes copains de l'ISVV, Adèle, Clara, Raphaëlle, Corentin et Adrien avec qui j'ai passé 2 merveilleuses années, remplies de joie, de bonne humeur, de rigolade, de soirées et bien sûr de session de révision.

Je remercie Arnaud, mon chéri, qui a toujours été là pour moi, qui m'a soutenue et qui a cru en moi.

Merci à tous mes copains et surtout à ma copine d'amour Romane, merci d'être là et de croire en moi.

Enfin, je souhaite remercier ma famille pour son soutien de tous les jours et pour sa confiance dans mes choix d'études.

INTRODUCTION	1
I) ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
A. CONTEXTE CLIMATIQUE	2
1) Le climat méditerranéen	2
2) Changement climatique observé dans le bassin méditerranéen.....	2
B. LA VIGNE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	2
1) Influence des facteurs climatiques sur le fonctionnement de la vigne	2
2) Les leviers d'adaptation au changement climatique	3
3) Définition de l'agroforesterie	4
C. RELATION ARBRE ET VIGNE	4
1) Quels impacts agronomiques ?	4
2) Les impacts de l'agroforesterie sur le microclimat des vignobles.....	5
3) Ramener de la biodiversité dans un vignoble	5
II) CONTEXTE DE L'ETUDE.....	6
A. LE PROJET VITAM.....	6
B. LES OBJECTIFS DU PROJET	7
III) MATERIEL ET METHODE	7
A. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL	7
1) Les sites expérimentaux à l'échelle de la région Méditerranéenne	7
2) La parcelle expérimentale des Peyrières, Orange (84)	8
3) Suivi de l'essai.....	8
B. LES INDICATEURS MESURES.....	9
1) Les suivis agronomiques sur la vigne.....	9
a. Mortalité initiale	9
b. Phénologie de la vigne.....	9
c. Croissance végétative	9
d. Potentiel hydrique foliaire de base	9
e. Méthode des apex	10
f. Relevé des tensiomètres et de la température	10
g. Rendement et qualité	10
2) Impact des arbres sur la biodiversité au sein de la parcelle viticole.....	11
C. ANALYSE STATISTIQUES ET TRAITEMENT DES DONNEES	11
IV) RESULTATS.....	12
A. LES DONNEES CLIMATIQUES	12
1) Caractérisation du millésime 2022	12
B. SUIVI AGRONOMIQUE SUR LA VIGNE	12
1) Mortalité initiale	12

2) Phénologie de la vigne.....	12
3) Indice de croissance par la méthode des apex	13
4) Bilan hydrique par la mesure du potentiel foliaire de base	13
5) Croissance végétative	14
6) Tensiomètres.....	14
7) Rendement et qualité	15
C. SUIVI DE LA BIODIVERSITE.....	15
1) L'aspiration d'invertébrés.....	15
V) DISCUSSION.....	16
A. DES IMPACTS SUR LA VIGNE A CONFIRMER SUR LE LONG TERME	16
B. PERSPECTIVES ET VOIE D'AMELIORATION DE L'ESSAI	16
C. LA REALITE DE L'IMPLANTATION D'UNE HAIE VITICOLE	17
CONCLUSION	18

Liste des figures

Figure 1 : Carte mondial des climats (les zones rouges représente le climat méditerranéen)	
Figure 2: Ecart de la température maximale annuelle par rapport à la référence 1961-1990 pour la région Provence-AlpesCôte d’Azur (PACA). (GREC sud, s-d).....	
Figure 3: Avancement des stades phénologiques sur Grenache en Vaucluse (84).....	
Figure 4:Cellule de convection d'air qui semble s'établir entre deux rangs de vignes situés de part et d'autre.....	
Figure 5: Carte des sites d'expérimentation de VITAM	
Figure 6 : Chambre à pression (source personnelle)	
Figure 7: Stade de croissance des apex constituant la méthode des apex de l'IFV (crédit photo : JC Payan)	
Figure 8: Sonde Watermark® de type tensiométrique installées sur le rang 1 de la parcelle des Peyrières (84).....	
Figure 9: Données climatiques sur la période d'Avril à août 2022.....	
Figure 10: Taux de mortalité par rang	
Figure 11: Stades phénologiques sur les différentes modalités (en 2022).....	
Figure 12: Evolution de l'indice de croissance des apex sur la période de juin à août 2022.....	
Figure 13: Courbe du potentiel hydrique foliaire de base sur la période de juin à août.....	
Figure 14: Cartographie des moyennes de potentiel hydrique foliaire de base réalisé sur nos modalités	
Figure 15: Histogramme du nombre moyen de rameaux par modalité	
Figure 16: Histogramme du nombre de grappe moyen par cep.....	
Figure 17: Histogramme des longueurs moyennes de rameaux en fonction de nos modalités	
Figure 18: Evolution de la tension du sol à 30cm de profondeur sur la période de juillet à août	
Figure 19: Histogramme de l'abondance et de la richesse en invertébrés sur nos modalités et sur la haie	
Figure 20: Répartition des invertébrés en fonction des modalités.....	

Liste de Tableau

Tableau 1: Planning des différentes notations de l'essai VITAM.....	
---	--

Glossaire

ANOVA : Analyse de variance

BBCH : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie

CA84 : Chambre d'agriculture du Vaucluse

IAC : Indice d'Arrêt de Croissance

IC : Indice de Croissance

ICRAF : Centre International pour la Recherche en Agroforesterie

IFV : Institut Français de la Vigne et du Vin

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

ME : Morpho-espèce

OAB : Observatoire agricole de la biodiversité

PACA : Provence Alpes Côte d'Azur

SCOP AGROOF : Société Coopérative et Participative en agroforesterie

VITAM : Viticulture et Agroforesterie Méditerranéenne

Table des sigles

ha : hectare

hl : Hectolitre

g/ha : gramme par hectare

m : mètre

°C : degrés Celsius

MPa : Mégapascal

mm : millimètre

cbar : centibar

% : Pourcentage

Introduction

La viticulture est une culture phare en France, le vignoble s'étend sur 760 000 hectares, soit 3% de la surface agricole utilisée. Le secteur viti-vinicole est aujourd'hui confronté à de profondes modifications des conditions d'exercice de ses activités. Nombreux et de nature très différente, ces changements constituent autant d'enjeux pour l'avenir de ce secteur. En premier lieu, de nouveaux défis tels que l'adaptation au changement climatique qui affectent la phénologie de la vigne et la qualité organoleptique des baies mais également la préservation de la biodiversité (Jones et Webb, 2010 ; Jackson et *al.*, 2011). Les vignerons doivent s'adapter afin d'assurer une production pérenne face aux évolutions climatiques et également aux nouvelles attentes des consommateurs. Les paysages traduisent ces changements dans les pratiques culturelles notamment à travers le réinvestissement de la biodiversité dans l'aménagement des territoires viticoles (Franchomme et *al.*, 2013). Dans cette mutation, aujourd'hui engagée, les moyens ou les outils mis en œuvre peuvent être multiples et variés.

L'agroforesterie en particulier, désigne l'ensemble des pratiques agricoles qui intègrent l'arbre dans l'environnement de production, et s'inspirent, en termes agronomiques, du modèle de la forêt. L'agroforesterie offre de nombreux avantages comme atténuer des excès climatiques, lutter contre l'érosion des sols, filtrer l'eau pour obtenir une meilleure qualité, ramener de la biodiversité dans un vignoble mais également purifier l'air, stocker le carbone et produire du bois d'œuvre.

Selon les estimations, la région méditerranéenne sera la zone viticole la plus affectée en France par le réchauffement climatique. C'est en cela que l'agroforesterie semble être un levier intéressant. Ces caractéristiques climatiques devraient s'amplifier dans les prochaines années, il est donc important de les anticiper pour pouvoir agir.

L'interaction entre les arbres et la vigne est un élément primordial pour la réussite de l'agroforesterie viticole et son approbation auprès des viticulteurs. En effet, son acceptation reste encore rare à ce jour, du fait du peu d'études menées, mais également des réticences en termes de compétition des ressources entre les arbres et la vigne.

Dans ce contexte, le projet VITAM a été mis en place afin de construire et d'étudier une base de données sur l'effet de l'agroforesterie en contexte méditerranéen. La question que l'on se pose alors dans le cadre de ce stage, et qui participe à l'avancement du projet est : « Quel est l'impact d'une haie basse sur les capacités agronomiques de la vigne dans un contexte méditerranéen et son rôle en termes de biodiversité ? ». Ainsi un suivi de plusieurs indicateurs (agronomiques, biodiversité et technico-économique) sera effectué afin de répondre au mieux à la problématique posée. L'objectif final étant de pouvoir conseiller et accompagner au mieux les viticulteurs dans la transition agroécologique.

I) Etude bibliographique

A. Contexte climatique

1) Le climat méditerranéen

Le climat méditerranéen est le climat que l'on trouve au niveau du pourtour de la mer Méditerranée, mais ces conditions climatiques se retrouvent également à d'autres endroits de la planète comme à l'Ouest des Etats-Unis, au Sud-Ouest de l'Australie ou encore en Afrique du Sud (voir figure 1). Les régions de climat méditerranéen sont situées entre 35° et 40° de latitude, à l'Ouest des continents. Ce climat se caractérise par un été chaud, sec et ensoleillé, un hiver avec des températures douces ainsi que des vents violents fréquents. Les jours de pluie sont peu fréquents et irrégulièrement répartis sur l'année. La saison la plus pluvieuse est en automne-hiver (saison humide). Les fortes précipitations ont souvent lieu à cette saison et au printemps, sous forme d'orages, notamment près des reliefs (Météo France, s-d).

2) Changement climatique observé dans le bassin méditerranéen

Le bassin méditerranéen figure parmi les régions mondiales les plus sensibles au changement climatique (GIEC, 2013 ; Giorgi, 2006, Coste et *al.*, 2021). Une étude réalisée sur la période 1980-2009 à partir des données de 14 stations situées dans le sud de la France, a montré que les tendances évolutives étaient très significatives. La hausse de température a été de +0.5°C par décennie et a été d'autant plus marquée en saison estivale (+0.8°C par décennie) (Lelièvre *et al.*, 2011). En effet, l'écart de température maximale annuelle par rapport à la référence 1961-1990 est d'environ +1°C en 20 ans (voir figure 2). Concernant la pluviométrie annuelle, celle-ci est très variable selon la saison, les années ou les stations étudiées. Pour certaines études, les précipitations annuelles ne montrent pas de changement (Lelièvre et *al.*, 2011) tandis que pour d'autres, la vulnérabilité de la zone méditerranéenne au changement climatique est particulièrement attribuable à la forte diminution des précipitations moyennes et à l'augmentation de la variabilité des précipitations pendant la saison estivale (Giorgi, 2006). Pour ce qui est de la saison humide, du mois de septembre au mois d'avril, plusieurs études ont recensé les phénomènes pluviométriques extrêmes depuis 1950 pour la région du bassin méditerranéen. Une tendance à la baisse des cumuls de précipitations a été observée pour la quasi-totalité du bassin méditerranéen (Raymond et *al.*, 2016 ; Toreti et *al.*, 2010).

B. La vigne face aux changements climatiques

1) Influence des facteurs climatiques sur le fonctionnement de la vigne

La vigne est une des plantes pérennes les plus anciennes, son fonctionnement est fortement influencé par les conditions climatiques de son milieu naturel. A l'heure du changement climatique on assiste à des

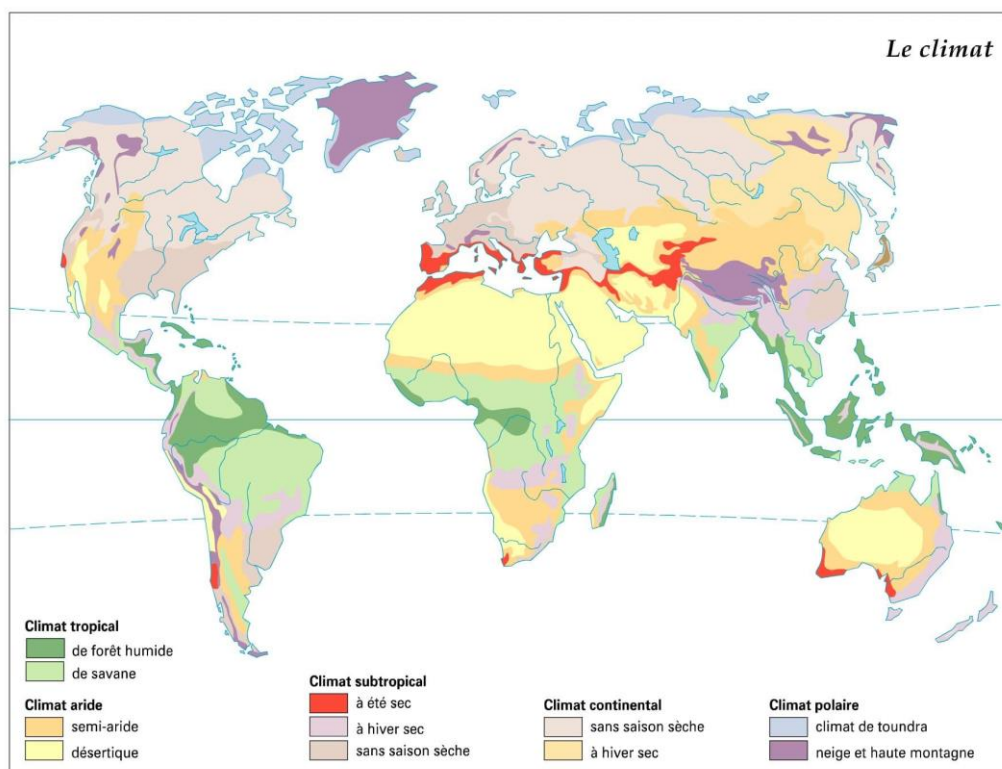


Figure 1 : Carte mondiale des climats (les zones rouges représente le climat méditerranéen) (Source : Larousse)

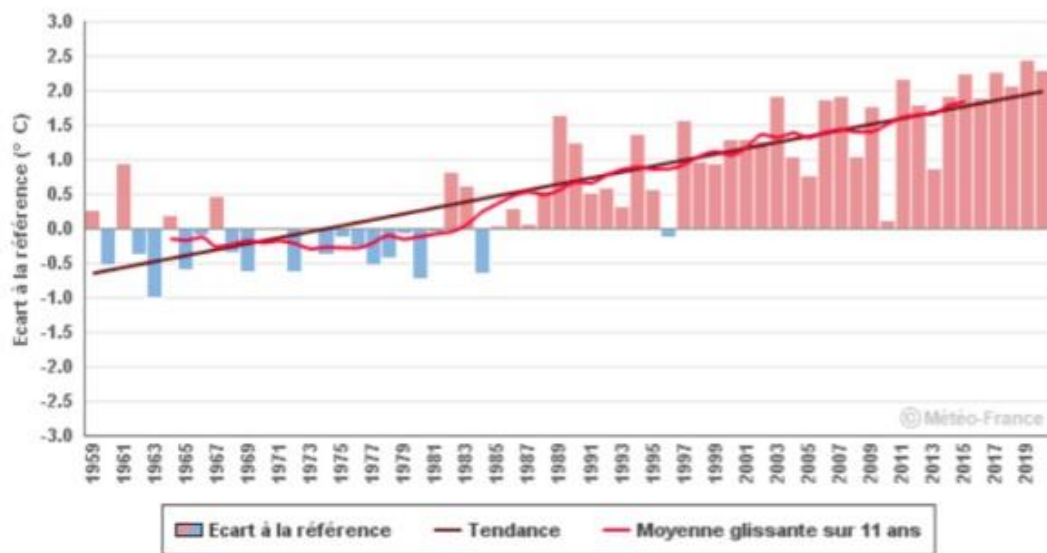


Figure 2: Ecart de la température maximale annuelle par rapport à la référence 1961-1990 pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA). (Source : GREC sud, s-d)

modifications très importantes sur la vigne et par conséquent sur la qualité et la typicité des vins (Bindi et *al.* 1996 ; Van Leeuwen et *al.* 2018). En France, la vigne a répondu au réchauffement climatique par une avancée des stades phénologiques. En effet, les dates des stades phénologiques se sont avancées de deux à trois semaines pour le débourrement et la floraison (voir figure 3), engendrant des risques de gel printanier mais également des risques de coulure. Au même moment, la période entre la floraison et la maturation s'est raccourcie d'environ une semaine (Van Leeuwen and Darriet, 2020). On observe également une évolution significative de la composition des raisins (Duchêne et Schneider 2007 ; Madelin et *al.* 2008), notamment par une augmentation des concentrations en composés phénoliques, une diminution de la taille des baies, une augmentation des sucres et une baisse de l'acidité (Van Leeuwen et *al.*, 2017). En revanche, le réchauffement climatique n'affecte pas de manière homogène les régions viticoles françaises (Pielke et *al.* 2002). De fait, l'intensité du changement climatique est plus forte dans les régions viticoles du sud de la France (Schultz H.R. 2018).

2) Les leviers d'adaptation au changement climatique

En viticulture, différentes catégories d'adaptation au changement climatique sont possibles (Ollat et Touzard, 2013). Il s'agit de leviers agronomiques, organisationnels et géographiques. Les leviers organisationnels et géographiques comme par exemple, la relocalisation des parcelles viticoles vers des endroits plus frais ou bien où les réserves utiles en eau sont plus importantes. Il s'agit d'une réorganisation sur du long terme du vignoble qui amène les vignerons à explorer leur terroir et à transformer les paysages viticoles (Thermes et *al.*, 2020). L'évolution du cahier des charges et des appellations peut également permettre une meilleure adaptation de certains cépages au climat évolutif du terroir. Ces aspects organisationnels et géographiques ne seront pas traités dans cette synthèse. En revanche, les leviers agronomiques semblent être une autre possibilité d'adaptation à la sécheresse. Cela passe aussi par la modification des modes de conduite de la vigne. De nouveaux systèmes adaptés et respectueux de l'environnement devront être mis en place afin de gérer le stockage des eaux pluviales hivernales. Des couverts végétaux pourront être utilisés au cours de l'hiver pour stocker l'eau (Van Leeuwen et *al.*, 2009), l'azote et lutter contre l'érosion. Les modes de conduite devront être adaptés pour minimiser l'interception de la lumière et limiter l'évapotranspiration.

Au-delà des différents leviers agronomiques comme l'irrigation, la sélection variétale, les couverts végétaux sur lesquels la filière travaille, l'agroforesterie apparaît comme un nouveau levier prometteur face à l'adaptation au changement climatique. Bien que la science de l'agroforesterie soit relativement nouvelle, l'art lui, est ancien (Nair 1991). Les zones arborées sont actuellement peu présentes voire absentes de nos vignobles. Pourtant celles-ci présentent un intérêt agronomique et écologique très important.

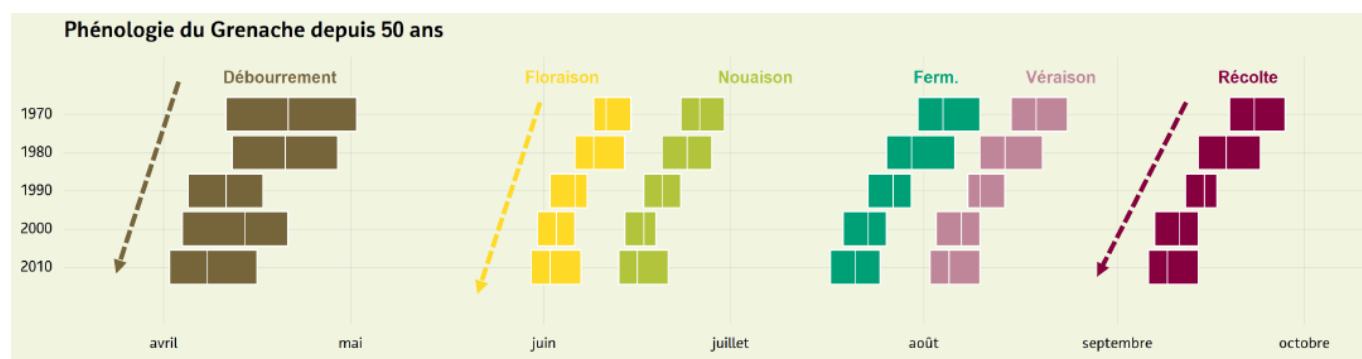


Figure 3: Avancement des stades phénologiques sur Grenache en Vacluse (84) (Source : Viviane Bécart)

Ces aménagements peuvent prendre de multiples formes selon le contexte et les besoins : haie, arbres isolés, arbres en alignement, friches, boisements.

3) Définition de l'agroforesterie

Face aux nouveaux enjeux, des pratiques modernes d'agroforesterie voient le jour en viticulture et attirent l'attention de la communauté scientifique (Trambouze et Goma-Fortin 2013).

L'agroforesterie représente le nom donné aux systèmes de production qui associent des arbres avec n'importe quels types de cultures et/ou d'animaux sur une même unité de terre. Ces interactions peuvent prendre de multiples formes (haie, arbre isolé, vergers, arbres intraparcellaires...) et évoluent dans le temps. Selon le Centre International pour la Recherche en Agroforesterie (ICRAF) l'agroforesterie est définie comme un : « *Système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques qui intègre des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural et permet ainsi de diversifier et maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre* ». L'agroforesterie répond à de nouveaux enjeux paysagés (corridor écologique, rompre l'uniformité, valorisation de l'image du vignoble), environnementaux (amélioration de la biodiversité, nouveaux habitats, barrière naturelle contre les produits phytopharmaceutiques), agronomiques (fertilisation des sols, régulation de la ressource en eau, protection microclimatique, diminution de l'érosion et de l'évapotranspiration) et économique (production de bois d'œuvre ou de fruits).

C. Relation Arbre et vigne

Durant l'antiquité naît l'idée d'associer la vigne et l'arbre, notamment en région méditerranéenne. Plusieurs régions en gardent encore la trace dans leur paysage.

Contrairement aux vignobles agroforestiers de l'Antiquité, les nouvelles plantations n'ont plus les mêmes motivations et attentes. Dorénavant, elles sont conçues de manière à permettre la mécanisation complète des opérations culturales sur la vigne, à savoir la récolte, la protection et la lutte phytosanitaire ainsi que le rognage des sarments.

1) Quels impacts agronomiques ?

La relation arbres/vignes fait encore face à de nombreuses craintes, notamment sur la phénologie de la vigne et sur ses performances agronomiques. Le fait d'ajouter une plante pérenne (un arbre) à une autre plante pérenne (la vigne), intensifie les concurrences potentielles au sein d'une parcelle (Dupraz et *al.* 2008).

La présence d'arbres dans les vignobles peut avoir un effet neutre à positif sur les paramètres relatifs à l'état hydrique. En effet, la capacité des arbres à réduire l'évaporation et la transpiration, ainsi qu'à modifier le microclimat et distribuer l'eau par ascenseur hydraulique, compense cette concurrence certaine.

Le domaine de Restinclières a réalisé une complantation arbres/vignes de vingt ans qui a fait l'objet de nombreuses recherches. Ce domaine de sept hectares de vignes en Grenache et Syrah (porte greffe 110R) ont été associés à des cormiers et des pins pignons selon deux types de densité : un rang d'arbres remplace un rang de vigne (« intensif ») ou un rang d'arbres remplace deux rangs de vigne (« extensif »). Les observations agronomiques ont pu mettre en avant une concurrence azotée surtout en haute densité mais également en système extensif. Une contrainte hydrique limitée pendant la maturation. Lors de la récolte, aucun impact négatif n'a été observé au-delà de cinq mètres de distance des arbres (moins 36% de récolte pour l'effet le plus négatif). Concernant la qualité des moûts de raisin, celle-ci n'a fait preuve d'aucun effet négatif. Enfin, les arbres ont montré un effet protecteur lors des gelées de 2017.

2) Les impacts de l'agroforesterie sur le microclimat des vignobles

Lors de l'implantation d'arbres dans une parcelle, le microclimat peut se voir modifier du fait de l'ombrage et des modifications de la circulation de l'air et du cycle de l'eau. Face aux fortes périodes de sécheresse, il est important de trouver de nouvelles techniques afin d'abaisser les températures sans en revanche impacter négativement le fonctionnement physiologique de la plante ni les qualités organoleptiques. Le projet Vitiforest a montré l'existence d'un flux d'air (voir figure 4). En effet, un effet de couloir d'air rafraichissant se forme pour les rangs orientés nord-sud. Les pieds situés les plus au sud, ont bénéficié d'une baisse de 1,5°C lors des journées à forte demande évaporative (Bourgade et *al.*, 2021). Les inter rangs de vigne sont habituellement marqués par un important confinement de l'air (Riou et *al.*, 1987). L'ouverture faite par la haie se combinant à l'ombrage du feuillage de la vigne sur le sol génèrerait la mise en place d'une cellule de convection d'air responsable de ce rafraichissement (voir figure 1).

Lors de cette étude il a également été constaté un léger effet d'ombrage avec un rafraichissement très ponctuel pendant la véraison de 2,5 °C et de 4.5°C au niveau de la zone des grappes.

3) Ramener de la biodiversité dans un vignoble

Au-delà du défi majeur qu'est le changement climatique, s'ajoute le défi environnemental. Le maintien de la biodiversité fonctionnelle, à la base de nombreux services écosystémiques, est un enjeu fort.

La biodiversité représente l'ensemble des variétés des êtres vivants ainsi que l'ensemble des écosystèmes dans lesquels ils vivent. Depuis une dizaine d'années, on constate une baisse alarmante des espèces. Plusieurs facteurs comme la pollution, la destruction des habitats mais encore l'évolution climatique ont engendré une disparition de 68% des populations de vertébrés depuis les années 1970 (WWF,2020).

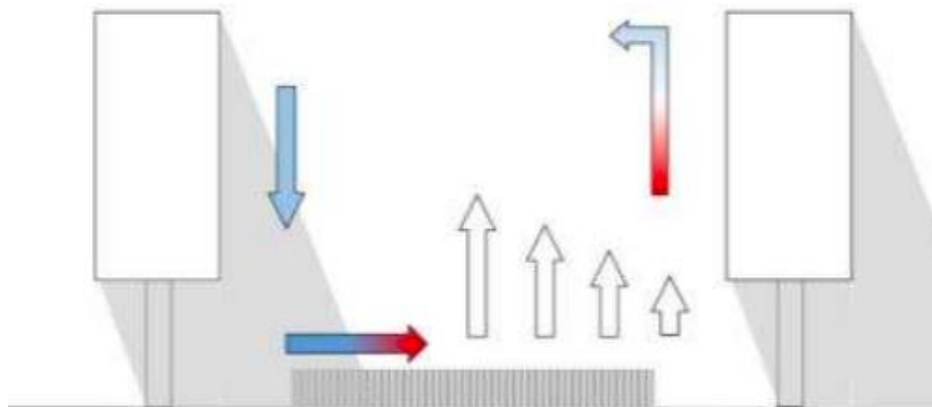


Figure 4: Cellule de convection d'air qui semble s'établir entre deux rangs de vignes situés de part et d'autre (Source :

L'agriculture dans sa globalité a négligé les équilibres écologiques et en paye les conséquences aujourd'hui. La préservation de nos écosystèmes est devenue un enjeu majeur. La viticulture notamment, a un impact sur les paysages, les sols, les milieux, la qualité des cours d'eau, sur l'environnement d'une manière générale (Gary et *al* 2017). Par de nombreux moyens, elle peut contribuer au retour des équilibres et à la préservation des écosystèmes. La monoculture qu'est la vigne, est une cible facile pour les ravageurs et les maladies, contrairement à une mosaïque d'habitats qui limitent les ressources disponibles pour les ravageurs tout en attirant d'autres espèces. En ramenant une diversité de cultures avec de l'agroforesterie par exemple, on a des besoins variés à des périodes différentes, ce qui rend le système plus résilient (Guide des vignobles, 2022). Les actions favorables sont multiples et doivent s'appliquer à une échelle la plus large possible. La dernière étude menée dans le Sud-Ouest de la France a montré des effets contrastés sur la répartition des ravageurs (cicadelle verte) et sur les arthropodes. En revanche elle a prouvé une abondance supérieure de lombrics sur les lignes d'arbres (Grimaldi, 2018). En effet les vers de terre jouent un rôle majeur dans la qualité des sols et notamment contribuent à la fertilité du sol. En créant des galeries souterraines, ils permettent le stockage du carbone et son transfert, mais aussi l'aération des sols, ce qui permet une meilleure infiltration de l'eau et donc un meilleur développement des racines. Ils sont de très bons indicateurs de la qualité d'un sol.

II) Contexte de l'étude

A. Le projet VITAM

Le projet VITAM a vu le jour en 2021, initié par la société coopérative et participative en agroforesterie de l'Hérault (SCOP AGROOF) pour une durée de 3 ans (2021-2024) incluant deux années d'expérimentations (2022-2023). Il a été conçu dans un désir d'accompagner les viticulteurs pour une potentielle transition vers l'agroforesterie. Ce projet est financé par l'Office Français de la Biodiversité ainsi que la Fondation de France. L'idée est de collecter de la donnée au sujet de l'impact des arbres sur une monoculture telle que la vigne en région méditerranéenne et donc en situation de contraintes (stress hydrique, sol séchant, conditions climatiques méditerranéennes). Il regroupe 10 partenaires : AGROOF SCOOP, trois Chambres d'Agriculture (CA) : Vaucluse (84), Hérault (34) et Var (83), l'IFV Rhône Méditerranée, l'INRAE (UMR ABSys et UE Pech Rouge), le Syndicat des Côtes du Rhône, l'association Arbres et Paysages 11 et enfin l'EPLEFPA Olivier de Serre.

B. Les objectifs du projet

Ce projet a pour objectif de faciliter le développement de l'agroforesterie viticole en zone méditerranéenne via l'obtention d'un référentiel technique, économique et agronomique, ainsi que la mise en place d'une dynamique pérenne d'expérimentations participatives. Plus précisément ses objectifs sont :

- **Action 1** : Favoriser les échanges techniques et contribuer à la création de référentiels technico économiques sur l'installation et la gestion des systèmes agroforestiers viticoles.
- **Action 2** : Améliorer les connaissances sur l'impact des aménagements arborés et sur les performances agronomiques de la vigne par le suivi de 4 sites implantés en zone méditerranéenne.
- **Action 3** : Formaliser un réseau d'expérimentation participative durable à travers la co-conception de sites pilotes chez des viticulteurs et l'élaboration de protocoles de suivis mobilisables par les groupements de viticulteurs et les établissements de l'enseignement agricole.
- **Action 4** : Favoriser et diffuser l'accès aux résultats du projet.

Ma mission

Le cœur de mon activité de stage s'inscrit dans l'action 2, avec le suivi agronomique et de biodiversité mis en place pendant six mois sur la parcelle des Peyrières sur la commune d'Orange. Le rapport de stage a pour but d'en présenter les résultats et analyses.

En parallèle de ce travail, j'ai participé à la réalisation d'un questionnaire d'enquête prévu dans le cadre de l'action 1. Au-delà de l'enjeu scientifique et environnemental certain d'un tel projet, il est important de prendre en compte l'aspect financier et les contraintes de gestion des haies pour que le projet soit viable dans sa globalité. Pour les viticulteurs, l'implantation d'arbres dans leur culture est très souvent freinée par le manque de connaissances sur les coûts et les avantages d'un tel aménagement. Le but de cette enquête est de connaître un peu plus en profondeur les attentes, les connaissances, les difficultés et les points forts de l'agroforesterie en s'appuyant sur l'expérience d'agriculteurs qui ont déjà entamé cette démarche. Deux enquêtes ont donc été réalisées auprès de viticulteurs agroforestiers. Le questionnaire d'enquête est disponible en annexe.

III) Matériel et méthode

A. Le dispositif expérimental

1) Les sites expérimentaux à l'échelle de la région Méditerranéenne

Le projet VITAM est mené à l'échelle de la région méditerranéenne sur 4 sites expérimentaux : Le Château Mongin à Orange (84), le Domaine de Calet sur les Costières de Nîmes (30), le Domaine des Célestes à Vauvert (30) et le domaine Olivier de Serres à Mirabel (07). (Voir figure 5).

Les sites des Costières de Nîmes, de Vauvert et de Mirabel sont suivis par SCOP AGROOF et la CA84 suit le site d'Orange. Les 4 sites étudient différents aménagements forestiers (haie brise vent, haie basse, haie

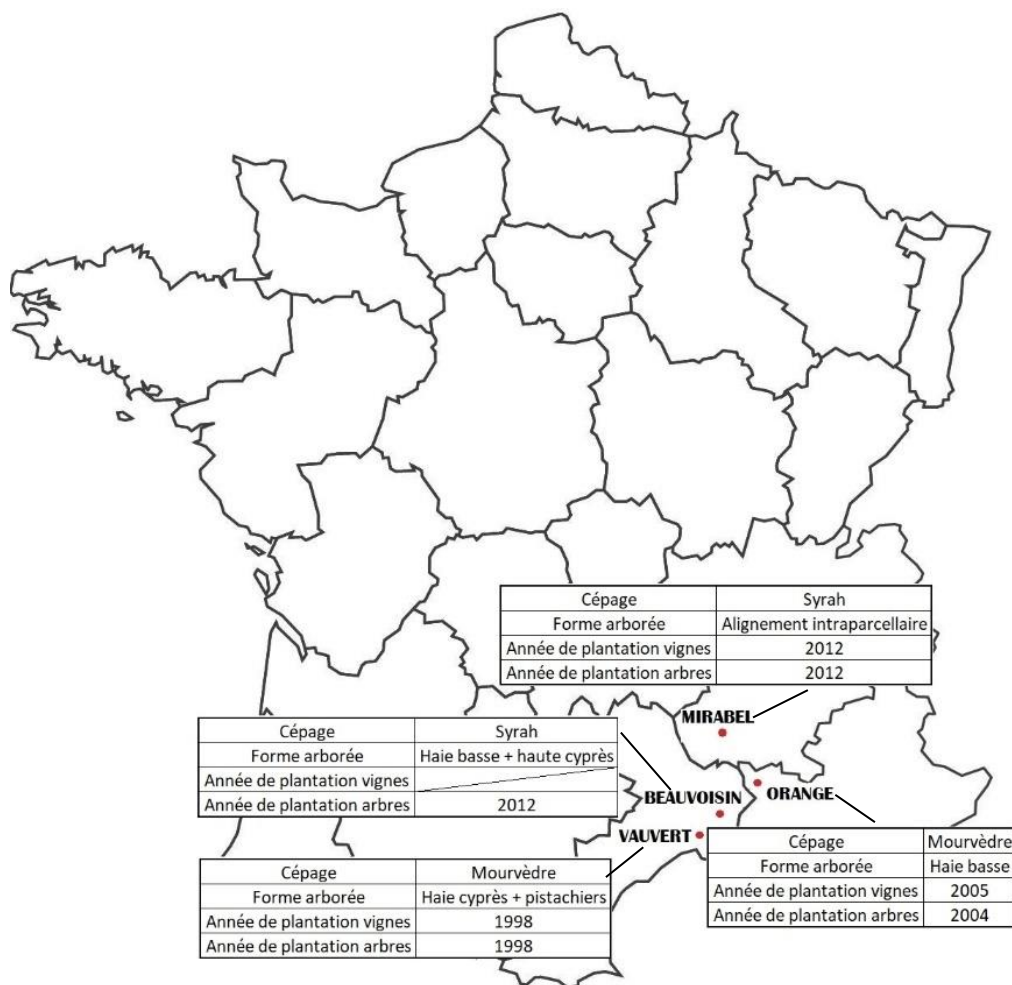


Figure 5: Carte des sites d'expérimentation de VITAM

monospécifique et diversifiée) dans des parcelles de vignes différentes comportant des caractéristiques différentes (cépages, porte greffe, sol, conditions climatiques...). Chaque parcelle a été étudiée indépendamment les unes des autres, dans une logique de réseau d'étude, les protocoles sont donc les mêmes d'une parcelle à l'autre, dans un souci d'homogénéité. L'analyse comparée du comportement de la vigne dans chaque site permettra de prendre en compte la diversité des situations.

2) La parcelle expérimentale des Peyrières, Orange (84)

La Chambre d'Agriculture de Vaucluse a choisi de réaliser l'étude sur une parcelle en agriculture biologique de 91 ares, plantée en 2005 et sous l'appellation Côtes du Rhône Village, appartenant au Château Mongin du Lycée viticole d'Orange. Le choix s'est fait par la présence d'une haie basse âgée d'environ 20 ans (plantée en 2004) d'une longueur de 155 mètres de long et d'une hauteur de 1,5 mètre. La haie comporte actuellement 16 essences méditerranéennes (voir annexe 1). L'essai VITAM est composé de Mourvèdre (clone 36) associé au porte-greffe Couderc 3309. Tous deux sont couramment utilisés dans la région méridionale. Les vignes sont conduites en cordon de Royat, avec une densité initiale de 4400 pieds/ha avec un inter-rang de deux mètres et d'un mètre entre chaque pied. Les rangs sont orientés nord-sud. La parcelle est légèrement en pente, plus basse au sud. Cette parcelle a été aussi choisie car elle est représentative des vignes du bassin viticole méditerranéen, notamment avec une très forte contrainte hydrique. Sur le site, 4 modalités sont étudiées et présentent des distances à la haie différente :

- a) Rang 1 : 2 mètres de la haie
- b) Rang 3 : 6 mètres de la haie
- c) Rang 5 : 10 mètres de la haie
- d) Rang 11 (Témoin) : 22 mètres de la haie

Les modalités elles-mêmes étant fixées géographiquement, il n'est pas possible de mettre en place un dispositif classique expérimental mettant en œuvre l'analyse de variance. Néanmoins, il a été décidé de réaliser des répétitions (appelées couramment « fausses répétitions ») au sein des modalités et d'utiliser l'analyse de variance pour analyser les données. Trois répétitions de cinq ceps contigus sont ainsi identifiées par modalité. Elles sont notées A, B et C (cf annexe 2 et 2 bis). Les observations sont donc réalisées à chaque fois que cela est possible, sur les 12 placettes.

3) Suivi de l'essai

Pour mesurer l'impact de la haie sur la vigne, trois indicateurs sont mesurés : l'impact agronomique tel que les stades phénologiques, le statut hydrique, la croissance, l'état sanitaire, la qualité et le rendement de la vigne. Ensuite, nous observerons l'impact des arbres sur la biodiversité dans la parcelle et enfin l'aspect technico-économique à l'aide d'un référentiel (voir tableau 1).

Tableau 1: Planning des différentes notations de l'essai VITAM

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Vigne	Suivi des stades phénologiques						
					Relevé des tensiomètres		
					Relevé températures + rayonnement		
				Méthode des Apex			
					Qualité et rendement		
				Bilan hydrique foliaire de base + feuille			
		Suivis de croissance					
Suivis biodiversité		Pose nichoirs à abeilles	Suivi + collecte des données				
		Pose planches à	Suivi + collecte des données				
			Aspiration invertébrés				
				Suivi chiroptères			Suivi chiroptères
Référentiel Technico-économique					Enquêtes auprès des vignerons en agroforesterie		

B. Les indicateurs mesurés

1) Les suivis agronomiques sur la vigne

a. Mortalité initiale

Un état initial de la parcelle et plus précisément des rangs d'études a été réalisé dans le but de mettre en avant des possibles différences de mortalité sur nos différentes modalités.

b. Phénologie de la vigne

Une caractérisation de la phénologie a été réalisée à différents stades d'intérêt : lors du débourrement, de la floraison et de la véraison, afin de connaître l'influence de la haie diversifiée sur le développement végétatif de la vigne. Celle-ci a été réalisée à partir de l'échelle Biologisch Bundesantalt, Bundessortenamt and Chemische (BBCH) (annexe 3).

c. Croissance végétative

La présence de la haie sur notre parcelle peut également jouer un rôle sur sa croissance. Nous avons donc calculé le nombre et la longueur de chaque rameau sur tous les individus de nos placettes. Cette mesure a été réalisée le 31/05/2022 et sera reproduite à la fin de l'essai.

d. Potentiel hydrique foliaire de base

Dans un contexte climatique sec, il est important de pouvoir estimer l'état hydrique de la vigne. Le potentiel hydrique foliaire de base est l'une des mesures utilisées les plus courantes pour mesurer l'état hydrique de la vigne (Saurin et *al.* 2014). Elle se réalise à l'aide d'une chambre à pression (voir figure 6) et détermine la capacité des cellules des feuilles à retenir l'eau. Une feuille primaire est prélevée et placée dans un cylindre en prenant soin de laisser dépasser le pétiole. Elle est ensuite soumise à une pression constante d'azote et lorsque la sève perle en bordure de pétiole, on relève alors la pression atteinte. Exprimée en Mégapascal (MPa) et en négatif, elle nous donne la valeur du potentiel hydrique. La pression est proportionnelle au statut hydrique de la vigne, plus la pression est importante, plus le déficit hydrique est grand. La mesure est réalisée durant la fin de nuit, avant le lever de soleil, lorsque la transpiration de la feuille est faible voire nulle. Pour que les chambres à pression soient représentatives du potentiel hydrique foliaire de base de la vigne, elles sont positionnées le plus loin des pluies.

Nous avons prélevé 3 à 5 feuilles saines sur un rameau primaire par modalité et réalisé 5 sessions de chambre à pression espacées de quinze jours (sur la période de juin à août).



Figure 6 : Chambre à pression (source personnelle)



Figure 7: Stade de croissance des apex constituant la méthode des apex de l'IFV (crédit photo : JC Payan)

e. Méthode des apex

La méthode des apex permet de suivre l'état de croissance de la vigne et par conséquent le niveau de contrainte hydrique. Elle consiste à classer une cinquantaine d'apex, zone de croissance terminale des rameaux principaux, en 3 catégories : pleine croissance (2), croissance ralentie (1) et arrêt de croissance (0) (voir figure 7). Un apex est considéré en pleine croissance lorsqu'il a un aspect élancé et des vrilles dressées. Quant aux deux dernières feuilles, elles ne recouvrent pas l'apex lorsqu'elles sont ramenées vers le rameau. Un apex est noté en croissance ralentie lorsqu'il paraît tassé avec des petites vrilles. Et à l'inverse de la pleine croissance, les deux feuilles recouvrent l'apex. Enfin l'arrêt de croissance est caractérisé par l'apex sec ou chu. Cette méthode permet de calculer l'indice de croissance (IC) des apex et un pourcentage d'apex en pleine croissance ou en arrêt de croissance. L'IC caractérise la croissance végétative de la placette tandis que le pourcentage définit l'état de contrainte hydrique subi par la vigne. Il se calcule à l'aide de cette formule ($1 \times \% \text{apex pleine croissance} + 0.5 \times \% \text{apex en croissance ralentie} + 0 \times \% \text{apex en arrêt de croissance}$).

Afin de faciliter les observations hebdomadaires, l'application mobile ApeX-Vigne, conçue par l'IFV en partenariat avec SupAgro, a été utilisée. Elle permet également de calculer l'IC.

f. Relevé des tensiomètres et de la température

Des sondes Watermark® de type tensiométrique ont été placées sur les placettes CR1, CR3 et CR11, en suivant le gradient haie. Une sonde a été enfoncée jusqu'à soixante centimètres de profondeur et une autre à trente centimètres de profondeur afin de mesurer la disponibilité en eau (voir figure 8). L'unité de mesure est le centibar (cbar ou kPA). Plus la valeur est élevée, plus il est difficile de mobiliser de l'eau pour les racines. Cette mesure permet d'estimer une possible concurrence hydrique avec la haie.

En parallèle, la température est relevée en même temps et au même endroit que celui des tensiomètres. Ces données sont relevées en continu afin de suivre l'évolution de nos modalités.

g. Rendement et qualité

Le jour de la vendange, pour chaque placette, le nombre de grappes par cep sera relevé puis elles seront pesées afin de définir le nombre total de grappes par souche et le poids total de raisin par souche afin d'évaluer le rendement. Le même jour, 200 baies sont prélevées par placette pour une analyse de la qualité de la vendange en laboratoire. Seront mesurés les taux de sucres, acides (malique et tartrique), l'azote du moût, les anthocyanes et les polyphénols.

Sonde Watermark®
à 30 cm de
profondeur



Sonde
Watermark® à
60 cm de
profondeur

Figure 8: Sonde Watermark® de type tensiométrique installées sur le rang 1 de la parcelle des Peyrières (84)

(Source : personnelle)

2) Impact des arbres sur la biodiversité au sein de la parcelle viticole.

Divers protocoles ont été testés à l'échelle parcellaire afin de décrire un possible impact de l'arbre sur la biodiversité aérienne et du sol. Dans l'objectif de déterminer si la haie basse diversifiée influence la répartition spatiale de la biodiversité dans le vignoble. Pour cela divers points de mesures ont été disposés à des distances croissantes de la haie. Les protocoles ont été adaptés en fonction des populations étudiées et nous permettent de travailler à l'échelle de la parcelle et non de nos placettes d'étude. Nous avons effectué les protocoles mis en place par l'Observatoire Agricole de la Biodiversité (OAB). En premier lieu, nous avons suivi les auxiliaires de la vigne comme les chiroptères à l'aide d'enregistreurs à ultrasons à l'échelle de la parcelle mais également de planches à invertébrés, afin de se rendre compte de la population d'invertébrés et notamment de coléoptères dans la haie et dans les rangs. Enfin, parmi les plus reconnus pour leurs qualités de fertilisation des sols et d'indicateurs de la qualité des sols, un suivi vers de terre a été réalisé à l'échelle des placettes d'étude. Enfin, nous avons mis en place 2 nichoirs à abeilles solitaires afin de favoriser leur colonisation.

Ces protocoles simples et standardisés ne nous permettent pas d'avoir de réelles réponses sur l'évaluation de la biodiversité dans une parcelle ni de l'impact de la haie sur la biodiversité. Afin d'avoir de réels résultats, il aurait fallu raisonner à l'échelle de nos placettes en suivant un gradient de distance à la haie et non à l'échelle de la parcelle. De plus, une parcelle témoin aurait été judicieuse afin de pouvoir mettre en évidence une possible différence. En revanche, ils nous permettent de mieux connaître la biodiversité de notre parcelle et l'influence des pratiques viticoles sur la biodiversité. C'est pour cela que ces protocoles ne seront pas plus détaillés ni analysés par la suite.

Cependant, un suivi permet l'analyse et l'interprétation des résultats, il s'agit de l'**aspiration d'invertébrés**. Les insectes sont récoltés à l'aide d'un aspirateur avec un embout et un filet adaptés à la collecte d'insectes (auxiliaires, ennemis de cultures ou neutres), tout en évitant qu'ils soient broyés. Ainsi nous avons pu réaliser l'aspiration sur nos placettes du rang 1, 3 et 11 ainsi que sur des blocs de la haie se situant en face de nos placettes. Il s'agit d'une méthode non sélective et non attractive. L'objectif étant d'avoir des données à la fois quantitatives et qualitatives à un instant t. Ce qui nous permettra de comparer la diversité spécifique de nos rangs en fonction de la distance à la haie. L'identification des invertébrés se fait grâce au guide morpho-espèce qui nous permet d'aller jusqu'à l'ordre.

La durée et la manière de procéder à l'aspiration ont été réalisées de façon homogène sur les différentes placettes le 24/05/2022.

C. Analyse statistiques et traitement des données

Le traitement des données a été effectué à partir du logiciel R et de Microsoft Office Excel. Des analyses statistiques ont alors été réalisées sur les données afin de comparer les modalités entre elles et distinguer

les différences significatives. Nous avons réalisé des analyses de variance (ANOVA) afin de calculer l'effet modalité et l'effet bloc. « Une analyse de variance permet de vérifier l'hypothèse selon laquelle les moyennes de deux populations ou plus sont égales » (Support Mini Tab, 2019). Nous partons du postulat que si la p-value de F est inférieure à 0,05 ($\alpha = 5\%$), alors nous rejetons au risque α de se tromper, l'hypothèse nulle H_0 (égalité des moyennes). Pour permettre la réalisation de cette ANOVA, nous devons tester si les données suivent une loi normale et l'homogénéité des données. Pour cela, nous réalisons le test de Shapiro et de Bartlett, respectivement. Dans les cas où les conditions initiales pour réaliser une ANOVA ne sont pas remplies, nous réalisons un test non-paramétrique, le test Kruskal-Wallis, qui n'a pas besoin de conditions initiales d'usage. Lorsque nous avons démontré qu'au moins deux moyennes diffèrent l'une de l'autre, nous pouvons réaliser un test post-hoc de Tukey, comparaison multiple. Celui-ci permet de classer les moyennes dans des classes suivant leurs différences significatives ou non.

Le logiciel Microsoft Office Excel nous a permis de réaliser les analyses de base : calcul des moyennes et écarts-types et représentés par graphiques, soit par des histogrammes afin comparer les valeurs de chaque modalité ou placette à un instant t soit des courbes pour suivre une évolution dans le temps.

IV) Résultats

A. Les données climatiques

1) Caractérisation du millésime 2022

L'année 2022 fût une année particulièrement sèche avec peu d'épisodes de pluie (128 mm sur la période d'Avril à Aout) (Voir figure 9). Plusieurs épisodes de canicules ont été recensés. On assiste à un déficit hydrique estival très important : les périodes de sécheresse s'accroissent et les besoins en eau d'irrigation augmentent. Un épisode de grêle a également été enregistré en juin et qui n'a heureusement pas impacté la vigne.

B. Suivi agronomique sur la vigne

1) Mortalité initiale

L'état initial de la parcelle a permis d'observer que les rangs suivent un gradient à la haie c'est-à-dire que plus l'on s'écarte de la haie moins on a de mortalité (Voir figure 10). Cependant cela est à nuancer car la mortalité peut être engendrée par plusieurs facteurs et notamment par la présence d'ESCA sur un cépage sensible comme le Mourvèdre.

2) Phénologie de la vigne

La figure 11 représente l'avancement des différents stades phénologiques de la vigne sur l'année 2022.

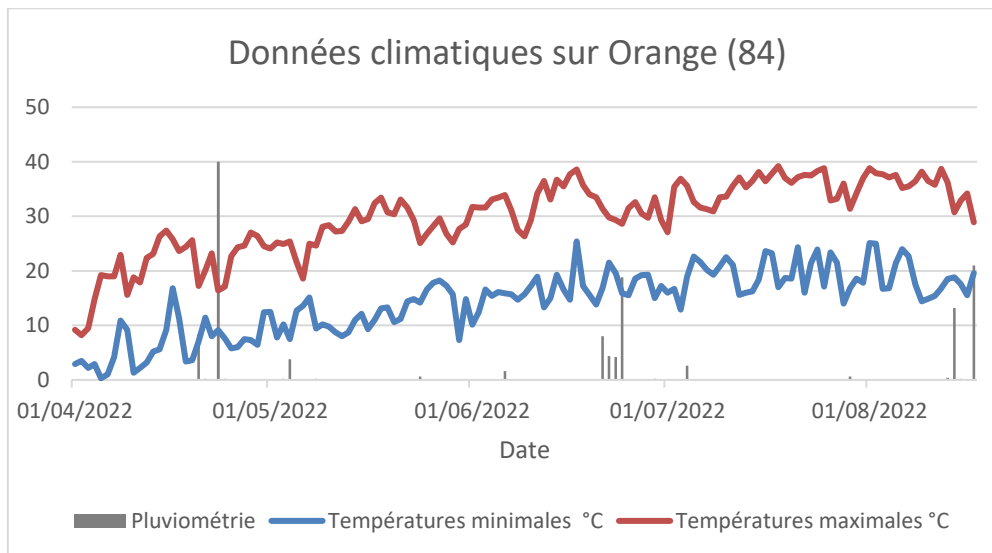


Figure 9: Données climatiques sur la période d'Avril à août 2022

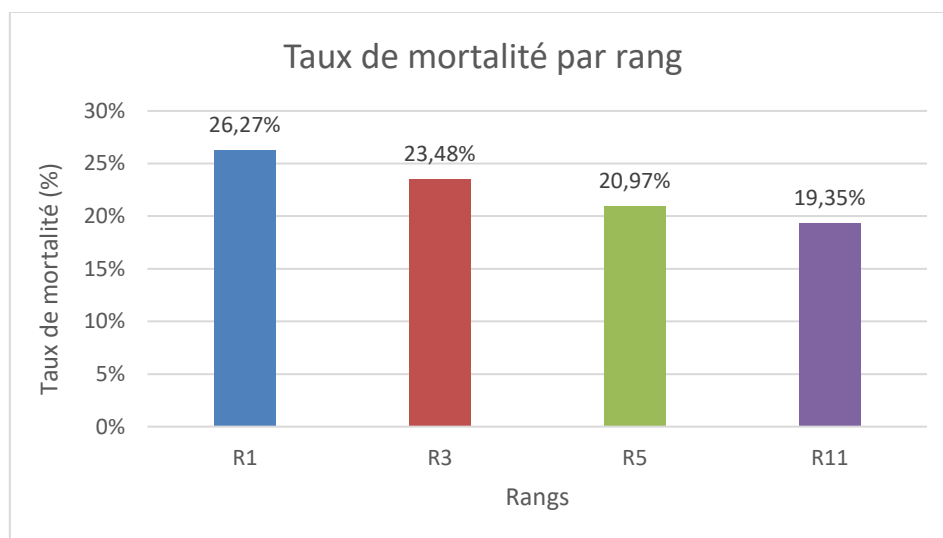


Figure 10: Taux de mortalité par rang

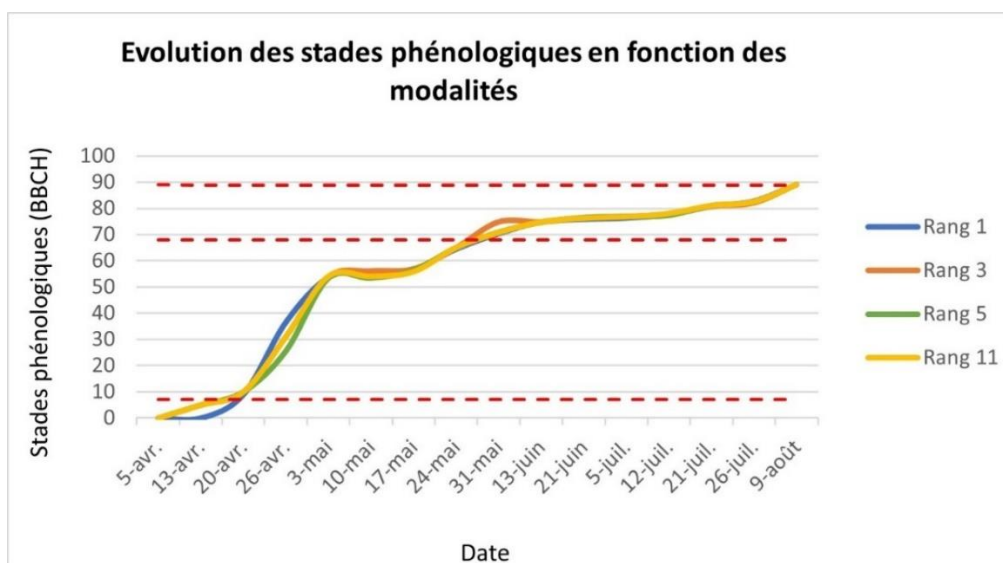


Figure 11: Stades phénologiques sur les différentes modalités (en 2022)

Aucune différence n'est observée entre les stades de débourrement, de floraison, de véraison et entre les différentes modalités. Ceci est confirmé au niveau statistique, avec le test non paramétrique Kruskal-Wallis, aucune différence significative n'a été relevée pour les stades de débourrement, floraison et véraison au risque =5% de se tromper (voir annexe 4). Les différentes modalités étaient donc toutes quasiment au même stade au même moment. Par conséquent il n'existe donc pas de gradient à la haie pour les principaux stades phénologiques de la vigne, la haie ne semble pas influencer la phénologie jusqu'à la véraison.

3) Indice de croissance par la méthode des apex

A partir de la méthode des apex, l'indice de croissance est calculé. L'évolution de l'indice de croissance en fonction du temps et des modalités est représentée sur la figure 12. Nous pouvons observer la dynamique de croissance de chaque modalité. Pour la première date d'observation (28/06/22), le rang 11 a l'indice de croissance le plus élevé (0,42), suivi du rang 5 (0.36), puis du rang 3 (0.16) et enfin le rang 1 (0.04). Dès les premières dates on observe différents groupes, avec les rangs 5 et 11 et d'un autre côté le rang 3 et 1 avec des indices de croissances inférieurs. Dès le mois de juin, le rang 1 est quasiment en arrêt de croissance et va perdre complètement ses apex dès le 19 juillet. Le rang 3 quant à lui a également une croissance de ses apex ralentie dès le mois de juin et va perdre totalement ses apex dès le 21 juillet. Les rangs 5 et 11 démarrent le mois de juin avec des apex en pleine croissance puis leur croissance va ralentir aux alentours du 12 juillet pour enfin tomber au 26 juillet (voir annexe 11).

Il est normal que tard dans la saison, la contrainte hydrique étant tellement forte la quasi-totalité des rangs perdent leurs apex. En revanche une croissance ralentie dès le mois de juin montre une contrainte hydrique forte, engendrée par la haie.

Le test de Newman-Keuls a confirmé des différences significatives, qui sont annotées en annexe 5 par les lettres a, b et c. A partir du 21/07/2022 aucune différence significative n'a été relevée.

4) Bilan hydrique par la mesure du potentiel foliaire de base

Sur la figure 13 et l'annexe 6 sont représentées les quatre modalités et leur moyenne en fonction du potentiel hydrique foliaire de base, exprimé en Mégapascal. Les traits noirs correspondent aux écart-types. Nous avons donc réalisé cinq relevés de potentiel hydrique foliaire de base. Pour les deux premières dates du 3 juin et du 17 juin, nous observons peu de différence entre les modalités. L'analyse de variance réalisée n'a relevé aucune différence significative. Tandis que pour les trois autres dates au 8 juillet, 26 juillet et 9 août (voir figure 14), nous observons des différences significatives. Les différences sont annotées par les lettres, a, ab et b, permettant de préciser les groupes significativement différents (voir annexe 6).

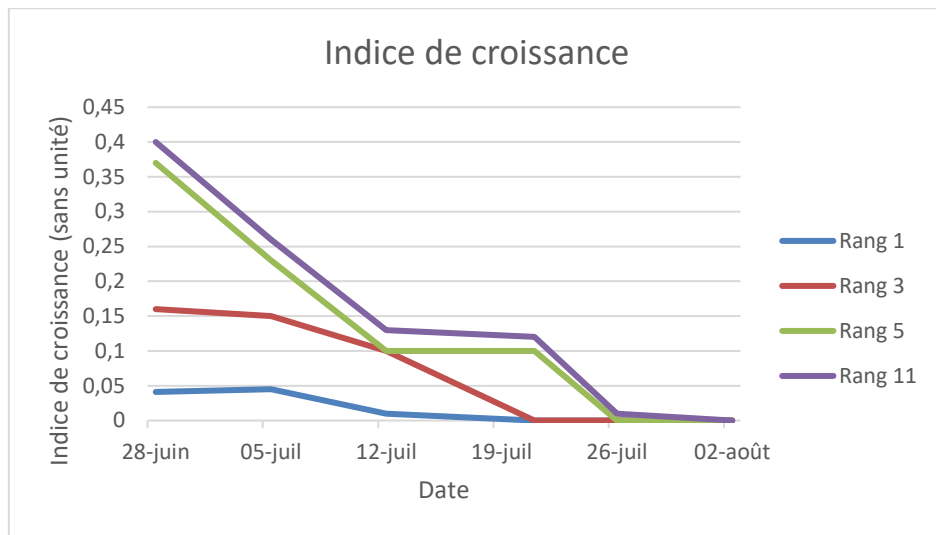


Figure 12: Evolution de l'indice de croissance des apex sur la période de juin à août 2022

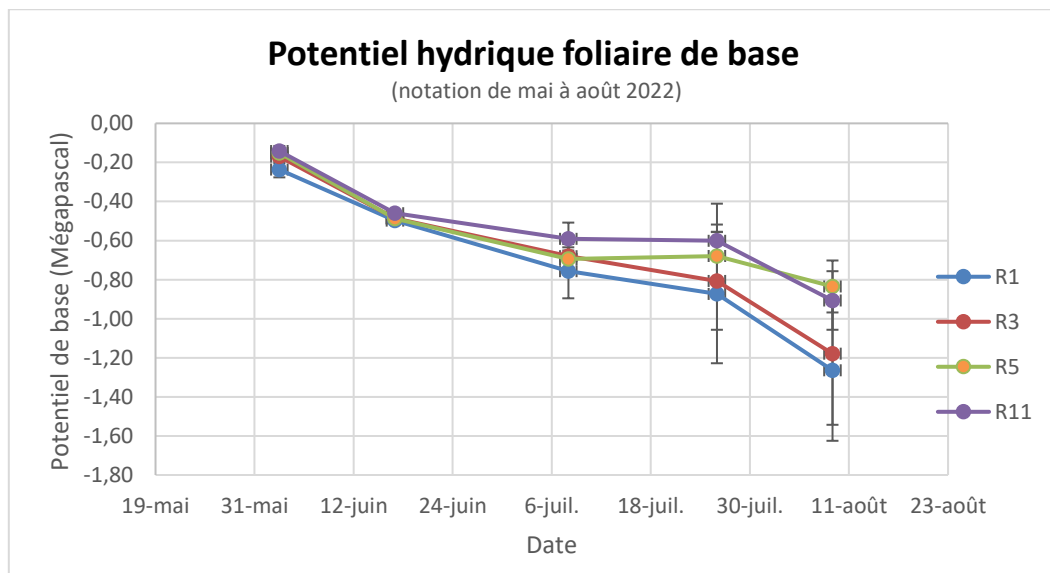


Figure 13: Courbe du potentiel hydrique foliaire de base sur la période de juin à août

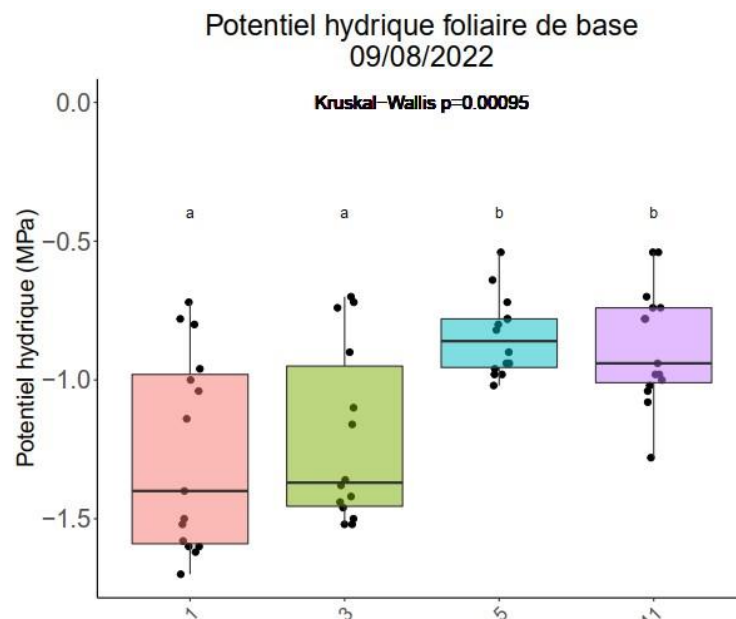


Figure 14 : Boxplot du potentiel hydrique foliaire de base du 9 août représentant les différents groupes en fonction des modalités

En observant la répartition des données en fonction des placettes et des dates, on remarque que jusqu'au 8 Juillet, la vigne a subi une contrainte hydrique faible à modéré, cependant à partir du 8 Juillet pour les rangs 1 et 3 l'écart se creuse, ils rentrent alors en contrainte modéré à partir du 26 Juillet pour atteindre une contrainte sévère lors de la véraison (09/08/2022). Quant aux rangs 5 et 11, ils sont en contraintes modérés jusqu'à la véraison (voir figure 13). Les rangs situés jusqu'à 6 mètres de distance à la haie subissent donc une contrainte hydrique plus forte en période de forte sécheresse.

De plus, grâce à la cartographie réalisée sous R (figure 15 et annexe 12), les zones les plus foncées sont celles qui subissent le plus de stress hydrique. Nous pouvons alors mettre en évidence la présence d'un gradient nord-sud. Il existe donc une hétérogénéité du sol sur la parcelle. Les placettes choisies en début d'expérimentation ont été placées en répondant à un gradient à la haie mais aussi à un gradient nord-sud ce qui nous permet de dire que l'interprétation des données ne sont pas biaisées par les emplacements séchants de la parcelle.

5) Croissance végétative

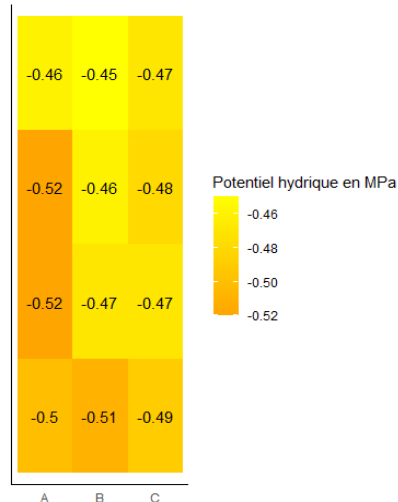
La croissance de notre vigne est évaluée en partie par la pousse des rameaux. Nous avons pu constater que le nombre moyen de rameaux par rang était quasiment équivalent d'un rang à un autre (voir figure 16) ; comme l'a montré l'analyse statistique qui n'a relevé aucune différence significative (Voir annexe 7). En ce qui concerne les longueurs moyennes des rameaux par rang (figure 17 et annexe 7), aucune différence significative n'a été relevée au risque $\alpha = 5 \%$ de se tromper. On peut donc considérer que la haie n'a pas d'impact direct sur la croissance végétative

6) Tensiomètres

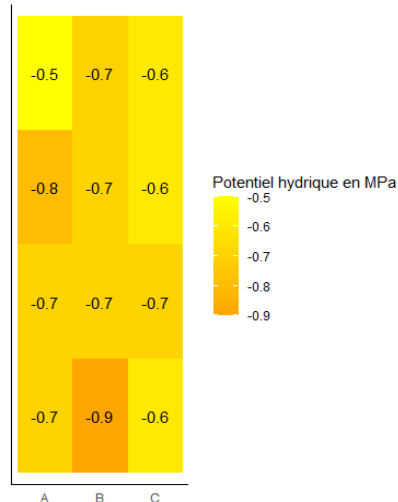
Ayant rencontré des difficultés d'ordre technique comme l'installation tardive des sondes ainsi que la défaillance d'un boîtier (qui a nécessité son renvoi), les données sont pour beaucoup inexploitable. Notamment les données des sondes à 60 centimètres de profondeur. Quant aux données des sondes situées à 30 centimètres de profondeur, seules celles provenant des rangs 3 et 11 sont exploitables.

On constate que dès le mois de juillet, les niveaux de sondes sont assez élevés pour les 2 modalités ce qui s'explique en grande partie par les conditions sèches du mois de juillet (cf figure 9). Le rang 3 atteint un pic de tension au 01/08/2022 à 191 KPa pour ensuite se stabiliser. Le rang 11 quant à lui est en constante augmentation jusqu'au 09/08/2022 pour atteindre une valeur à 168 KPa (voir figure 18). On remarque que les 2 rangs suivent la même tendance. Cependant le rang 3 subit une plus forte tension que le rang 11, on peut donc imaginer que le rang 1 aurait atteint des valeurs encore plus hautes et plus tôt dans la saison.

Potentiel hydrique foliaire de base en fonction de la position sur la parcelle 17/06/2022



Potentiel hydrique foliaire de base en fonction de la position sur la parcelle 08/07/2022



Potentiel hydrique foliaire de base en fonction de la position sur la parcelle 26/07/2022

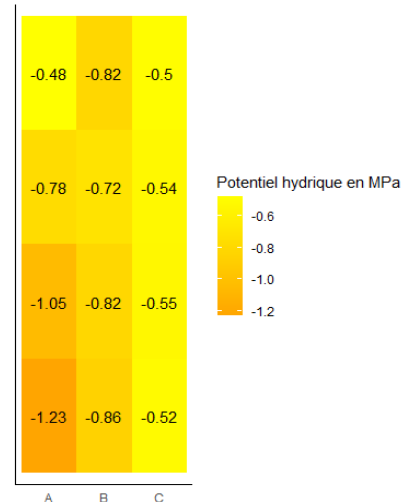


Figure 15: Cartographie des moyennes de potentiel hydrique foliaire de base réalisé sur nos modalités

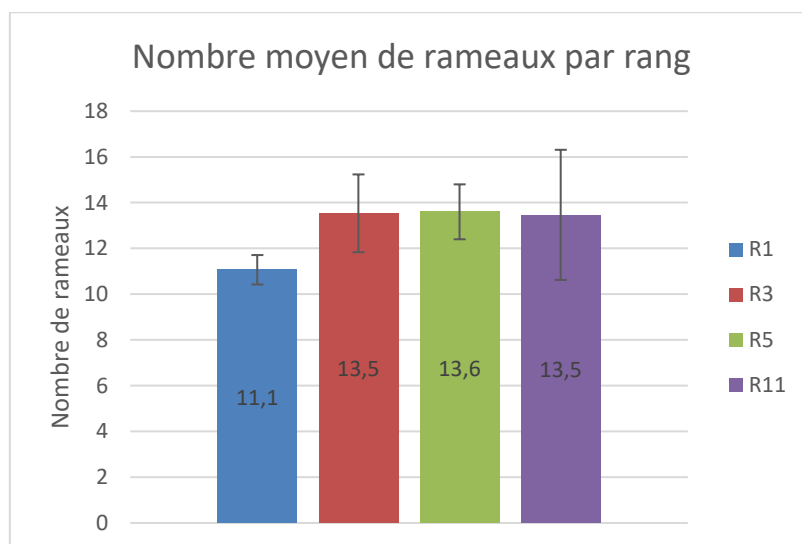


Figure 16: Histogramme du nombre moyen de rameaux par modalité

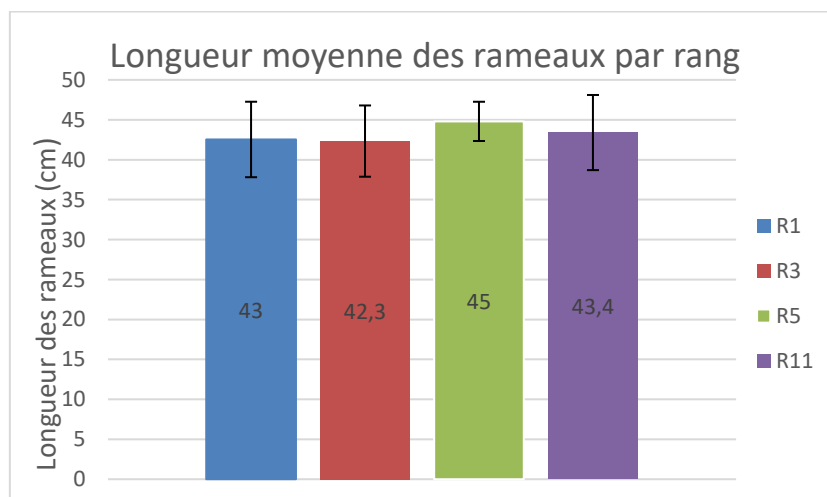


Figure 17: Histogramme des longueurs moyennes de rameaux en fonction de nos modalités

7) Rendement et qualité

A ce jour la seule donnée de rendement acquise est le nombre de grappes par rang (figure 19), la vendange étant prévu à la fin du mois d’Août. Statistiquement aucune différence entre les modalités n’a été relevée (voir annexe 8), la haie n’a donc pas d’influence sur le nombre de grappes par cep.

L’indice de la haie sur le rendement en raisin et sa qualité sera affinée lors de la vendange.

D. Suivi de la biodiversité

1) L’aspiration d’invertébrés

Les résultats ont montré une plus forte abondance et richesse d’espèces dans la haie. En revanche il n’existe pas de gradient avec la haie. Les rangs les plus proches de la haie ne possèdent ni plus d’espèce ni une richesse supérieure (Voir figure 20). Si l’on regarde la figure 21, au-delà d’une abondance bien supérieure, la haie présente une plus grande diversité avec notamment des auxiliaires (opilions, araignées, coccinelles, punaises) de la vigne, qui sont bénéfiques pour la lutte contre les ravageurs.

La haie permet d’avoir plusieurs strates de végétation et donc de nouvelles niches écologiques. Les arbres et tout ce qui le compose va pouvoir offrir une diversité d’habitats, de refuges, de ressources alimentaires, de zone de chasse, de reproduction ... Au-delà de l’aménagement arboré de notre haie, on a la mise en place d’une bande enherbée au pied de celle-ci, qui va être bénéfique à la colonisation de certains invertébrés. La haie contribue au maintien d’une grande diversité d’espèces et notamment d’invertébrés c’est pour cela qu’il est important de bien réfléchir aux choix des essences pour qu’elle ait le plus d’impact positif possible sur la biodiversité.

La présence de la haie ne permet pas une recolonisation des invertébrés dans la vigne. Cela peut s’expliquer en grande partie par les traitements effectués car même si la parcelle est conduite en biologique, elle a fait l’objet de 5 traitements au cuivre cette année. En revanche la haie à l’origine d’un réservoir de biodiversité au sein d’une culture monospécifique.

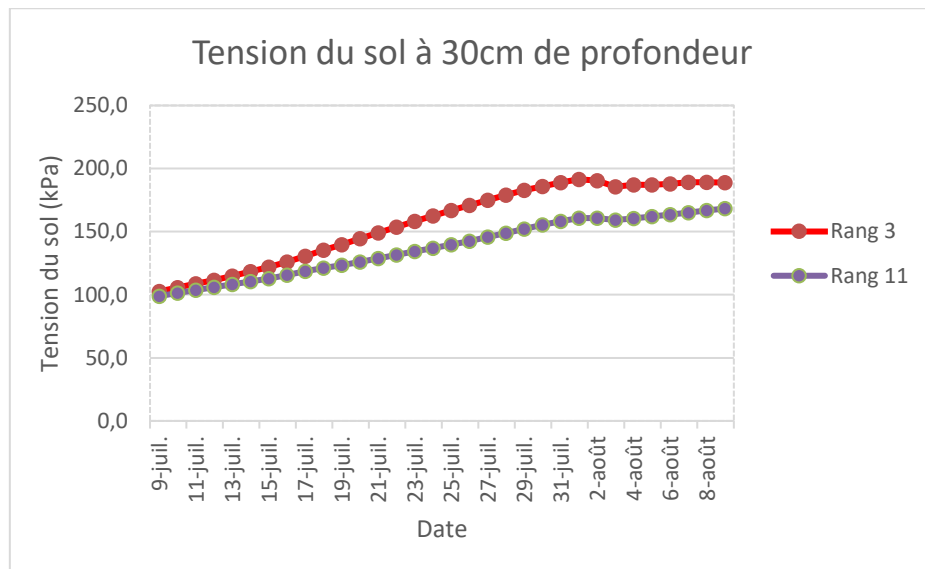


Figure 18: Evolution de la tension du sol à 30cm de profondeur sur la période de juillet à août

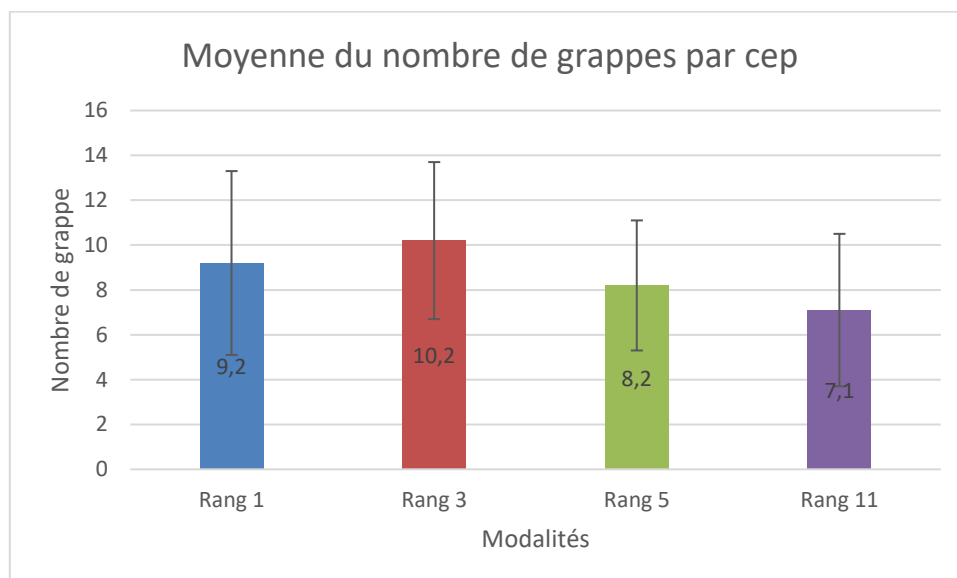


Figure 19: Histogramme du nombre de grappe moyen par cep

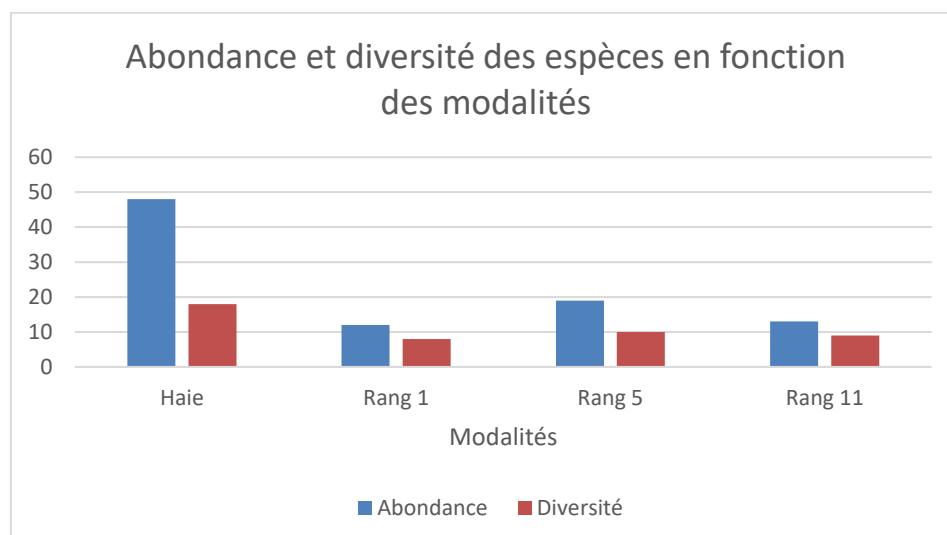


Figure 20: Histogramme de l'abondance et de la richesse en invertébrés sur nos modalités et sur la haie

V) Discussion

A. Des impacts sur la vigne à confirmer sur le long terme

L'un des principaux objectifs du travail de stage est de suivre le volet agronomique et d'étudier l'effet des aménagements agroforestiers sur la vigne. Plusieurs indicateurs ont été étudiés tels que les stades phénologiques de la vigne, la nutrition hydrique et azotée. Les premiers résultats n'ont pas montré d'effet concurrentiel en ce qui concerne les principaux stades de développement de la vigne, la croissance végétative et le nombre de grappe par cep. En revanche, les diverses mesures de potentiel foliaire de base et l'indice d'arrêt de croissance des apex ont révélé un stress hydrique plus important sur les rangs 1 et 3. Les 6 premiers mètres de distance à la haie subissent donc une concurrence hydrique avec la haie. La conséquence de ce stress hydrique va probablement se répercuter directement sur le rendement, que l'on pourra évaluer lors de la vendange (taille des baies, poids des baies) et en finalité impacter les qualités organoleptiques des vins. En effet les rangs 1 et 3 ayant subi des contraintes sévères lors de la véraison on peut s'attendre à avoir un vin plus tannique et alcooleux.

C'est pour cela qu'il est important d'inscrire ces résultats dans le long terme afin de voir s'ils ne présentent pas d'effets négatifs qui se confirment sur le long terme. Dans un second temps, il sera intéressant de voir les conséquences sur le rendement à la vendange. Enfin, d'inclure le climat dans l'interprétation et de voir jusqu'à quel niveau le climat va jouer sur cette concurrence.

B. Perspectives et voies d'amélioration de l'essai

Comme nous avons pu le préciser, il s'agit de la première année sur les deux années d'étude du projet VITAM. Le projet a pu recueillir tous les premiers freins techniques de la mise en place de l'essai. D'un point de vue agronomique il serait intéressant d'avoir une vision à long terme, en particulier pour affiner et approfondir les mesures qui n'ont pas pu être réalisées lors de la première année. En effet, à la suite de problèmes techniques, certaines mesures comme la caractérisation du microclimat (tension du sol à 60 cm, rayonnement, température du sol), le potentiel de tige et le rendement n'ont pas pu être faits.

De plus, il serait envisageable de revoir certains points du protocole afin d'ajuster les différentes mesures en fonction des premiers résultats obtenus. Le potentiel de feuille a également été réalisé mais les données qui en sont issues n'ont pas pu être exploitées en raison de leur grande hétérogénéité. En revanche, il serait

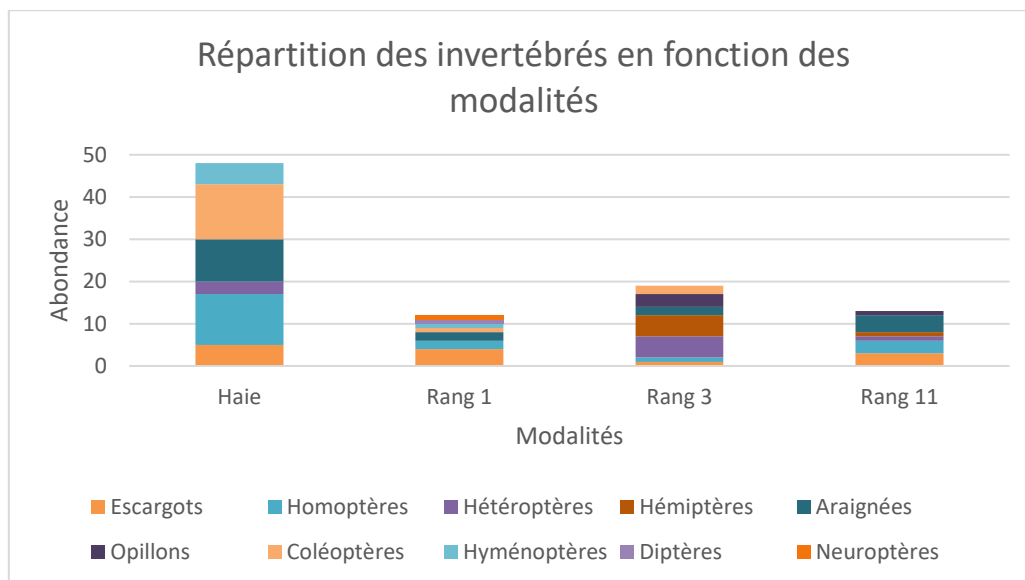


Figure 21: Répartition des invertébrés en fonction des modalités

pertinent d'inclure des mesures de potentiel tige pour l'année suivante. Cette donnée permettrait d'affiner les résultats concernant la contrainte hydrique notamment lors des déficits hydriques modérés. En effet, cela nous communiquera une information sur l'état hydrique végétal en condition de transpiration et de fait sur la disponibilité en eau du sol.

De plus, il serait pertinent d'ajuster le protocole en fonction des aménagements arborés, étant sur une haie basse les impacts microclimatiques et agronomiques ne seront pas les mêmes sur une haie brise vent que sur une haie haute. Pour notre parcelle par exemple, il serait peut-être plus pertinent de prendre en compte le rang 2. En effet, les effets microclimatiques et agronomiques ne sont pas les mêmes qu'avec une haie haute. La limite de concurrence se joue donc entre les rangs 2 et 3.

Enfin, la parcelle actuelle de Mourvèdre fait face à une forte mortalité due à la présence d'ESCA, il serait donc envisageable pour l'année prochaine de repositionner les placettes afin de ne pas inclure des pieds malades.

En ce qui concerne les suivis de biodiversité, il reste difficile d'évaluer la biodiversité présente et celle apportée par la haie. Afin d'avoir des données exploitables il faudrait envisager de raisonner à l'échelle de la parcelle et donc de comparer avec une parcelle témoin. Il serait notamment intéressant d'évaluer la plus-value de l'agroforesterie viticole avec l'hébergement d'auxiliaires et d'en estimer la proportion par rapport aux ravageurs de la vigne.

C. La réalité de l'implantation d'une haie viticole

La mise en place d'un système agroforestier permet d'aller plus loin dans la réflexion d'une agriculture durable, à condition que la technique soit réfléchie et maîtrisée. Ce qui va impliquer une réflexion préalable afin d'identifier les enjeux et les attentes du vigneron. Il s'agit de bien réfléchir au type d'aménagement que l'on souhaite en fonction de ces problématiques (vent, érosion...) et/ou attentes (biodiversité, paysager, économique), aux essences que l'on souhaite planter (adaptés au sol, au climat, attractif pour certaines espèces...), à la densité de plantation, à l'orientation. Lors des échanges avec les différents vignerons en agroforesterie, nous avons pu faire ressortir les principales difficultés qui résident principalement dans le passage des engins dans la parcelle d'où l'importance de bien réfléchir à son système. En revanche, l'entretien et le coût ne sont pas les facteurs qui freinent les vignerons. La plantation est l'étape qui demande le plus de rigueur, l'entretien après quelques années, nécessite principalement du rognage et de l'égagage tous les 2 ans environ.

Conclusion

Le projet VITAM a permis de tester et valider divers protocoles et outils de mesure à l'échelle parcellaire en contexte viticole.

Au niveau agronomique, les premiers suivis montrent que la présence d'une haie basse présente depuis 20 ans à proximité de la vigne n'a pas d'effet concurrentiel sur l'avancement des principaux stades phénologiques, la croissance végétative et sur les premiers résultats de rendement (nombre de grappes par cep). En revanche les résultats obtenus sur le stress hydrique montrent qu'il existe une concurrence pour l'eau avec la haie. En effet les rangs à une distance allant jusqu'à 6 mètres de la haie vont être impactés négativement par celle-ci.

Au niveau de la biodiversité, les premiers résultats montrent que la haie présente une abondance et une diversité d'invertébrés supérieures à la vigne. La haie a un effet de réservoir de biodiversité et va pouvoir accueillir des auxiliaires bénéfiques à la lutte contre les ravageurs.

Ces résultats donnent une première base pour établir un conseil auprès des vignerons mais devront être confirmés et approfondis lors de la prochaine année de suivi. Ces résultats seront également comparés avec les autres sites d'étude.

La transition agroécologique apparaît comme un outil de changement adapté vers un modèle agricole répondant aux crises que traverse ce secteur. L'agroforesterie a pu prouver ses bénéfices en termes de paysage, de biodiversité, d'économie mais nécessite d'être longuement réfléchi afin de maîtriser les concurrences hydriques sur les premiers mètres et les baisses de rendement afin de répondre aux enjeux de ce siècle comme le changement climatique.

Bibliographie

- BINDI, M., FIBBI, L., GOZZINI, B., ORLANDINI, S. and MIGGLIETA, F., 1996. « Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine ». 213-224 p.
- BOURGADE, E., UGAGLIA, A., BUSTILLO, V., DUFOUCQ, T., GRIMALDI, J., GUENSER, J., MONTAGNE, V., RANJARD, L., 2020. VITIFOREST: Evaluation de l'impact de l'arbre agroforestier en contexte viticole. *Innov. Agron.* 471–497.
- Chambre d'Agriculture Auvergne-Rhône-Alpes, Occitanie et Provence-Alpes-Côte d'Azur, IFV, SRAL, CIRAME, LA TAPY, & AREDVI. (2022). Guide des Vignobles. AREDVI
- COSTE, J., COURSIMAULT A., BRISSAUD F., BONGRAND J., CHAUVIN D. et IESF, 2021. Les prévisions du GIEC. Changement climatique : Un défi pour les ingénieurs. Les Ulis: EDP Sciences, 21-24.
- DUCHENE E., SCHEIDERC., 2005 : Grapevine and climatic changes : a glance at the situation in Alsace. *Agron. Sustain. Dev.*, 25, 93-99
- DUPRAZ C., LIAGRE F., 2008. Agroforesterie - des arbres et des cultures. Editions France Agricole, 410 p.
- FRANCHOMME M., BONNIN M., HINNEWINKEL C., 2013. « La biodiversité « aménage-t-elle » les territoires ? Vers une écologisation des territoires », Développement durable et territoires, vol. 4, n°1.
- GARY C, METRAL R, METAY A, GARCIA L, MEROT A, SMITS N, JACQUES N, 2017. Towards an agroecological viticulture : advances and challenges. *Proceedings of the 20th GiESCO International Meeting*, Mendoza, Argentina, pp. 1122-1127.
- GIEC, 2013. Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex V., et Midgley S. K.]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
- GIORGI, F. « Climate Change Hot-Spots ». *Geophysical Research Letters*, vol. 33, n° 8, 2006, p. L08707. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>.
- GREER, D.H., ABEYSINGHE, S.K., ROGIERS, S.Y., 2019. The effect of light intensity and temperature on berry growth and sugar accumulation in *Vitis vinifera* “Shiraz” under vineyard conditions. *VITIS - J. Grapevine Res.* 7-16 Pages. <https://doi.org/10.5073/VITIS.2019.58.7-16>

- GRIMALDI J., 2018. Impacts of agroforestry on microclimate for grape and wine production : Assessment in Southern France [French: Impacts microclimatiques de l'agroforesterie en viticulture : étude de cas dans le Sud de la France] (phD thesis). Université Toulouse III Paul Sabatier, Toulouse, France
- JACKSON L.E., WHEELER S.M., HOLLANDER A.D., O'GEENA.T., ORLOVE B. S., SIX J., SUMNER D.A., SANTOS-MARTIN F., KRAMER J.B., HORWATH W.R., HOWITT R.E., TOMICH T.P., 2011. "Case study on potential agricultural responses to climate change in a California landscape", *Climatic Change*, n° 109 (Suppl 1), Springer, p. 407-427.
- JONES G., WEBB L., 2010. "Climate Change, Viticulture, and Wine: Challenges and Opportunities", *Journal of Wine Research*, n°21, p. 103-106.
- LELIEVRE, F., SALA, S., RUGET, F., VOLAIRE, F., 2011. Evolution climatique du Sud de la France 1950-2009. Projet CLIMFOUREL PSDR-3, Régions L-R, M-P, R-A. Série Les Focus PSDR3.
- MADELIN M., CHABIN J.-P. & BONNEFOY C., 2008. Global warming and its consequences on the Beaune vineyards. *Enometrica*, 1, 2, p. 9-19
- NAIR PKR, 1991 State-of-the-art of agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45:5–29
- OLLAT, N., 2013. Amélioration variétale comme moyen pour s'adapter au changement climatique. *Techniloire, Le matériel végétal d'aujourd'hui et de demain* (2013), 20-23
- PIELKE SR RA, STHOLGREN T, SCHELL L, PARTON W, DOESKEN N, REDMON K, MONEY J, MCKEE T, KITELL I TGF. 2002. « Problems in evaluating regional and local trends in temperature: an example from the Eastern Colorado, USA ». *International Journal of Climatology*, 421-434p
- RAYMOND, F., ULLMANN, A., CAMBERLIN, P., 2016. Précipitations intenses sur le Bassin Méditerranéen : quelles tendances entre 1950 et 2013 ? *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 760, consulté le 28 juin 2021. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/27410>
- RIOU C., PIERI P., VALANCOGNE C., 1987. Variation de la vitesse du vent à l'intérieur et au-dessus d'une vigne. *Agricultural & Forest Meteorology* 39, p143–154. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(87\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0168-1923(87)90033-5)
- SAURIN, N., TISSEYRE, B., & Lebon, E. (2014). Comment mesurer la contrainte hydrique de la vigne, de la plante au vignoble (p. p143-158). INRAE. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01259743/document>
- SCHULTZ H.R, 2018, « Les impacts du changement climatique sur la viticulture : une vision européenne ».

- THERMES, C., BERTRAND, F., La Jeunesse, I., 2020. Les différentes formes de déplacement du vignoble : des leviers pour adapter la viticulture au changement climatique ? *Noréis* 2020 n°254, 75-90
- TORETI, A., XOPLAKI, E., MARAUN, D., KUGLITSCH, F. G., WANNER, H., LUTERBACHER, J., 2010. Characterisation of extreme winter precipitation in Mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 10, 1037–1050.
- TRAMBOUZE W., GOMA-FORTIN N., 2013. Agroforesterie viticole : résultats de 11 ans d'étude sur la production et la vigueur des vignes, *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 51-53 p
- VAN LEEUWEN.C., DESTRAK-IRVINE, A., EGFY, U., 2017. Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *OENO One*
- VAN LEEUWEN.C, O. TREGOAT, X. CHONE, B. BOIS, D. PERNETS and J.-P. GAUDILLERE, 2009 « Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes ? » *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*.
- VAN LEEUWEN C, DARRIET P, 2018 « Le changement climatique en viticulture : les leviers d'adaptation au vignoble. » *Assises des Vins du Sud-ouest*, Institut Français de la Vigne et du Vin, 32 p.
- VAN LEEUWEN C, DARRIET « The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality ». *Journal of Wine Economics*, vol. 11, n° 1, mai 2020, p. 150-167. *Cambridge University Press*, <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>.

Sitographie

- AGROOF. *Viticulture et Agroforesterie Méditerranéenne* [en ligne]. (Crée en 2021), disponible sur : <https://agroof.net/recherche/fichesR&D/vitam.html>. Consulté le (24/05/2022)
- INRAE. *Agroforesterie : des arbres pour une agriculture durable* [en ligne]. (Modifié le 05/01/2022), disponible sur : <https://www.inrae.fr/actualites/agroforesterie-arbres-agriculture-durable>. Consulté le (05/05/2022)
- Institut Français de la Vigne et du Vin. *L'Agroforesterie* [en ligne]. (Modifié le 03/2020), disponible sur : www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/agroforesterie/. Consulté le (28/06/2022)
- Dictionnaire d'agroécologie. *Agroforesterie* [en ligne]. (Crée en 2017), disponible sur : <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/agroforesterie/>. Consulté le (29/06/2022)

- Météo France, s-d. Tout savoir sur le climat en métropole [**en ligne**]. (Modifié en 2021), disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climat-en-france/le-climaten-metropole>. Consulté le 04/07/2022
- Support Mini Tab. Interprétation des résultats principaux pour la fonction ANOVA à un facteur contrôlé. [**en ligne**]. (Modifié en 2022), disponible sur : <https://support.minitab.com/frfr/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/key-results/>. Consulté 13 juillet 2022.
- WWF France. Rapport Planète Vivante 2020 [**en ligne**]. (Modifié en 2020), disponible sur : <https://www.wwf.fr/rapport-planete-vivante>. Consulté le 28 août 2022.

Annexes

Annexe 1: Essences de la haie basse de la parcelle des Peyrières, Orange (84)	
Annexe 2: Plan de l'essai VITAM	
Annexe 3: Stades phénologiques de la vigne (IFV)	
Annexe 4: Synthèse des tests statistiques des notations des stades phénologiques, réalisé à partir du logiciel R.....	
Annexe 5: Synthèse des tests statistiques des notations des indices de croissance, réalisé à partir du logiciel R.....	54
Annexe 6: : Synthèse des tests statistiques des notations du potentiel hydrique foliaire de base, réalisé à partir du logiciel R.....	
Annexe 7: Synthèse des tests statistiques des notations de la croissance végétative de base, réalisé à partir du logiciel R.....	
Annexe 8: Synthèse des tests statistiques des notations du rendement, réalisé à partir du logiciel R.....	
Annexe 9: Exemple de script utilisé pour les tests statistiques sur le logiciel R	
Annexe 10: Evolution des proportions des différents stades d'apex dans le temps en fonction des modalités.....	
Annexe 11: Cartographie du potentiel foliaire de base au 09/08/2022	
Annexe 12: Questionnaire d'enquête VITAM sur l'agroforesterie viticole	



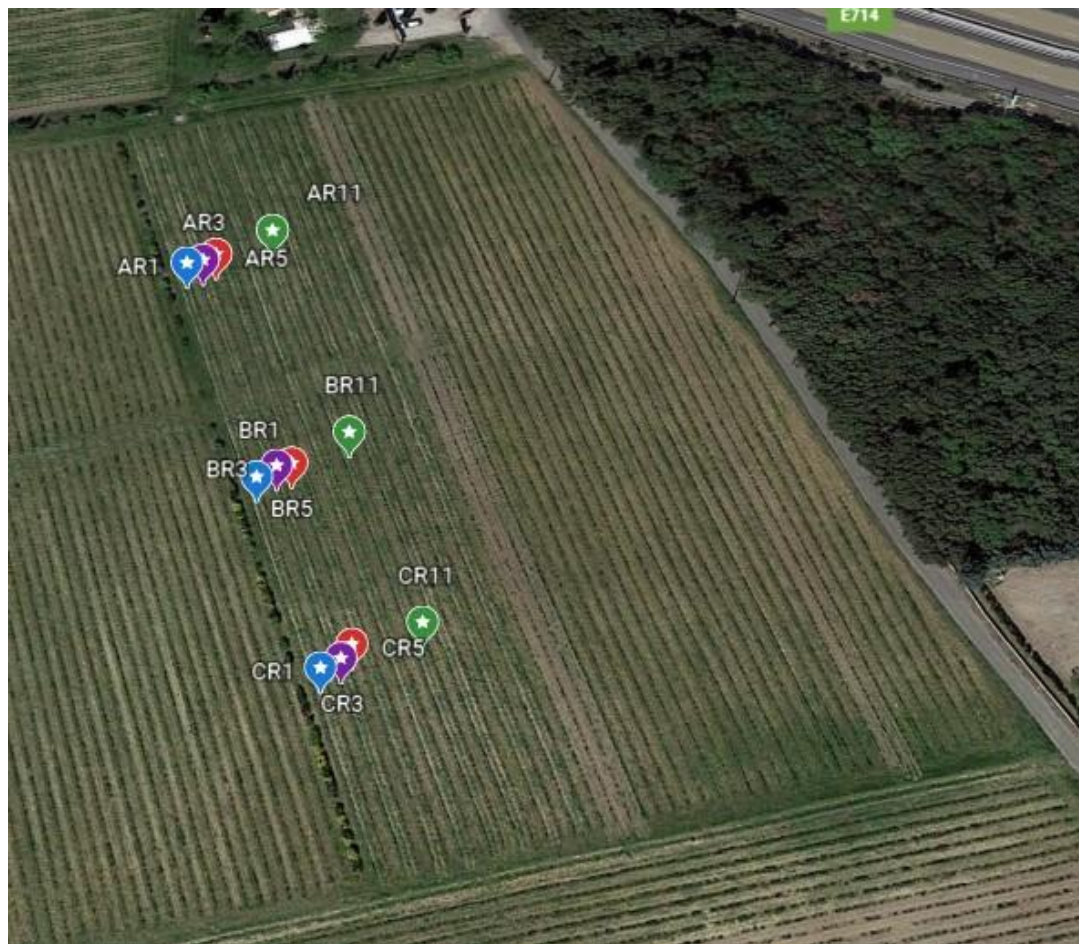
Liste des essences de la haie basse diversifié :

- Arbre à perruques
- Cade
- Romarin
- Piracantha
- Arbousier
- Coronille de Valence
- Filaire à feuilles étroites
- Laurier sauce
- Laurier rose
- Laurier tin
- Germandrée arbustive
- Viorne
- Buis
- Grenadier
- Myrte
- Buplèvre

Annexe 1: Essences de la haie basse de la parcelle des Peyrières, Orange (84)

C

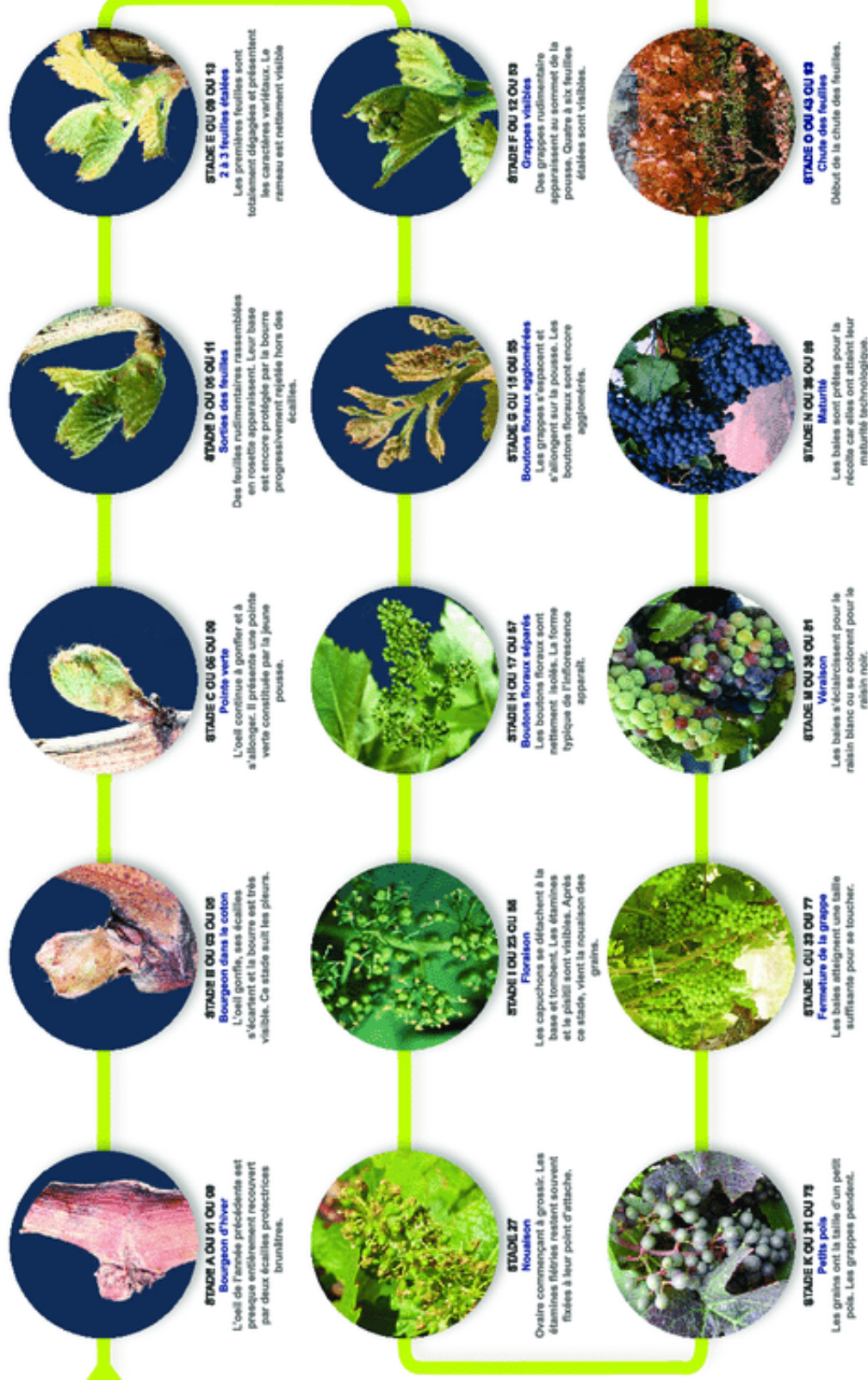
Placette d'étude



Annexe 2 bis : Parcelle des Peyrières avec les placettes d'étude

LES STADES PHÉNOLOGIQUES DE LA VIGNE

La phénologie étudie les cycles biologiques des végétaux et leurs liens avec les conditions climatiques. Sur la vigne, l'étude de la phénologie consiste à enregistrer, annuellement, le retour des stades de croissance et de développement de la plante, en étudiant les facteurs qui l'influencent : débournement, floraison, véraison, maturité, coloration automnale.



Depuis 1994, la notation des stades phénologiques de la vigne s'effectue suivant une échelle numérique s'étendant de 1 à 47, établie par Eychhorn & Lorenz. Cette échelle corrélée celle de Bagnoli. Enfin, il existe une échelle universelle pour toutes les monocotylédones et les dicotylédones, appelée BBCH (Biologische Bundesanstalt für Landbau und Forstwirtschaft). Chaque stade est défini par une lettre et deux chiffres dans l'ordre : Bagnoli, Eychhorn & Lorenz et BBCH.

© Institut Français de la Vigne et du Vin, domaine de l'Espigassette - 33245 La Bruyère - Photos IFV / P. Mackenzie - Octobre 2017

Stades phénologiques

Kruskal- Wallis	X-squared	df	Pr (>F)
Débourrement (20/04/2022)	6.5539	3	0.08756
Floraison (31/05/2022)	4.248	3	0.2359
Véraison (09/08/2022)	3	3	0.3916

(p : probabilité ; X-squared : valeur du Chi-deux calculée, df : degrés de liberté)

Annexe 4: Synthèse des tests statistiques des notations des stades phénologiques, réalisé à partir du logiciel R

Indice de croissance

ANOVA : Effet Modalité	Ddl	SC	MC	F	Pr (>F)
28/06/2021	1	0,1934	0,19339	8,852	0,0139
12/07/2022	1	0,0265	0,026250	7.975	0,018
21/07/2022	1	2.017	2.0170	4.845	0,0523

(Ddl : degrés de liberté ; SC : Somme des Carrés ; MC : Moyenne des Carrés ; F :

Variation entre les moyennes d'échantillonnage / l'intérieur des échantillons, p : probabilité)

Test de comparaison multiple des moyennes	Modalités			
	Rang 1	Rang 3	Rang 5	Rang 11
28/06/2022	a	ab	b	b
12/07/2022	b	a	a	a
21/07/2022	a	a	a	a

Annexe 5: Synthèse des tests statistiques des notations des indices de croissance, réalisé à partir du logiciel R

Bilan hydrique foliaire de base

ANOVA	Ddl	SC	MC	F	Pr (>F)	Significative/Pas significatif
03/06/2022	3	0,12320	0,020533	2.592	0.0756	Pas significatif
17/06/2022	3	0.00766	0.0025521	2.573	0.0691	Pas Significatif
08/07/2022	3	0.1139	0.03797	6.163	0.0019	Significatif
26/07/2022	3	0.3837	0.12788	2.846	0.0496	Significatif

(Ddl : degrés de liberté ; SC : Somme des Carrés ; MC : Moyenne des Carrés ; F : Variation entre les moyennes d'échantillonnage / l'intérieur des échantillons, p : probabilité)

Test Kruskal-Wallis (test non paramétrique)	X-squared	df	Pr (>F)	Significatif / Pas significatif
09/08/2022	16.371	3	0.0009516	Significatif

(p : probabilité ; X-squared : valeur du Chi-deux calculée, df : degrés de liberté)

Test de comparaison multiple des moyennes	Modalités			
	Rang 1	Rang 3	Rang 5	Rang 11
08/07/2022	b	b	ab	a
26/07/2022	a	a	a	a
09/08/2022	a	a	b	b

Annexe 6: : Synthèse des tests statistiques des notations du potentiel hydrique foliaire de base, réalisé à partir du logiciel R

Croissance végétative

Test Kruskal-Wallis (test non paramétrique)	X-squared	df	Pr (>F)	Significatif / Pas significatif
31/07/2022	3.3559	3	0.3399	Pas significatif

(p : probabilité ; X-squared : valeur du Chi-deux calculée, df : degrés de liberté)

Annexe 7: Synthèse des tests statistiques des notations de la croissance végétative de base, réalisé à partir du logiciel R

Nombre de grappes par cep

ANOVA	Ddl	SC	MC	F	Pr (>F)	Significative/Pas significatif
27/07/2022	3	81.2	27.07	2.209	0.0971	Pas significatif

(DdL : degrés de liberté ; SC : Somme des Carrés ; MC : Moyenne des Carrés ; F : Variation entre les moyennes d'échantillonnage / l'intérieur des échantillons, p : probabilité)

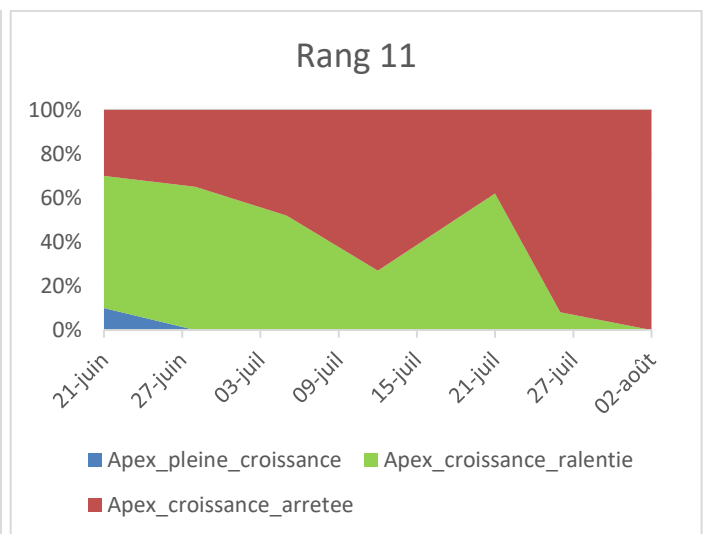
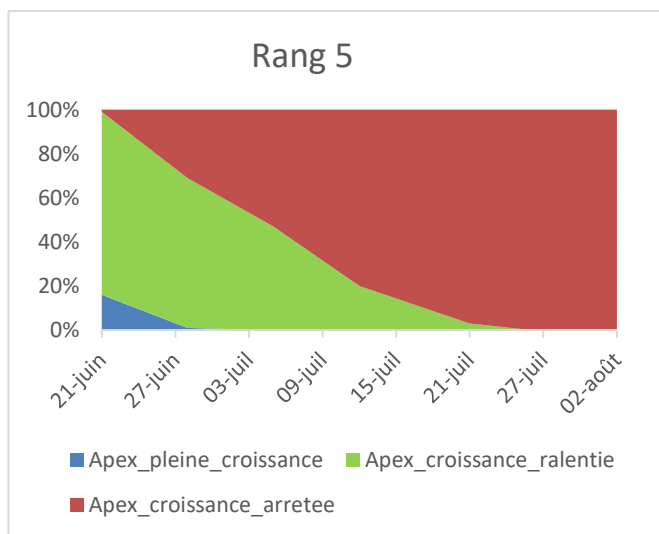
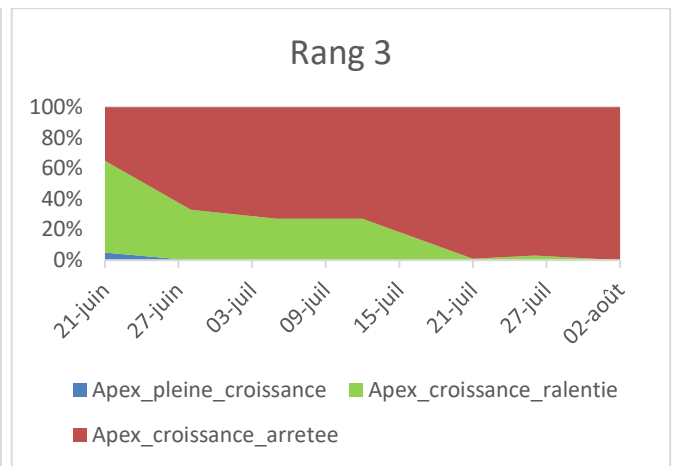
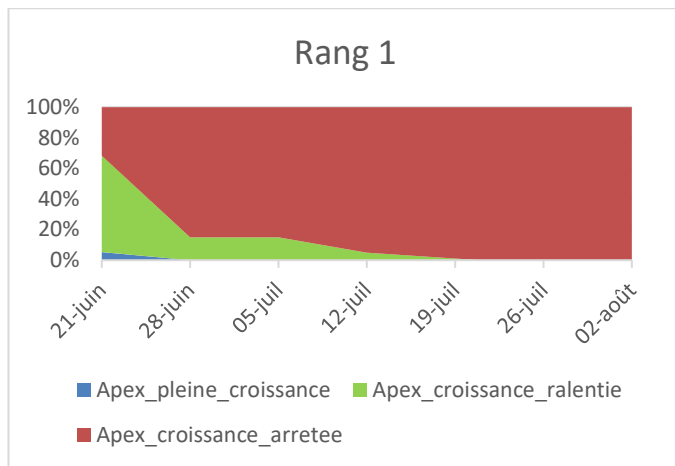
Annexe 8: Synthèse des tests statistiques des notations du rendement, réalisé à partir du logiciel R

```

read.csv2("C:/Users/clara/OneDrive/Bureau/R/PB8.csv")-> PB3
attach(PB3)
PB3$POT.BASE<-as.numeric(PB3$POT.BASE)
PB3$RANG<-as.factor(PB3$RANG)
PB3
mod3<-lm(POT.BASE~RANG,data=PB3)
shapiro.test(mod3$res)
library(car)
leveneTest(lm(POT.BASE~RANG,data=PB3))
summary(aov(POT.BASE~RANG))
library(ggplot2)
TukeyHSD(aov(POT.BASE~RANG))
library(agricolae)
library(foreign)
HSD.test(aov(POT.BASE~RANG,data=PB3),"RANG",group=TRUE)->tukey
tukey
library(forcats)
ggplot(PB3, aes(x=fct_reorder(RANG,POT.BASE), y=POT.BASE, fill=RANG))+
  geom_point(position=position_jitterdodge(dodge.width=0.7), size=2)+
  geom_boxplot(alpha=0.5,outlier.alpha=0)+
  labs( x="", y = "Potentiel hydrique (MPa)", title="Potentiel hydrique foliaire de base\n 08/07/2022 ") +
  annotate("text", x = 1, y = -0.4, label = "b")+
  annotate("text", x = 2, y = -0.4, label = "b")+
  annotate("text", x = 3, y = -0.4, label = "ab")+
  annotate("text", x = 4, y = -0.4, label = "a")+
  theme_classic()+
  theme(axis.text.y = element_text( size=19),
        axis.text.x = element_text( angle=45, hjust=1, size=15),
        axis.title.x = element_blank(),
        axis.title= element_text(size=rel(1.6)),
        plot.title= element_text(hjust = 0.5,size=22))+
  theme(legend.position = "none") + # Enlève la légende
  geom_text(label= "ANOVA p=0.001912", x=2.5, y=0, size=5,angle=0)+
  coord_cartesian(ylim = c(-1.6,0))

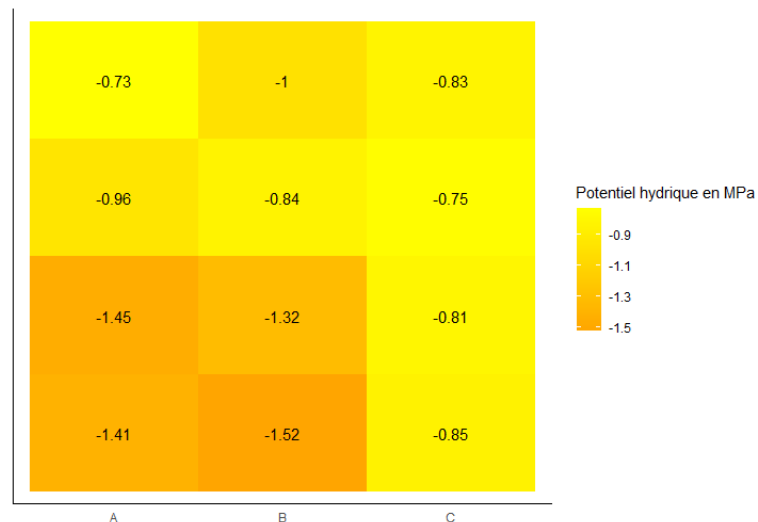
```

Annexe 9: Exemple de script utilisé pour les tests statistiques sur le logiciel R



Annexe 10: Evolution des proportions des différents stades d'apex dans le temps en fonction des modalités

Potentiel hydrique foliaire de base en fonction de la position sur la parcelle 09/08/2022



Annexe 11: Cartographie du potentiel foliaire de base au 09/08/2022

Enquête - Grille d'entretien

i/ Description de l'exploitation - généralités

Connaître le contexte : place de la viti dans l'entreprise, âge de l'entreprise et expérience de l'agriculteur, d'où il vient, où il va, ...

1. L'exploitation agricole

Aujourd'hui

- **Cultures en place** :
- **SAU (ha)** : dont viticulture :
- **Chiffre d'affaires (euros)** : dont viticulture :
- **UTH** :
- **Type de conduite** : conventionnelle, raisonnée, AB, biodynamie...

Historique

- Quelques mots pour décrire l'**histoire de l'entreprise** (récente ou pas, évolution des surfaces, des équipes, des cultures...) :
- **Année de création de l'entreprise** :
- **Année d'installation de l'agriculteur** :

Perspectives

- Quelques mots pour décrire les **perspectives d'évolution à moyen et long terme** : évolution structurelle de l'exploitation, nouvelles trajectoires dans les pratiques... :

2. L'atelier viticole

- **Type de conduite** : conventionnelle, raisonnée, AB, biodynamie...
- **Autres marques, labels, certification (HVE, Terras Vitis, Nature&Progrès...)** :
- **Appellations** :
- **Cépages principaux** :
- **Vinification** : Cave particulière ou coopérative
- **Commercialisation** : Vente directe (Caveau, foire, ...), Cavistes, Restaurants, Grossistes, Coop, Autres, ...

Principaux enjeux dans la conduite des vignes :

(Identifier les problématiques agronomiques ou préoccupations de l'agriculteur - sécheresse, fertilité du sol - de la vigne, entretien du sol, protection sanitaire, rendements insuffisants/trop élevés, problème de qualité, ...)

3. La place des arbres dans l'exploitation.

(Comprendre l'appétence de l'agriculteur pour les arbres ainsi que sa connaissance des arbres)

- **Mis à part la vigne agroforestière sujet de l'enquête, y a-t-il d'autres arbres dans l'exploitation ?** oui / non
- **Quels sont-ils ?**

	A l'intérieur ou extérieur des vignes	Anciens ou implantation récente	Valorisation économique oui/non
Vergers			
Arbres isolés			
Bosquet d'arbres			
Haies			
Autres			

- **Quel(s) intérêt(s) apportent-ils ?** (Économique, environnemental, esthétique, image...)
- **Quelles contraintes impliquent-ils ?**.....
- **Quel est l'intérêt pour vous, de l'implantation d'arbres sur votre parcelle ?**

ii/ Description des parcelles AF

1. Description générale de la parcelle

- **Surface (ha) :**
- **Orientation des rangs :** N/S, E/O, autre
- **Environnement immédiat :** bois, vergers, champs, habitat, autre.
- **Texture du sol :**
- **Sol séchant :** non, un peu, beaucoup
- **Sol caillouteux :** non, un peu, beaucoup

2. Description de la vigne et sa conduite

- **Cépages et porte greffe :**
- **Forme :** Gobelet, palissé nombre de fil,
- **Type de taille :** cordon de royat, guyot, autre ?
- **Date de plantation :**
- **Distance de plantation sur le rang x inter-rang (m) :**
- **Rendement moyen annuel (hl)** (avant plantation des arbres et après) :
-
- **Gestion du sol sur le rang :** désherbage, travail du sol, paillage, enherbement, ...

- **Gestion du sol sur l'inter-rang** : désherbage, travail du sol, enherbement spontané, enherbement semé (temporaire ou non). Si mixte : part de chaque...
- **Principaux bio-agresseurs et méthodes de lutte mises en place** :
 -/.....
 -/.....
 -/.....
 -/.....
- **Fertilisation** : chimique, organique, mixte...
 - **Nombre de passages, quantité** :
 - **Engrais utilisé** :
 - **Irrigation** :
 - Possibilité réglementaire d'irriguer la parcelle ? oui/non
 - Accès à l'eau sur la parcelle ? oui/non
 - Quel équipement ? goutte-à-goutte, microaspersion, asperseurs, canon à eau,
 - **Facteurs de déclenchement de l'irrigation / fréquence** ?.....

3. Description des aménagements arborés

- Avez-vous des connaissances préalables sur l'agroforesterie ? Oui / non
- Si oui, par quel moyen (formation, succession) ?
- **Motivations initiales - pourquoi avoir mis en place des arbres dans la parcelle** ?
- **Objectifs de valorisation des arbres** : bois d'œuvre, fruits, autres ...
- **Date d'implantation des arbres** :
- S'agissait-il :
 - D'une conception et plantation directement associées à celle de la vigne ? Oui / non
 - Du réaménagement d'une vigne déjà installée ? oui non
- **Quelles essences ont été implantées** :
 - **Pourquoi** ?
- **Préciser la dimension de l'aménagement arboré**
- **Itinéraires techniques liés aux arbres** :

(En décrivant les opérations réalisées, essayer de quantifier les temps passés, coûts et investissement depuis la plantation)

- Travaux pour la préparation de la plantation (préparation du sol, arrachage de vigne ... ?
- Soins apportés à la plantation et les premières années :
 - Type de plants / âge / origine
 - Gestion de la concurrence herbacée ? désherbage manuel, chimique, travail, paillage, etc....
 - Apport d'eau ?
 - Taille de formation ?
- Entretien des arbres :
 - Taille, élagage, rognage ... ?

Type d'opération	Coût	Temps	Année	Remarques supplémentaires

- Y a-t-il des opérations sur la vigne impactées par la présence des arbres ? De quelle manière ?
- Comment serait-il possible de limiter l'éventuelle gêne ?
- **Financement du projet** : par autofinancement / aides publiques/ autres....
- Si **aides publiques**, lesquelles ont été mobilisées pour quel montant ?
- **Accompagnement technique** :
 - Y a-t-il eu ou y'a-t-il encore un accompagnement technique ? Oui / non
 - Si oui, par qui et sur quels aspects ?
 - Vous-a-t-il manqué des informations lors de cet accompagnement ?

Il ne faudra pas hésiter à demander aux viticulteurs de quantifier certaines opérations liées aux arbres au cours des deux prochaines années s'ils sont motivés !

iii/ Bilan et perspectives

Avantages / contraintes par rapport aux motivations initiales :

Avantages	Contraintes

Observations sur les effets des arbres :

- Avez-vous observé des effets des arbres sur le comportement des vignes ?
- ... sur la biodiversité ?
- ... sur d'autres aspects ?
- Pour les vignerons en cave particulière, avez-vous observé un effet de la présence d'arbres dans vos parcelles sur la commercialisation de vos produits ?

Bilan technique :

- Les opérations liées aux arbres ont-elles présenté des difficultés ? Si oui lesquelles ?
- Comment lever ces difficultés ?
- Si des choix techniques étaient à refaire, que feriez-vous différemment ?
- Avez-vous connu des difficultés d'un point de vue réglementaire ? Si oui, lesquelles ?
- Comment lever ces difficultés ?

Bilan général du système :

- Envisagez-vous de planter de nouvelles parcelles, si oui lesquelles et pourquoi ? Détailler le futur projet : choix de la parcelle, objectif des aménagements, accompagnement technique prévu, choix technique envisagés en termes d'espacements...etc. délai de plantation.
- Quel conseil donneriez-vous à un viticulteur qui souhaite se lancer dans l'agroforesterie ?
- Etes-vous intéressé pour suivre VITAM, ou participer à des journées d'échanges ? A des ateliers de co-conception ?
- Y a-t-il des thématiques en particulier sur lesquelles vous seriez intéressés d'échanger avec d'autres professionnelles ? Que ce soient des problématiques techniques, ou scientifiques ?
- Y a-t-il des thématiques de recherche qui vous semblent plus prioritaires que d'autres ?

iv/ Caractérisation de la parcelle AF - visite de la parcelle

Dans le cas d'une haie :

- Longueur
- Hauteur
- Epaisseur
- Orientation
- Distance par rapport à la vigne
- Surface occupée au sol / ombre portée

Dans le cas d'arbres en alignement :

- Nombre d'arbres
- Distance entre les arbres
- Hauteur
- Distance par rapport à la vigne
- Surface occupée au sol / ombre portée

Dans le cas d'arbres implantés sur le rang de vigne :

- Nombre d'arbres
- Distance entre les arbres
- Répartition des arbres sur la parcelle / densité
- Hauteur
- Distance par rapport à la vigne
- Surface occupée au sol / ombre portée

- Dessiner un plan de la parcelle.
- Photo aérienne.
- Faire un protocole photo

Annexe 12: Questionnaire d'enquête VITAM sur l'agroforesterie viticole

Résumé

Face au double défi agroécologique et climatique, la viticulture fait face à de nombreuses problématiques auxquelles elle va devoir s'adapter. L'agroforesterie semble être une nouvelle voie d'amélioration des pratiques viticoles. Le projet VITAM a été initié en 2022 par AGROOF et pour une durée de 3 ans. L'objectif du projet est de faciliter le développement de l'agroforesterie viticole en zone méditerranéenne via l'obtention d'un référentiel technique, économique et agronomique. Ce projet se concentre initialement sur le site des Peyrières à Orange mais aborde également une vision plus globale sur la région méditerranéenne, avec plusieurs sites d'étude à Mirabel, Beauvoisin et Vauvert.

L'étude vise à documenter les impacts agronomiques d'une haie basse sur la vigne notamment grâce au suivi des stades phénologiques, aux indices de croissance, au bilan hydrique foliaire de base, à la croissance végétative et au rendement. Mais également des impacts sur la biodiversité, avec la mise en place d'un suivi d'invertébrés. Le travail mené apporte des premières références notamment sur la concurrence hydrique avec la haie sur les 6 premiers rangs de la vigne. En revanche, aucun retard de développement, de croissance ni de rendement (nombre de grappes par cep) n'ont été observés. En termes de biodiversité, les premiers résultats montrent que la haie présente une abondance et une diversité d'invertébrés supérieures à la vigne. Pour conclure, les données actuelles seront complétées et affinées par une deuxième année d'expérimentation afin d'évaluer les impacts à plus long terme.

Mots clefs : Agroforesterie, viticulture, changement climatique, agroécologie, zone méditerranéenne.

Summary

Faced with the dual challenge of agro-ecology and climate change, viticulture is facing many problems to which it will have to adapt. Agroforestry seems to be a new way to improve viticultural practices. The VITAM project was initiated in 2022 by AGROOF and will last for 3 years. The objective of the project is to facilitate the development of wine agroforestry in the Mediterranean area by obtaining a technical, economic and agronomic reference. This project initially focuses on the Peyrières site in Orange but also takes a more global view of the Mediterranean region, with several study sites in Mirabel, Beauvoisin and Vauvert. The study aims to document the agronomic impacts of a low hedge on the vine, notably by monitoring phenological stages, growth indices, basic leaf water balance, vegetative growth and yield. But also impacts on biodiversity, with the implementation of a monitoring of invertebrates. The work carried out provides initial references, particularly on water competition with the hedge on the first six rows of the vine. However, no delay in development, growth or yield (number of bunches per vine) was observed. In terms of biodiversity, the first results show that the hedge presents an abundance and diversity of invertebrates superior to the vine. To conclude, the current data will be completed and refined by a second year of experimentation in order to evaluate the impacts in the longer term.

Key words : Agroforestry, viticulture, climate change, agroecology, Mediterranean area