FACULTÉ DES SCIENCES
UNIVERSITÉ D'ANGERS

Nantes Université

L'INSTITUT agro Rennes Angers

CHAMBRE D'AGRICULTURE AUDE

Mémoire de Fin d'Etudes

Master 2 Mention Biologie Végétale (BV)
Parcours : Plant Health and Protection (PHP)

Année universitaire - 2023/2024

L'Adoption de Cépages Résistants et Tolérants : Une Stratégie pour la Durabilité du Vignoble Audois en Période de Changement Climatique

Par : Marius BURONFOSSE

Soutenu à Angers le : 09/09/2024

Maître de stage : Hugo BRANCORSINI

université angers

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) Marius BURONFOSSE,
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

Cet engagement de non plagiat doit être inséré en première page de tous les rapports, dossiers, mémoires.

UNIVERSITÉ d'angers

DUNE | Dépôt numérique des étudiants

AUTORISATION DE DIFFUSION EN LIGNE

http://dune.univ-angers.fr

§ PARTIE RESERVEE A L'ETUDIANT(E)

Courriel: marius.buronfosse39@hotmail.com N° étudiant : 21008785

Je soussigné(e) *(nom prénom)* BURONFOSSE Marius

certifie être l'auteur du document intitulé L'adaptation de cépages résistants et tolérants : Une stratégie pour la durabilité du vignoble en contexte de changement climatique

préparé sous la direction de : Hugo BRANCOPSINI

et soutenu le 09/09/2024

Je certifie la conformité de la version électronique déposée avec l'exemplaire imprimé remis au jury et certifie disposer de tous les droits sur les documents figurant dans mon mémoire ou, à défaut, disposer de toutes les autorisations nécessaires auprès des ayants droits. Agissant en l'absence de toute contrainte et sachant que je dispose à tout moment d'un droit de retrait de mes travaux :

J'autorise la diffusion du document en texte intégral par l'Université d'Angers :

☒ accès tout public — à compter : ☒ de la date de soutenance

☐ accès réservé communauté universitaire — ☐ du .....

Je n'autorise pas la diffusion du document.

Le : 28/08/2024 À : Alençon Signature :

§ PARTIE RESERVEE AU (A LA) MAITRE DE STAGE

Nom du (de la) maître de stage : BRANCOPSINI Hugo

J'autorise la diffusion du document en texte intégral par l'Université d'Angers :

accès tout public — à compter : de la date de soutenance

accès réservé communauté universitaire — du 09/09/2024

Je n'autorise pas la diffusion du document.

Le : 28/08/2024 À : Alençon Signature :

§ PARTIE RESERVEE AUX MEMBRES DU JURY

Nom(s) : .....

Autorise la diffusion du document en texte intégral par l'Université d'Angers :

sans corrections — accès tout public — à compter : de la date de soutenance

avec corrections — réservé communauté universitaire — du .....

N'autorise pas la diffusion du document.

Le : ..... À : ..... Signature(s) :

Remerciement

Je tiens à remercier chaleureusement la Chambre d'Agriculture de l'Aude, et en particulier le service Transversalité et Innovation, pour m'avoir offert l'opportunité d'effectuer mon stage au sein de leur équipe. En premier lieu, mes remerciements vont à Stéphanie RUBIO, Hugo BRANCORSINI, Thierry GRIMAL et Philippe GAUTHIER pour leur confiance, leur accueil et leur pédagogie tout au long de ce stage. Je remercie également Laurie, ma collègue de travail pour son aide lors de la collecte des données.

Merci à Pascal POUPARD, pour ses conseils lors de la rédaction de ce mémoire et pour le temps qu'il a consacré à sa relecture.

Je souhaite par ailleurs remercier l'équipe pédagogique du master de Biologie Végétale, et plus particulièrement Claire CAMPION et Thomas GUILLEMETTE, pour leur accompagnement tout au long de cette fin de parcours universitaire et leur patiente extraordinaire. Ce master n'aurait pu se dérouler ainsi sans leur compréhension et leur bienveillance.

Ces remerciements ne pourraient être complet sans une pensée particulière à Alexandre, Lilian et Alix dont les (trop) nombreuses pause-café me manqueront avec certitude. Leur présence aura su me maintenir le moral, même dans les périodes les plus difficiles.

À Héléna pour nos longues discussions et l'odeur du thé à la bibliothèque. Et enfin, à cette chère bibliothèque, qui, plus que tout, m'a servi de deuxième maison.

Table des matières

Table des matières

Liste des abréviations 1
Liste des annexes 3
Liste des figures 5
Liste des tableaux 7
Préambule 9
Introduction 1
La viticulture comme objet de société 1
La filière viticole en France 1
L'histoire de la vigne sur le territoire audois 1
Les défis du XXIe siècle 2
Biologie et évolution de la vigne 3
Lutte génétique et programmes d'hybridation 4
La lutte contre l'oïdium de la vigne 4
La lutte contre le mildiou de la vigne 6
L'impact du dérèglement climatique 7
Les modifications sur la vigne et le vin 8
Altération des dynamiques d'épidémies 9
La mise en place du réseau d'expérimentation 10
Les programmes de sélection français et européen 10
Le programme ResDur 10
Les variétés tolérantes à la sécheresse 11
Problématique 11
Matériels et Méthodes 12
Régions et sites d'étude 12
Matériel végétal 12
Collecte des données 13
Mesure des indices de sécheresses 13
Impact des maladies 14
Valorisation et traitement des données 14
Résultats 15
Indices de sécheresse 15
Mesure des apex 15
Relevé des chambres à pression 16

Indices de maladie 18
Analyse du rapport de surface 18
Calcul de l'ISM et de la fréquence de maladie 19
Analyse qualitative des symptômes 19
Discussion 20
Comportement des cépages face au stress hydrique 20
Le matériel végétal résistant 22
Intérêt pour la viticulture audoise 24
Conclusion 26
Bibliographie 27
Sitographie 30
Annexes I

Liste des abréviations

ACP : Analyse en composante principale

ANOVA : Analyse de la variance (Analyse of variance)

AOC : Appellation d'origine contrôlée

AOVDQS : Appellation d'origine vin délimité de qualité supérieure

BBCH : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie

C.A.11 : Chambre d'agriculture de l'Aude

Dim : Dimension (dans le cadre d'une ACP)

Fm : Fréquence de la maladie

IGA : Instituto di Genomica applicata Udine

IGP : Indication géographique protégée

ISM : Indice de sévérité de la maladie

JKI : Julius Kühn Institut

INAO : Institut national des appellations d'origine

MLO : Mildew Locus O

NBS : Nucleotide-binding site

PCD : Mort cellulaire programmée (Plant cell death)

PHT : Potentiel hydrique de tige

QTL : Locus de traits quantitatifs (Quantitative trait locus)

Ren : Resistance to *Erysiphe necator*

ResDur : Resistance durable

Rpv : Resistance to *Plasmopara viticola*

Run : Resistance to *Uncinula necator*

VATE : Valeur agronomique, technologique et environnementale

VCR : Vivai Cooperativi Rauscedo

WBI : Staatliches Weinbauinstitut Freiburg

Liste des annexes

Annexe I : Nom complet des espèces citées dans le texte par ordre d'apparition.....I

Annexe II : Tableau récapitulatif de l'ensemble du matériel végétal utilisé dans le cadre du stage.....II

Annexe III : Liste des packages utilisés dans R (4.3.2).....III

Annexe IV : Résultats de l'indice de sévérité de la maladie (ISM) des différentes collections de cépages résistants (témoins compris).....IV

Liste des figures

Figure 1 : Production nationale viticole estimée au 1er novembre 2023. En vert foncé, les estimations de la production pour 2023. 1

Figure 2 : Arbre phylogénétique des principales catégories de Vitis. 3

Figure 3 : Réseau des relations de premier degré parmi les cépages communs de vigne. 4

Figure 4 : Réseau des relations de premier degré parmi 335 accessions de *Vitis*. 4

Figure 5 : Schéma du cycle de vie de l'agent pathogène *Erysiphe necator*, responsable de l'oïdium de la vigne. 5

Figure 6 : Schéma du cycle de vie de l'agent pathogène *Plasmopara viticola*, responsable du mildiou de la vigne. 6

Figure 7 : Étape de développement d'une variété ResDur de la création à la diffusion au professionnel du secteur. 10

Figure 8 : Photographie aérienne du parcellaire du domaine de Cazes (Latitude 43,1127° ; Longitude : 2,0967°). 12

Figure 9 : Plan de la parcelle des variétés tolérantes à la sécheresse. 12

Figure 10 : Schéma représentant la première sous-parcelle de la parcelle n °31. 12

Figure 11 : Schéma représentant la deuxième sous-parcelle de la parcelle n °31. 13

Figure 12 : Schéma représentant la troisième sous-parcelle de la parcelle n °31. 13

Figure 13 : Photographie aérienne du la parcelle de conservation de Félines-Minervois (Latitude 43,3323° ; Longitude : 2,6120°). 13

Figure 14 : Parcellaire du conservatoire des vieux cépages en minervois à Félines-Minervois. 14

Figure 15 : Évolution de l'indice de stress hydrique des apex pour quatre cépages (carignan, morrastel, brun fourcat, rivairenc) mesurée sur différentes dates entre le 14 juin et le 25 juillet. 15

Figure 16 : Comparaison de l'indice de stress hydrique du cépage morrastel entre les parcelles de Cazes et Félines-Minervois (Félines) aux dates du 14/06/2024 et du 26/06/2024. 16

Figure 17 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Cazes le 22 mai. 16

Figure 18 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Cazes le 15 juillet. 17

Figure 19 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Cazes le 12 août. 17

Figure 20 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Félines-Minervois le 30 mai. 18

Figure 21 : Potentiel hydrique de tige des cépages mesurés à Félines-Minervois le 27 juin. 18

Figure 22 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Félines-Minervois le 8 août. 19

Figure 23 : Potentiel hydrique de tige du morrastel en fonction du stade phénologique dans les parcelles de Cazes et Félines-Minervois. 19

Figure 24 : Clustering des cépages en fonction de l'analyse en composantes principales de l'indice de sévérité de maladie. 21

Figure 25 : Arbre généalogique des cépages Bouquet. 23

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de l'état de stress hydrique en fonction de l'indice mesuré sur les apex. 14

Tableau 2 : Classification de l'état de stress hydrique en fonction de la valeur moyenne du Potentiel hydrique de tige. 14

Tableau 3 : Échelle de sévérité basée sur la surface des symptômes foliaires. 14

Tableau 4 : Échelle d'évaluation de la fréquence des organes touchés par la maladie (%). 15

Tableau 5 : Résultats des mesures de l'indice des apex sur différents cépages à Cazes. 16

Tableau 6 : Résultat du test de Dunn sur les cépages de la parcelle du conservatoire de Félines-Minervois. 17

Tableau 7 : Résultats des moyennes calculées sur l'analyses des rapports de surface (surf. symptomatique/surf. foliaire totale). 20

Préambule

Les chambres d'agricultures constituent un réseau de services publiques qui couvre l'ensemble du territoire Français. Depuis 100 ans, elles accompagnent et conseillent les agriculteurs et les collectivités dans leurs projets d'installation, de diversification, de restructuration ou de transmission. Elles agissent également comme les porte-paroles de l'agriculture et effectuent la passerelle entre les différents acteurs du monde agricole (agriculteurs, collectivités, décideurs publiques, recherche, …).

C'est un réseau dense qui compte 102 établissements répartis en 89 chambres départementales et interdépartementales ainsi que 13 chambres régionales qui se mobilisent pour l'innovation.

La chambre d'agriculture de l'Aude (C.A.11) accompagne les agriculteurs et participe activement à l'émergence de nouvelles filières agricoles sur le territoire et à la valorisation des produits locaux. La marque Pays Cathare® en est une illustration. Elle assure également un appui technique, notamment des viticulteurs. Cet appui est rendu possible grâce au domaine expérimental de Cazes, plateforme d'innovation au sein du territoire audois.

Le domaine de Cazes est un centre d'expérimentation et de collection de variétés résistantes et d'origines étrangères. Fondé en 1967 sur l'initiative de structures coopératives et de la chambre, il se situe dans le Razès, proche du massif de « la Malepère » entre les communes d'Alaigne et de Belvèze-du-Razès. Au départ, il s'inscrit dans une dynamique de développement de la zone de la Malepère qui aboutira en 1976, à l'obtention de l'appellation d'origine vin délimité de qualité supérieur (AOVDQS) « Côtes de la Malepère et du Razès ». Cette appellation deviendra l'appellation d'origine contrôlée (AOC) « Malepère ». Une appellation, répartit sur trente-neuf communes, et qui propose un encépagement constitué de huit cépages que sont : le merlot noir (cépage principal), le cabernet franc, le cabernet sauvignon, le cinsault, le côt, le grenache noir, le lledoner pelut et la syrah.

Aujourd'hui, la plateforme expérimentale dispose de la collection la plus importante de cépages résistants en France et s'inscrit dans des programmes d'inscription au catalogue français de nouvelles variétés. Ces programmes servent à valider le potentiel d'une variété sur sa valeur (V) agronomique (A), technologique (T) et environnementale (E).

« La première cause des conclusions absurdes, je l’attribue au manque de méthode » – Hobbes, *Léviathan*.

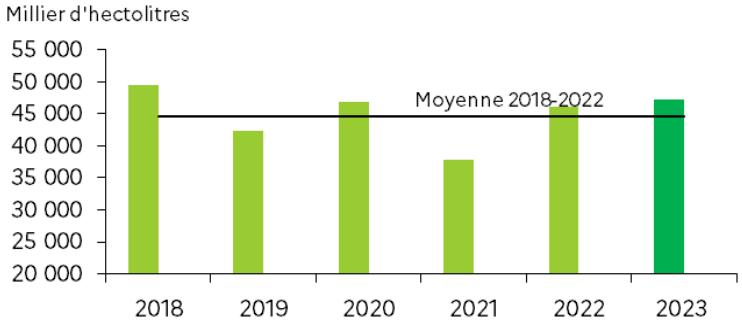

Figure 1 : Production nationale viticole estimée au 1er novembre 2023. En vert foncé, les estimations de la production pour 2023. D'après Agreste, (2023).

Introduction

La viticulture comme objet de société

La filière viticole en France

En France, la vigne constitue l'une des cultures majeures du pays. En effet, 85 000 exploitations agricoles, soit une exploitation agricole sur cinq, possèdent une activité vitivinicole. C'est un secteur économique très important qui génère 15 % des parts de marché de la production agricole (CNIV, 2020). La France détient le deuxième plus grand vignoble au monde, avec environ 750 000 hectares, ce qui représente 11,2 % du vignoble mondial. En termes de production, elle est une actrice majeure sur la scène mondiale. En 2022, la production de vin (hors jus et moûts) s'élevait à 45,4 millions d'hectolitres, soit 17 % de la production mondiale. Par ailleurs, les estimations pour 2023 donnent un niveau de production pour la France comparable à 2022 avec 46 millions d'hectolitres. C'est une production supérieure à la moyenne quinquennale (Figure 1) (Agreste, 2023).

En France, le nombre de consommateurs réguliers a diminué de 4 %, passant de 16 % en 2015 à 11 % en 2022. Cette diminution est liée à la baisse du pouvoir d'achat et à une modification des comportements alimentaires vis-à-vis du vin. Cependant, les Français restent les premiers consommateurs de vins en volume dans l'Union européenne avec 25,3 millions d'hectolitres consommés et les seconds dans le monde après les États-Unis. La France occupe une place de leader dans l'exportation mondiale de vins avec un marché estimé à 12 milliards d'euros. Les vins tranquilles en appellation d'origine contrôlée (AOC) dominent largement les exportations françaises suivis par le champagne (Agreste, 2023 ; FranceAgriMer, 2023).

La France compte 16 régions viticoles françaises. La plus grande production se situe dans les régions du Languedoc-Roussillon dont la moyenne quadriennale, établie sur les données 2018-2022, fait état d'une production s'élevant à 12 millions d'hectolitres, soit le quart de la production française. C'est un vignoble historique important, dont la culture de la vigne remonte à l'Antiquité romaine (Agreste, 2023).

L'histoire de la vigne sur le territoire audois

La domestication de la vigne, *Vitis vinifera* ssp. *vinifera*[1], remonte entre 8 000 et 5 000 ans avant J.-C., dans la région de la Transcaucasie et du Proche-Orient.

[1] Pour améliorer la fluidité du texte, le nom complet des espèces (genre, espèce, nom d'auteur abrégé) figure dans l'annexe I.

Cette domestication s'est faite à partir de vignes sauvages de la sous espèce *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris*. Elle a par la suite été disséminée en Europe de l'Ouest par les voies commerciales (Myles et al., 2011).

En France, les conquêtes romaines vont diffuser la culture de la vigne. Ils l'implantent dans l'actuelle Narbonne au IIe siècle avant J.-C. À partir du XVIIe, elle devient la première ressource économique de l'Aude et connaîtra son premier âge d'or de 1850 à 1880 avec la finalisation du canal du midi. C'est à cette époque qu'elle se spécialise dans la production des vins en vrac (Frader, 1991). Au milieu du XIXe siècle le vignoble subit une forte crise causée par l'arrivée de maladies venues d'Amérique du Nord. Parmi ces agents pathogènes, l'agent du mildiou de la vigne, *Plasmopara viticola*, et l'agent de l'oïdium, *Erysiphe necator*, deviendront les contraintes majeures dans la production de vin (Velasquez-Camacho et al., 2023). Quant au phylloxera de la vigne, *Daktulosphaira vitifoliae*, il détruit 60% du vignoble français entre 1873 et 1879. Des 2,5 millions d'hectares plantées en 1875, 1,5 millions sont détruits, ce qui entraîne une crise économique du secteur viticole (Viala, 1893 ; Frader, 1991 ; Banerjee et al., 2010). Pour reconstruire le vignoble, les vignes sont greffées sur des porte-greffes américains. De plus, les viticulteurs adoptent de nouvelles pratiques culturales. Les premiers traitements sont à base de soufre (anti-oïdium), puis le cuivre est utilisé dans des traitements anti-mildiou, tels que la bouillie bordelaise découverte en 1882 (Viala, 1893 ; Sagnes, 1978).

Le début du XXe siècle est marqué par une phase de surproduction de vins et la recrudescence des fraudes. Ces problèmes seront stabilisés avec l'arrivée de lois encadrant le marché du vin et la création des appellations d'origine contrôlée (AOC). C'est aussi une période de renforcement des structures pour les vignerons, qui forment les premières caves coopératives. Après un nouvel essor en 1970, fruit d'une restructuration du vignoble avec l'émergence d'une dizaine d'AOC, le vignoble audois entre dans une phase de difficulté avec l'apparition de nouvelles problématiques au début des années 2000 (Phillips, 2016).

Les défis du XXIe siècle

Bien que la maladie du phylloxera ait été maîtrisée par l'utilisation de porte-greffes américains (*Vitis rupestris*, *Vitis riparia* et *Vitis berlandieri*), la lutte contre les maladies, oïdium et mildiou, est toujours effective chaque année (Velasquez-Camacho et al., 2023). Cette lutte entraîne des coûts de traitements importants qui ont tendance à augmenter (coût des produits, des fournitures, d'entretien du matériel, etc.).

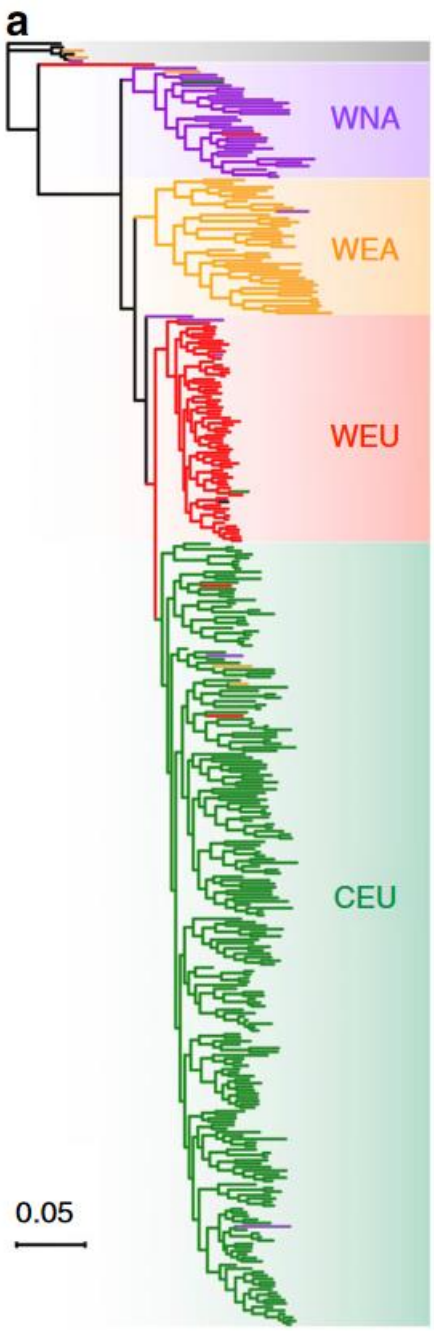

Figure 2 : Arbre phylogénétique des principales catégories de *Vitis*. L'arbre phylogénétique est construit à partir des polymorphismes nucléotidiques du génome entier avec 100 bootstrap non-paramétriques. WNA = Clade Nord-Américain, WEA = Clade d'Asie de l'Est, WEU = clade européen proche-oriental sauvage, CEU = Clade européen proche-oriental domestiqué. L'échelle de distance évolutive indique la longueur correspondant à un changement de 0,05 substitution de nucléotides par site entre les séquences. L'espèce *Parthenocissus tricuspidata* (lierre de Boston) a été utilisé comme groupe externe. D'après Liang et al., (2019).

Ainsi, le coût d'intervention sur chardonnay (contre le mildiou) en 2023 était de 712 €/ha pour un indice de fréquence de traitement (IFT) de 9,82 contre 609 €/ha pour 13,3 IFT en 2020 (Thierry GRIMAL, C.A.11, communication personnelle).

Ces défis vont au-delà de la gestion des maladies. L'érosion de la biodiversité et la crise climatique révèlent les limites de l'agriculture moderne. En réponse, la France a instauré des plans de réduction, les plans ECOPHYTO, pour diminuer l'usage des produits phytosanitaires et retirer les produits à haut risque environnemental (ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2022). Or, la réduction du nombre de molécules disponibles et l'émergence de bioagresseurs résistants aux pesticides limitent l'efficacité de la lutte chimique contre les maladies. Par ailleurs, le changement climatique modifie les schémas saisonniers de précipitations et les températures moyennes, aggravant les problèmes de stress hydrique estival, et les interactions entre la vigne, ses maladies, et ses ravageurs (Salinari et al., 2006 ; Caffarra et al., 2012).

Biologie et évolution de la vigne

La vigne cultivée (*Vitis vinifera*) est la seule espèce du genre *Vitis* sur le continent européen. En revanche, ce genre contient près de 70 espèces sauvages inter-fertiles presque uniquement réparties dans l'hémisphère Nord. En plus de la vigne cultivée, le continent Nord-américain abrite 34 espèces sauvages de *Vitis*, contre 37 espèces en Asie de l'Est (Zecca et al., 2011 ; Liang et al., 2019). Par ailleurs, le bassin d'origine du genre *Vitis* se trouve en Amérique du Nord (Figure 2). Il se distingue par la suite en 4 clades : Amérique du Nord, Asie de l'Est, Vigne sauvage d'Eurasie et vigne domestiquée d'Eurasie (Liang et al., 2019).

Deux sous-espèces sont admises pour *Vitis vinifera*, *Vitis vinifera* ssp. *vinifera* (*Vitis vinifera*), la vigne commune et *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris* (*Vitis sylvestris*), connue pour être le parent sauvage duquel s'est effectué la domestication. Liang et al. (2019), démontrent l'existence d'une divergence évolutive entre la lignée des vrais individus sauvages et la lignée qui a donné les variétés cultivées il y a 200 000 à 400 000 ans. La domestication amenée par l'Homme sur cette lignée de *Vitis vinifera* a entraîné des distinctions majeures entre les deux sous-espèces, avec notamment une augmentation de la taille et du nombre de baies (rendement), des taux de sucre plus importants (fermentation) ou encore un passage d'une plante dioïque à une plante hermaphrodite (Badouin et al., 2020). Actuellement, le nombre de variétés en collection est estimé à environ 10 000.

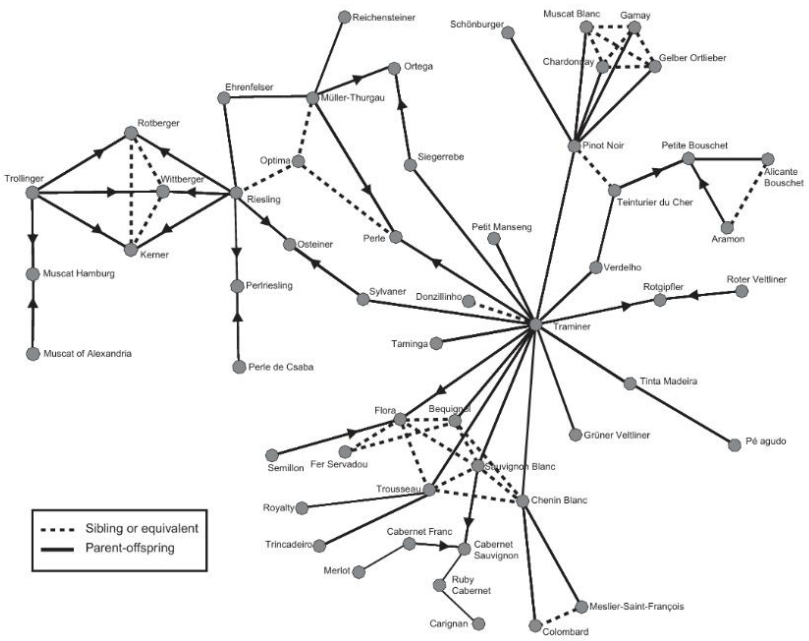

Figure 3 : Réseau des relations de premier degré parmi les cépages communs de vigne. Les lignes pleines représentent des relations probables parent-enfant. Les lignes en pointillés représentent des relations de type frères et sœurs ou équivalentes. Les flèches pointent des parents vers leurs descendants pour les trios inférés (déduits à partir des données génétiques disponibles). D'après Myles et al., (2011).

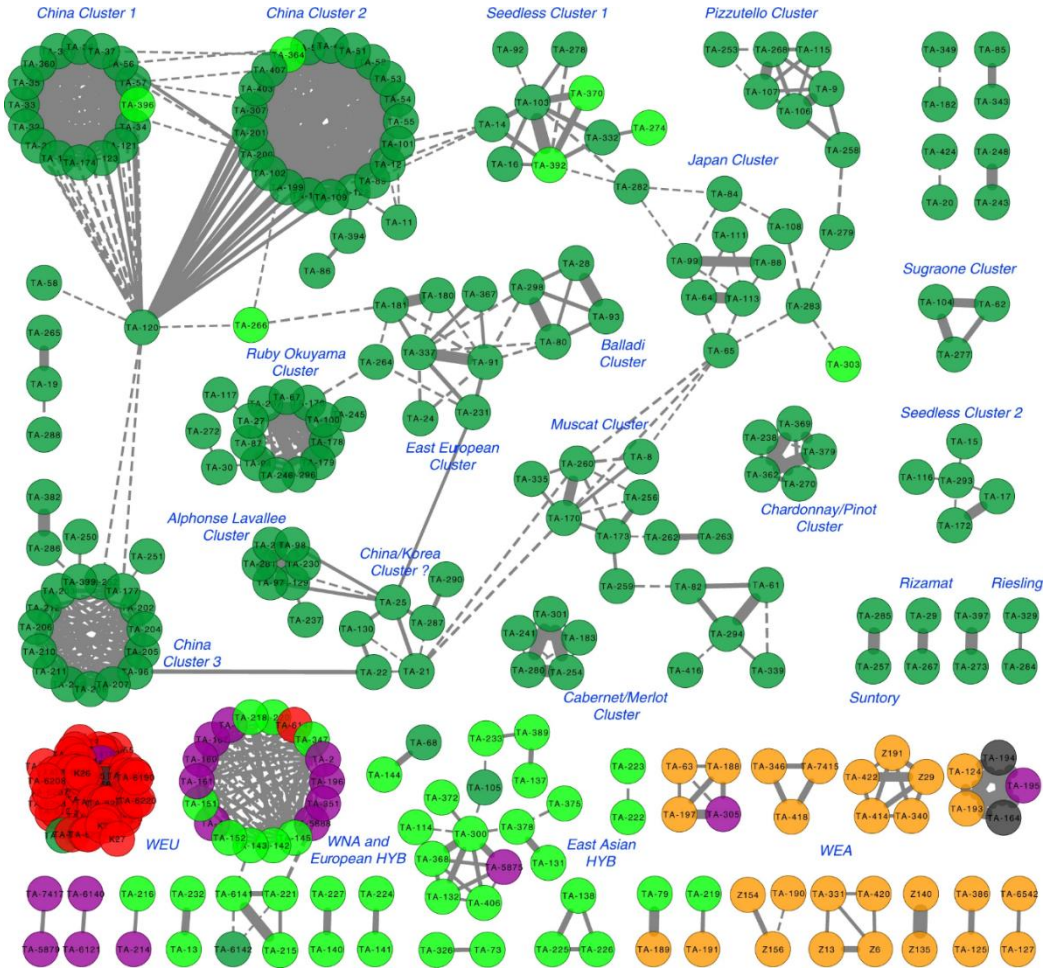

Figure 4 : Réseau des relations de premier degré parmi 335 accessions de *Vitis*. Les lignes pointillées indiquent une valeur IBD (identité par descendance) entre 0,420 et 0,466, tandis que les lignes pleines représentent une valeur IBD égale ou supérieure à 0,466. L'épaisseur des lignes est proportionnelle à la valeur IBD calculée. Les différents clusters identifiés reflètent des groupes génétiques distincts au sein des accessions analysées, illustrant les relations de parenté et la structure de la diversité génétique au sein du genre *Vitis*. D'après Liang et al., (2019).

Les liens de parenté entre les différentes variétés est d'autant plus proche lorsqu'ils sont issus d'une même zone géographique. En effet, Myles et al. (2011) démontrent que tout au long de l'expansion de la vigne en Europe, il s'est effectué une introgression de gènes de populations locales de *V. sylvestris* dans *V. vinifera*. Cela se constate par exemple pour la famille des carmenets, originaires du Sud-Ouest de la France (Pays-Basque), notamment avec le merlot, le cabernet franc, et le cabernet sauvignon regroupés dans un même groupe de parenté (Figure 3). Par ailleurs, l'utilisation d'outils d'analyse phylogénétique montre que les relations de premier degré sont rares entre individus de situations géographiques éloignées, appuyant la thèse d'une forte hétérogénéité entre les clusters (Figure 4). Liang et al., 2019).

Pour la vigne, la sensibilité à l'oïdium ou au mildiou n'est pas attribuée à un manque de diversité, mais plutôt à un saut d'hôte. En effet, les principales maladies proviennent d'un environnement distinct de la vigne cultivée (Amérique du Nord) où elles ont co-évolué avec les espèces hôtes du genre *Vitis*. Ces hôtes américains ont par conséquent développé un ensemble de gènes de résistance vis à-vis de ces maladies. L'utilisation des porte-greffes américains et les échanges de matériel végétal ont permis le saut d'hôte des maladies depuis les espèces de *Vitis* sauvages sur *V. vinifera*, dépourvue de gènes de résistance (Viala, 1893 ; Gur et al., 2021). Selon Lê Van et al. (2012), les agents pathogènes qui ont évolué dans une situation géographiquement isolée d'une population hôte sont souvent plus agressifs sur ces nouveaux hôtes après que le saut d'hôte a eu lieu.

Pour pallier ce problème de sensibilité des cépages européens, la recherche s'oriente sur l'introgression de gènes de résistance depuis les *Vitis* sauvages asiatiques et américains (mais également des gènes de tolérance au stress hydrique) (Zecca et al., 2011).

Lutte génétique et programmes d'hybridation

La lutte contre l'oïdium de la vigne

L'oïdium de la vigne, causé par l'agent pathogène fongique *Erysiphe necator* (synonyme *Uncinula necator*) est la maladie la plus coûteuse en traitements pour la viticulture avec des coûts annuels d'environ 75 millions d'euros pour la France (Dry et al., 2010 ; Bois et al., 2017 ; Gur et al., 2021). C'est un ascomycète qui nécessite un hôte vivant pour effectuer son cycle de vie (Figure 5). Il est susceptible d'infecter l'ensemble des tissus de la plante (feuilles, tiges et grappes) ce qui provoque des pertes de rendements, mais également des altérations sur la qualité de la vinification (Dry et al., 2010).

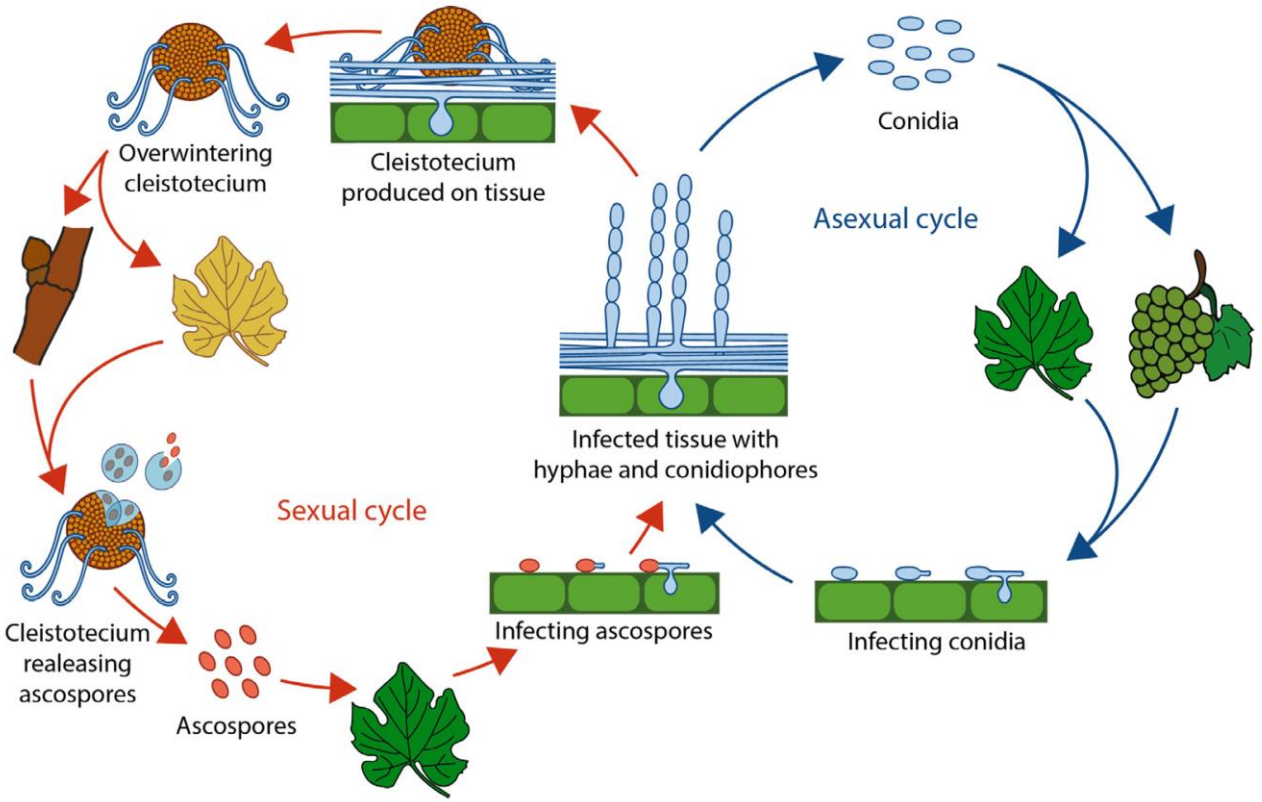

Figure 5 : Schéma du cycle de vie de l’agent pathogène *Erysiphe necator*, responsable de l’oïdium de la vigne. D’après Velasquez-Camacho et al., 2023.

Le cycle de vie est constitué d'un premier cycle sexué pendant lequel s'effectue la primo-infection des tissus. Puis, un second cycle asexué va permettre la propagation de l'épidémie au travers des contaminations secondaires effectuées par les conidies (Hoffmann, 2008). En principe, la sévérité de cette maladie est reliée au nombre de cycles modulés par la température, l'humidité de l'air et les précipitations (la pluie prévient la germination des conidies). La reproduction asexuée est quant à elle contrôlée par la température puisqu'elle dépend d'une période de latence qui diminue quand les températures se situent entre 20 et 28 °C (Caffarra et al., 2012).

Les premières résistances à cette maladie sont obtenues par Bouquet (1986) qui introduit des gènes de résistance de *Vitis rotundifolia* dans *V. vinifera* à l'aide d'une série de pseudo-backcross (ou rétrocroisements). Cette série de rétrocroisements permet l'introgression d'un unique locus dominant désigné comme *Run1* (Resistance pour *Uncinula necator* 1) sur le chromosome 12. Ce gène est impliqué dans l'induction de la mort cellulaire programmée (PCD), qui intervient 24 à 48 heures après l'infection des tissus par *Erysiphe necator* (Barker et al., 2005).

Un autre locus de résistance à l'oïdium, *Ren1* (Resistance pour *Erysiphe necator*) est identifié sur le chromosome 13 d'un cépage de la région d'Asie centrale (*V. vinifera* cv Kishmish vatkana, Ouzbekistan) (Hoffmann et al., 2008). Bien que de nombreuses espèces de *Vitis* sauvages de Chine (*V. amurensis*, *V. betulifolia*, ...) possèdent *Ren1*, aucun lien génétique direct n'a été démontré avec les variétés cultivées (Wan et al., 2007 ; Riaz et al., 2013). Il existe donc des génotypes résistants dans des variétés de *V. vinifera* ce qui peut représenter un atout majeur pour la création de nouvelles variétés.

Bien que *Run1* permet une résistance totale, des cas de contournements de ce gène ont déjà été observés chez des populations naïves pour *Run1* d'*Erysiphe necator* (isolat Musc4) (Dry et al., 2010 ; Cadle-Davidson et al., 2011).

Les derniers états de la recherche font mention de trois loci supplémentaires, *Ren12* (Sapkota et al., 2023) ainsi que *Ren14* et *15* (Ricciardi et al., 2024), de résistance à *E. necator*. Les mécanismes de défense associés à ces gènes se répartissent en trois grands groupes : la mort cellulaire programmée, l'inhibition de la croissance des hyphes, l'inhibition de la formation des conidies (Sosa-Zuniga et al., 2022).

D'autres pistes sont envisagées dans le développement de variétés résistantes comme le silencing des gènes de sensibilité (S) à l'oïdium, en particulier le « mildew locus O » ou *MLO*. La perte de fonction de certains gènes de la famille des *MLO* augmente la résistance à l'oïdium.

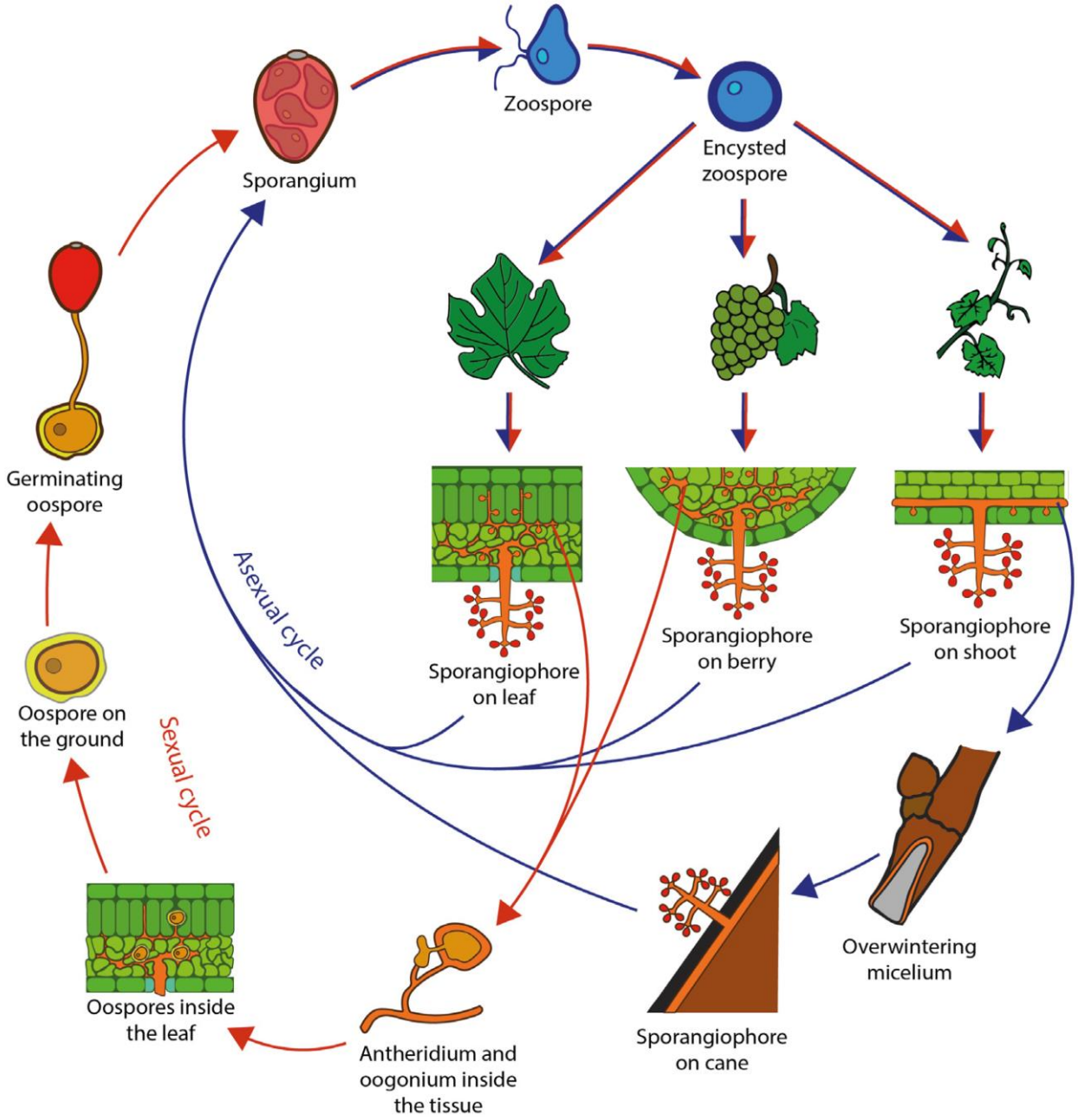

Figure 6 : Schéma du cycle de vie de l'agent pathogène *Plasmopara viticola*, responsable du mildiou de la vigne. D'après Velasquez-Camacho et al., 2023.

Pour la vigne, le silencing des gènes *VvMLO6*, *VvMLO7* et *VvMLO11* diminue de 77 % la contamination par *E. necator* (Sosa-Zuniga et al., 2022). Cependant, Wan et al. (2020) démontre que, certes, le silencing de *VvMLO3* augmente la résistance à l'oïdium chez des individus hétérozygotes, mais provoque une mort par nécrose chez les individus homozygotes pour ce gène.

La lutte contre le mildiou de la vigne

À l'instar de l'oïdium, le mildiou de la vigne est considéré comme une maladie fongique bien qu'elle soit causée par un oomycète biotrophe, *Plasmopara viticola*. L'émergence de ce dernier nécessite des seuils précis de températures, de précipitations et du stade phénologique de l'hôte. (Viala, 1893 ; Kennelly et al., 2007).

Son cycle commence au printemps lorsque les oospores germent et produisent des macrosporanges qui libèrent les zoospores dispersées par effet « splashing » provoqué par la pluie (Figure 6). La primo-infection s'effectue par la pénétration des stomates lorsqu'ils sont fonctionnels (stade BBCH[2] 53, 4 à 6 feuilles étalées et grappe rudimentaire au sommet de la pousse). Elle nécessite des précipitations de 2,5 mm auxquelles s'ajoutent des températures supérieures à 11°C (Kennelly et al., 2007). La pénétration est suivie d'une sécrétion des effecteurs qui éteindront les défenses de la plante. Le mycélium se répand et fructifie sur la face inférieure des feuilles. La primo-infection laisse place à des cycles de contaminations secondaires. Ces contaminations secondaires se répèteront tant que les conditions climatiques restent favorables et elles infecteront les différents organes de la plante, incluant les fruits dont la contamination altère la qualité. (Kennelly et al., 2007 ; Bellin et al., 2009).

Dans les travaux effectués par Cadle-Davidson (2008), l'ensemble des accessions de *Vitis vinifera* et de *Vitis acerifolia* ont présenté une sensibilité pour cet agent pathogène. Cependant, certaines accessions des espèces comme *Vitis cinerea* ou *Vitis labrusca* ont des niveaux de sensibilité variable, avec parfois une absence de symptôme. L'auteur ressort quatre facteurs essentiels qui agissent sur la résistance de l'hôte : l'âge des feuilles, la souche du pathogène, l'espèce et l'accession de l'hôte. Et bien que certaines accessions de *Vitis* américains (*V. labrusca*, *V. cinerea*, *V. rupestris*, *V. berlandieri*) présentent une résistance à *Plasmopara viticola*, aucune d'entre-elles ne stoppe la complétion du cycle de vie et donc la production de sporanges. Certains génotypes de *V. rotundifolia* stoppent la croissance des hyphes pendant l'étape de colonisation du mésophylle et ne manifestent pas de symptômes.

[2] Échelle d'identification des stades phénologiques.

Pour les espèces asiatiques (*V. piazeskii* et *V. amurensis*), seule la partie extérieure du limbe est colonisée, ce qui empêche la formation des sporangiophores viables, qui nécessitent une pénétration par les stomates (Bellin et al., 2009 ; Jürges et al., 2009).

L'obtention de variétés hybrides résistantes provient en majorité des croisements effectués entre *V. vinifera* et les *Vitis* américains (*V. riparia*, *V. rotundifolia*, *V. rupestris*, et *V. cinerea*) ou asiatiques (*V. piazeskii* et *V. amurensis*). Trois loci de résistance majeure ont été identifiés contre le mildiou. Ces loci sont nommés *Rpv1*, *Rpv2* et *Rpv3* et se situent respectivement sur les chromosomes 12, 18 et la partie distale du chromosome 18. Les gènes candidats sont pour la plupart des NBS-LRR contenus dans des clusters à l'instar du cluster de NBS-LRR de *Run1* (Merdinoglu et al., 2003 ; Bellin et al., 2009).

D'autres loci de caractères quantitatifs (QTL) ont également été associés à des traits de résistances mineurs. Ces QTL ont été identifiés chez l'hybride 'Regent' avec *Rpv4* localisé sur le chromosome 4 (Welter et al., 2007) et également les loci nommés *Rpv5* et *Rpv6*, respectivement situés sur le chromosome 9 et 12 de *Vitis riparia* (Marguerit et al., 2009). Actuellement, la recherche fait état de 37 loci de résistance (*Rpv1* à *Rpv37*) au mildiou de la vigne dont le niveau de résistance conféré varie de faible à total (pour *Rpv2*). (Merdinoglu et al., 2018 ; Sargolzaei et al., 2020 ; Ricciardi et al., 2024).

Une variété originaire du Sud-Est du Caucase, *Vitis vinifera*, 'Mgaloblishvili', possède des traits de résistance au mildiou (Toffolatti et al., 2018). Ce cultivar provoque la dégénération du mycélium, altère la morphologie des sporangiophores et diminue le nombre de sporanges formés. D'autres mécanismes sont observés, le cultivar 'Bianca' qui possède le locus *Rpv3* (résistance partielle) réagit à la pénétration des stomates en induisant une réponse hypersensible, et diminue également la croissance des hyphes à la surface du mésophylle (Bellin et al., 2009).

De la même manière que certaines souches virulentes d'*Erysiphe necator* contournent la résistance conférée par le gène de *Run1*, le gène *Rpv3* a été contourné dans le cultivar 'Bianca' (Peressotti et al., 2010).

L'impact du dérèglement climatique

En France métropolitaine, les températures moyennes se sont réchauffées d'environ 1,7 °C. Cette hausse des températures, en constante progression (+0,3 °C par décennie depuis 1980) est également associée à une modification de la pluviométrie (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2022). Ces modifications correspondent à une diminution moyenne de la pluviométrie, ce qui entraîne une augmentation des jours secs.

Parallèlement, les événements pluviométriques extrêmes se font plus nombreux. Cependant, l'augmentation des pluies extrêmes ne compense pas la diminution des précipitations totales (Tramblay et Somot, 2018). Ainsi, trois aspects sont modifiés (Caffarra et al., 2012 ; Alikadic et al., 2019) :

- La raréfaction de la ressource en eau, (augmentation du stress hydrique).
- La compression du cycle de la vigne.
- La modification des fenêtres de sensibilité, c'est-à-dire la période possible pour l'infection, et les modifications de la pluviométrie perturbent les dynamiques des épidémies.

Les modifications sur la vigne et le vin

L'un des premiers impacts notables de la sécheresse sur la vigne s'observe au niveau des parties végétatives. Ainsi, le manque d'eau provoque un arrêt de croissance avec une chute des apex. Cet effet est ensuite observable sur les grappes qui perdent en volume, avec une diminution de la taille des baies, ou qui se dessèchent (phénomène de grillure).

En plus de l'impact sur le rendement, c'est également la qualité des baies et par conséquent, du jus puis du vin qui est altérée.

Les effets du réchauffement sur le cycle, avec notamment un climat plus doux en sortie d'hiver et des températures plus chaudes au printemps et en été, se traduit par une compression du cycle de la vigne avec l'avancée de l'ensemble des stades de la vigne (débourrement, floraison, véraison, récolte). Sur une année précoce, l'avancée de la récolte est estimée jusqu'à quatre semaines (Alikadic et al., 2019). Cette précocité pose plusieurs problèmes.

Entre autres, l'équilibre sucre-saveur-arôme est altéré par la diminution de l'accumulation des composés phénoliques dans les baies, souvent plus longs à synthétiser. De plus, la teneur en acides diminue au détriment d'un degré d'alcool plus fort (Leeuwen et Darriet, 2016 ; Rogiers et al., 2022).

La vigne est considérée comme une plante relativement tolérante à la sécheresse, capable de produire une récolte économiquement viable avec seulement 350 mm d'eau. Cette tolérance dépend du cépage et du porte-greffe considéré. Certains cépages adoptent un comportement d'évitement et complètent leur cycle de croissance avant la période de forte sécheresse. D'autres, dits iso-hydriques, s'adaptent en régulant leurs échanges gazeux. À l'inverse, les cépages aniso-hydriques sont moins adaptatifs.

Enfin, le comportement de tolérance agit sur la conservation des métabolites primaires (issus de la photosynthèse) et secondaires (polyphénols). Ces cépages peuvent être classés en robustes (maintien de la production), moyens ou sensibles (réduction des métabolites) selon leur capacité à maintenir la production sous stress hydrique (Zamboni et Iacono, 1998 ; Carbonneau et al., 2007).

En outre, le stress hydrique est un facteur d'affaiblissement qui favorise l'apparition de maladies sur les plantes.

Altération des dynamiques d'épidémies

L'infection des tissus d'une plante par des agents pathogènes est parfois conditionnée par une synchronisation du cycle de vie de l'organisme pathogène et de l'hôte. Cette interaction varie selon le couple agent pathogène-hôte observé. Par exemple, l'infection des baies par *Erysiphe necator* se produit jusqu'à ce que les baies atteignent une teneur en sucres solubles de 8 % (8 °Brix). La sporulation cesse lorsque cette teneur atteint 15 % (15 °Brix) (Gadoury et al., 2003). La maturation des fruits, accélérée par des températures plus élevées, influence ce processus. Certains auteurs notent également qu'une plus grande précocité des vendanges réduit l'impact sur la récolte puisqu'elle diminue le nombre de cycles d'infection produits par la maladie (Caffarra et al., 2012).

Face à l'évolution du climat, la résistance ontogénique ou une maturité trop avancée ne suffiront plus à garantir une récolte saine. Dans la région méditerranéenne, caractérisée par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, le changement climatique exacerbera significativement l'épidémiologie des maladies comme l'oïdium et le mildiou (Bois et al., 2017).

Les températures élevées et les niveaux accrus de CO_2 peuvent renforcer le taux de croissance et la virulence d'*Erysiphe necator*. Les conditions plus chaudes accélèrent le cycle de vie du champignon (optimal entre 20 °C et 28 °C), entraînant des infections plus graves et des périodes épidémiques potentiellement plus longues. En outre, les températures plus élevées et l'humidité réduite, typiques du climat méditerranéen projeté, pourraient initialement sembler défavorables à *Plasmopara viticola*.

Cependant, les changements dans les régimes de précipitations, y compris les précipitations plus intenses, mais sporadiques, peuvent créer des environnements propices aux épidémies de mildiou. Ces conditions peuvent conduire à une incidence plus élevée d'épisodes graves de maladie, malgré des conditions globalement plus sèches. De plus, l'augmentation des températures sur la période d'avril à juin favorise une apparition précoce de *Plasmopara viticola*.

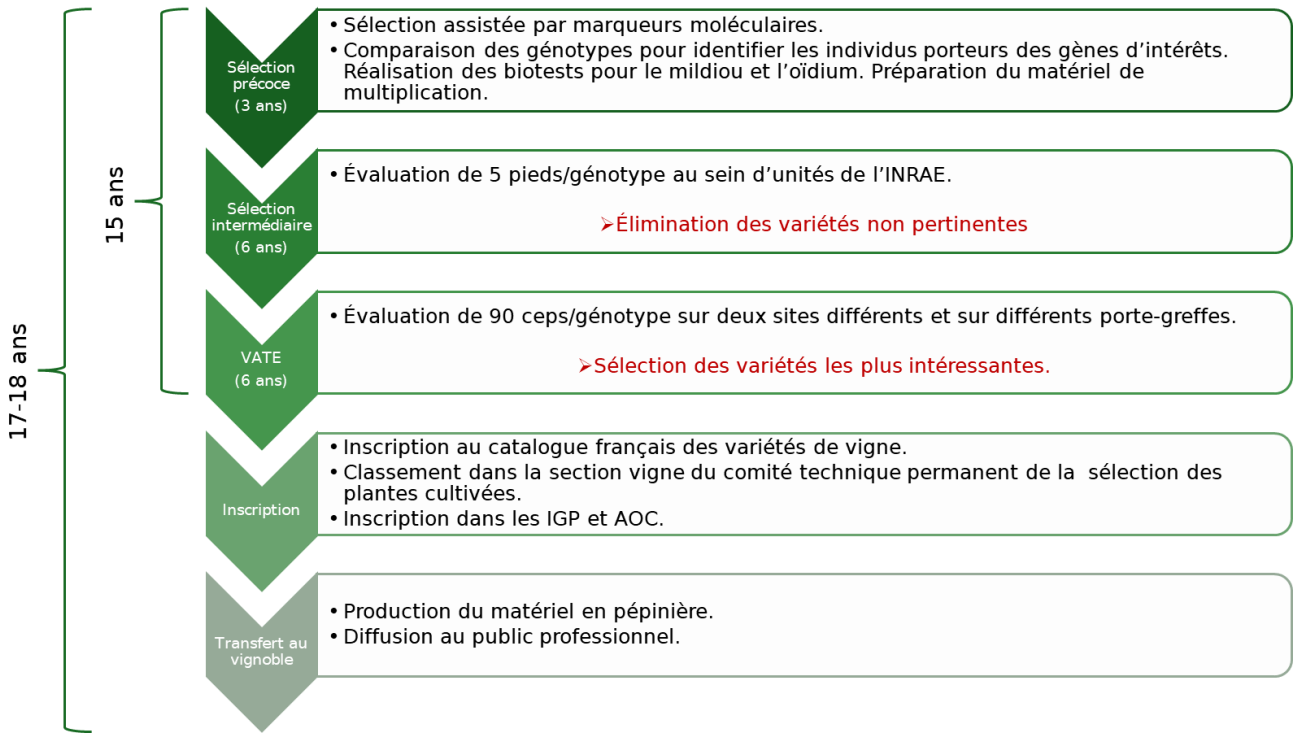

Figure 7 : Étape de développement d'une variété ResDur de la création à la diffusion au professionnel du secteur. Création personnelle.

Ceci aura pour conséquence d'augmenter la charge d'inoculum et de ce fait, les dégâts causés à la plante (Salinari et al., 2006 ; Caffarra et al., 2012 ; Bois et al., 2017).

Ces nouvelles dynamiques d'épidémie peuvent également affecter l'efficacité des stratégies de gestion des maladies. Par exemple, la modification du calendrier d'apparition et de progression des maladies pourrait nécessiter des ajustements. En outre, la recherche en Europe a permis de mettre sur le marché des nouvelles variétés résistantes aux maladies, ce qui ajoute un levier supplémentaire dans la gestion des maladies au sein des exploitations.

La mise en place du réseau d'expérimentation

Les programmes de sélection français et européens

En Europe, la recherche et la création de cépages résistants à l'oïdium et au mildiou a permis l'inscription de nombreux cépages aux catalogues des variétés.

Ces obtentions proviennent de la Staatliches Weinbauinstitut Freiburg (WBI) et la Julius Kühn Institut (JKI) en Allemagne, l'Instituto di Genomica applicata Udine (IGA) en partenariat avec Vivai Cooperativi Rauscedo (VCR) en Italie ainsi que les obtenteurs Blattner en Suisse.

La France a, quant à elle, développé les premières obtentions du chercheur Alain Bouquet. En effet, celui-ci a, dans les années 1970, effectué l'introgression des gènes *Run1* et *Rpv1* dans des cépages de *Vitis vinifera* portés par *Vitis rotundifolia*. Ces obtentions Bouquet serviront de parents pour le programme ResDur (Schneider, 2016).

Le programme ResDur

Le programme ResDur (Résistance Durable) vise à développer des variétés possédant de multiples loci de résistances. Pour cela, le programme utilise les techniques de pyramidage des gènes. Cette technique consiste à croiser des individus portant des loci de résistances différentes afin que les descendants de cette lignée portent une combinaison desdits loci. La durabilité est alors dépendante de la variabilité des mécanismes d'actions conférés par les gènes, du nombre de souches couvert (vérification des souches connus pour contourner les résistances liées aux interactions gène-pour-gène), et de la contribution de chaque locus à la résistance.

L'ensemble du processus de sélection de ces nouvelles variétés résistantes prend 17 à 18 ans (Figure 7). Ainsi, jusqu'à trente variétés ont été proposées entre 2017-2024. Les premières variétés inscrites (ResDur1) possèdent la combinaison *Rpv1/Rpv3* et *Run1/Ren3*, (Merdinoglu et al., 2018).

Ces variétés (voltis, vidoc, floréal, artaban) ont pour objectif d'être durablement résistantes au mildiou et à l'oïdium, de qualité comparable au standard des cépages actuels, et adaptées aux contraintes climatiques des grandes régions viti-vinicoles françaises (Schneider et al., 2019).

C'est dans cette optique que s'inscrivent les travaux de la chambre d'agriculture de l'Aude, en partenariat avec l'INRAE et le réseau des chambres d'agriculture d'Occitanie. Pour cela, la C.A.11 dispose d'un centre expérimental, le domaine de Cazes (Alaigne, 11240), qui s'inscrit dans la deuxième et dans la troisième étape du programme à savoir l'étude du potentiel œnologique des variétés et également la valeur agronomique, technologique et environnementale (VATE).

Les variétés tolérantes à la sécheresse

Dans l'Aude, un effort de préservation des cépages locaux a permis de conserver un patrimoine génétique important, qui se reflète dans la diversité des cépages. Ces cépages étaient cultivés historiquement dans le Languedoc-Roussillon, comme c'est le cas du rivairenc ou du brun fourcat. On trouve également des cépages du pourtour méditerranéen comme le bobal, cultivé en Espagne. Ces cépages sont utilisés par la C.A.11 dans le cadre de projets internes visant à étudier leur réponse aux conditions de sécheresse.

Il semblerait également que les variétés dites Bouquet possèdent une bonne adaptation à la sécheresse. En effet, elles auraient été pensées pour s'implanter dans les vignobles méditerranéens et en particulier d'Occitanie (Vitisphère, 2018).

Problématique

Ce mémoire de fin de parcours universitaire, mené au sein de la Chambre d'Agriculture de l'Aude, vise à contribuer à la problématique de la restructuration du vignoble audois et au développement de nouvelles variétés résistantes. L'objectif est de consolider les connaissances sur les cépages résistants et tolérants, qui pourraient s'avérer essentiels face aux défis climatiques et de développement de maladies. En plus du travail de collecte de données effectuée sur ces variétés résistantes, une seconde mission visera à caractériser le comportement de cépages anciens traditionnels face au stress hydrique.

Ainsi, nous chercherons à savoir comment les cépages résistants aux maladies cryptogamiques et tolérants à la sécheresse peuvent contribuer à la durabilité et à la résilience du vignoble audois face aux défis climatiques et phytosanitaires, tout en maintenant la qualité œnologique des vins produits.

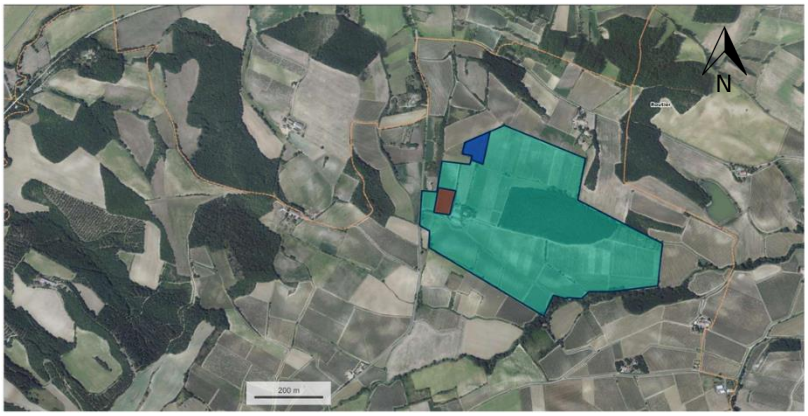

Figure 8 : Photographie aérienne du parcellaire du domaine de Cazes (Latitude 43,1127° ; Longitude : 2,0967°). Les pointillés orange marquent les limites administratives communales. En vert, les limites du domaine de Cazes, en bleu la parcelle n°31 du domaine et en rouge la parcelle n°23. Édité depuis Géoportail (https://www.geoportail.gouv.fr/).

Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Cépage + clone	Castets cl 1126	Syrah cl 1140	Syrah cl 1141	Syrah cl 9142	Alvarinho cl 1143	Fer servadou cl 420	Fer servadou cl 557	Ferradou noir cl 1148	Morrastel cl 949	Zinfandel cl 1174	Grenache gris cl147	Grenache gris cl148	Arvinel cl 6001	Verdelho cl 6005	Parellada cl 6004	Cinsault cl 92	Cinsault cl 252	Cinsault cl 260	Œillade cl 1176	Pinotage cl 1186	Syrah cl 1188	Terret noir cl 1084	Terret blanc cl 1071	Muscat cl 1194	Touriga nacional cl 1201	Nielluccio cl 903	Chardonnay Rose cl 1284
Nombre de ceps	71	71	71	72	72	73	73	73	74	75	75	75	75	76	77	77	77	77	77	77	77	77	78	78	78	78	78

Figure 9 : Plan de la parcelle des variétés tolérantes à la sécheresse. Les rangs sont orientés d'Est en Ouest. En vert, les cépages utilisés dans le cadre de l'étude.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Monarch (53)	Sauvignac (66)	Saphira (69)	Cabernet blanc (71)	Pinotin (73)	Artaban (41)	Cabernet sauvignon (75)	Chardonnay (76)	Floréal (41)	Fleurtai (43)	Floréal (46)
					Vidoc (34)			Johanniter (40)	Soreli (40)	Voltis (40)

Figure 10 : Schéma représentant la première sous-parcelle de la parcelle n °31. La parcelle est composée de 14 cépages différents (2 répétitions pour le cépage floréal) orientés Nord-Sud. Le nombre de ceps est indiqué entre parenthèses. En vert, les variétés allemandes, en gris, les témoins sensibles, en bleu, les variétés ResDur1, en saumon, les variétés suisses, en violet, les variétés italiennes.

Matériels et Méthodes

Régions et sites d'étude

Cette étude est répartie dans deux terroirs distincts de la région Occitanie. La première zone correspond à l'AOC Malepère dans l'Aude sur le site du domaine de Cazes (Figure 8). Elle est située sur la commune d'Alaigne (11240) et dispose de conditions météorologiques influencées par un climat méditerranéen et océanique. Sur le site du domaine, deux parcelles sont mises à disposition pour les suivis. Une première parcelle identifiée sous le numéro 31 et dont les vignes sont plantées en orientation Est-Ouest (Figure 9). Elle accueille des cépages tolérants à la sécheresse. L'autre parcelle accueille les cépages résistants. Elle est identifiée sous le numéro 23. Les rangs sont plantés en orientation Nord-Sud. Elle est subdivisée en trois sous-parcelles distinctes, chacune est dédiée à l'évaluation de différentes catégories de cépages. La configuration de la parcelle et la disposition des sous-parcelles sont les suivantes :

1. **Première sous-parcelle** : Elle comprend une sélection de cépages étrangers d'origine italienne, allemande, et suisse, ainsi que des cépages français développés par l'INRAE, appartenant à la série ResDur1 (Figure 10).

2. **Deuxième sous-parcelle** : Cette sous-parcelle est dédiée aux cépages Bouquet, chaque cépage est répété 3 fois par lot de 30 ceps (Figure 11).

3. **Troisième sous-parcelle** : La dernière sous-parcelle est plantée avec un mélange de cépages italiens et allemands, répartis en deux blocs. Chaque bloc contient une répétition de 30 ceps des cépages étudiés (Figure 12).

Le second site est situé dans la commune de Félines-Minervois (34210) dans le département de l'Hérault (Figure 13). C'est une zone influencée par un climat méditerranéen franc. La parcelle est identifiée sous le numéro cadastral 274 (43.3323°, 2.6120°) au lieu-dit « Les Gassottes », plantée dans une orientation Est-Ouest à flanc de coteau rocailleux (Figure 14). Elle représente une zone typique de l'AOC Minervois.

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué d'un ensemble d'accessions de cépages répartis en deux thèmes, dérèglement climatique et résistance aux maladies. Dans le cadre du thème « dérèglement climatique », l'étude porte sur quatre cépages plantés sur la parcelle de Félines-Minervois et quatre autres cépages plantés sur la parcelle 31 du domaine de Cazes.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Chardonnay (30)	3347-330 (30)	3328-177 (30)	3328-168 (30)	Cabernet sauvignon (30)	3328-168 (30)	3179-90-7 (30)	3160-27-4 (30)	G14 (30)	3176-21-11 (30)	3347-320 (30)	G9 (30)	3159-2-12 (30)
3347-330 (30)	Chardonnay (30)	Cabernet sauvignon (30)	3328-177 (30)	3322-343 (30)	3322-343 (30)	3328-168 (30)	3176-21-11 (30)	3322-226 (30)	G14 (30)	G9 (30)	G5 (30)	G9 (30)
Chardonnay (30)	3347-330 (30)	3179-90-7 (30)	3328-168 (30)	3328-177 (30)	3328-306 (30)	3322-343 (30)	3322-226 (30)	3160-27-4 (30)	3322-226 (30)	3159-2-12 (30)	3347-320 (30)	G5 (30)
				3322-343 (30)	Cabernet sauvignon (30)	3179-90-7 (30)	G14 (30)	3176-21-11 (30)	3160-27-4 (30)	G5 (30)	3159-2-12 (30)	3347-320 (30)

N

Figure 11 : Schéma représentant la deuxième sous-parcelle de la parcelle n °31. Elle est composée de 16 cépages, dont 2 témoins (en gris) répétés 3 fois chacun et orientés Nord-Sud. En vert, les cépages blancs, en violet, les cépages noirs.

	Bloc 2		Bloc 1	
6	Kersus*	Muscaris	Souvignier gris	Muscaris
5	Pinot iskra*	Souvignier gris	Kersus*	Souvignier gris
4	Souvignier gris	Chardonnay témoin	Pinot iskra*	Chardonnay témoin
3	Merlot témoin	Cabernet cortis	Merlot khorus	Cabernet cortis
2	Volturnis	Pinot kors	Merlot témoin	Pinot kors
1	Merlot khorus	Cabernet volos	Volturnis	Cabernet volos

Nord

*Ces cépages font l'objet d'un surgreffage à cause d'une mauvaise prise de greffe, ils ne seront donc pas suivis.

Figure 12 : Troisième sous-parcelle de la parcelle n °31. Elle est composée de 11 cépages dont deux témoins. Chaque cépage est répété une fois par bloc (sauf le cépage souvignier gris répété 2 fois), et par lot de 30 ceps. Les rangs sont orientés Nord-Sud.

Figure 13 : Photographie aérienne du la parcelle de conservation de Félines-Minervois (Latitude 43,3323° ; Longitude : 2,6120°). En vert, la parcelle de conservation. Édité depuis Géoportail (https://www.geoportail.gouv.fr/).

Pour l'étude des variétés résistantes aux maladies (parcelle 23), seize cépages sont testés sur la VATE Bouquet, onze cépages dans la collection d'allemands et d'italiens (six cépages italiens, trois cépages allemands et deux cépages témoins français) et quatorze cépages pour la collection ResDur/Étrangères. L'ensemble de ces variétés sont regroupées dans l'annexe II.

Collecte des données

Mesure des indices de sécheresses

Le comportement des cépages face à la sécheresse est mesuré pendant la période végétative à partir de la floraison et jusqu'à la véraison. La mesure des apex est effectuée selon le protocole de l'IFV (Institut Français de la Vigne et du Vin) toutes les deux semaines pendant cette période.

Il consiste à regarder l'état des apex des rameaux principaux qui peuvent présenter trois états possibles :

1. En pleine croissance (P) : lorsque les deux dernières feuilles étalées sont repliées le long de l'axe du rameau, celles-ci ne recouvrent pas l'apex.
2. Croissance ralentie (R) : lorsque les deux dernières feuilles étalées sont repliées le long de l'axe du rameau, celles-ci recouvrent l'apex.
3. Arrêt de croissance (A) : lorsque l'apex chute ou est sec.

Pour chaque cépage et/ou bloc, 50 apex sont observés. L'état hydrique de la plante est calculé avec la formule suivante : État hydrique = 1*P + 0,5*R +0*A.

L'état de stress hydrique est attribué en fonction de la valeur obtenue. Ces différents états de stress sont regroupés dans le tableau 1.

Une seconde mesure consiste à calculer le potentiel hydrique de tige (PHT) avant l'entrée en floraison (BBCH 60), à la fermeture de la grappe (BBCH 77) et à la véraison. Les mesures sont effectuées sur des échantillons de feuilles ensachées au niveau du limbe dans des sachets en film plastique aluminisé, deux heures avant leur récolte. Les échantillons doivent être des vieilles feuilles exemptes de blessures et de maladie. La récolte se fait entre treize et quinze heures de la journée par rupture du pétiole au niveau de la tige. Le pétiole est sectionné puis introduit dans l'orifice du couvercle de la chambre à pression de Scholander. Le reste de la feuille est placée dans la chambre. De l'azote comprimé est délivré progressivement pour faire augmenter la pression dans la chambre jusqu'à ce que la sève perle au niveau du pétiole.

Rang							
1	Alicante Bouschet	Alicante Bouschet	Aramon gris	Aramon noir	Rivairenc gris	Rivairenc gris	terret
2	Rivairenc noir	Rivairenc noir	Rivairenc noir	Aubun noir	Aubun noir	Beni carlo	Beni carlo
3	Bobal	Courtoisie	Brun fourcat	Brun fourcat	Brun fourcat	Brun fourcat	Carcajolo
4	Carignan noir	Carignan noir	Carignan noir	Carignan noir	Carignan noir découpé	Carignan noir érigé	Clairette blanche
5	Clairette blanche	Clairette rose	Dabouki	Dabouki	Dabouki	Bugrave de Hongrie	Grand noir de la Calmette
6	Trepat	Trepat	Grenache blanc	Grenache blanc	Grenache gris	Grenache noir	Semillon
7	Verjus	Uva Biancona	Grapy	Clairette rose	Carcajolo	Valdiguié pissaïre	Terret noir
8	Carignan mutant pisset	Brun fourcat	Jacquez	Listan	Listan	Macabeu	Mauzac
9	Grand Noir de la Calmette	Morrastel	Morrastel	Morrastel	Mourvèdre	Muscat hambourg	Olivette blanche
10	Muscat PG	Muscat PG	Piquepoul gris	Piquepoul noir	Piquepoul gris	Piquepoul noir	semillon
11	Terret blanc	Terret gris	Terret noir				

N

Figure 14 : Parcellaire du conservatoire des vieux cépages en minervois à Félines-Minervois. Chaque case représente 10 pieds par cépage indiqué. En jaune, les cépages étudiés dans le cadre du dérèglement climatique. Les rangs sont orientés d'Est en Ouest.

Tableau 1 : Classification de l'état de stress hydrique en fonction de l'indice mesuré sur les apex.

Valeur de l'indice	État du stress
I > 0,75	Absence de stress
0,75 ≥ I > 0,6	Stress léger
0,6 ≥ I > 0,4	Stress modéré
0,4 ≥ I > 0,2	Stress fort
0,2 ≥ I ≥ 0	Stress sévère

Tableau 2 : Classification de l'état de stress hydrique en fonction de la valeur moyenne du Potentiel hydrique de tige.

Valeur de l'indice (en bar)	État du stress
PHT < 6	Absence de stress
6 ≤ PHT < 9	Stress léger
9 ≤ PHT < 11 bars	Stress modéré
11 ≤ PHT < 14	Stress fort
PHT ≥ 14	Stress sévère

Tableau 3 : Échelle de sévérité basée sur la surface des symptômes foliaires.

Note de sévérité	Surface de symptômes
0	Absence totale de symptômes ou réaction hypersensible.
1	Tache inférieure à 1% de la surface de la feuille.
2	Tache entre 1 à 5% de la surface de la feuille.
3	Tache entre 5 à 10% de la surface de la feuille.
4	Tache entre 10 à 25% de la surface de la feuille.
5	Tache entre 25 et 50% de la surface de la feuille.
6	Tache supérieure à 50% de la feuille.

La mesure retenue correspond à l'apparition des premières perles de sève et donne une indication quant à l'état du stress hydrique de la plante (Tableau 2). Pour chaque cépage et/ou bloc, 15 feuilles sont prélevées.

Impact des maladies

Pour mesurer la résistance des cépages à l'oïdium et au mildiou de la vigne, un lot de trente feuilles par cépage est photographié. Pour chaque lot il est calculé l'incidence de la maladie (F_m) ainsi que son indice de sévérité de la maladie (ISM) selon les formules suivantes :

1. $F_m = \frac{\text{nombre d'organes contaminés}}{\text{nombre total d'organes}} \times 100$

2. $ISM = \frac{\sum_{i=1}^{30}(note\ de\ sévérité_i \times nombre\ d'organes\ avec\ cette\ note_i)}{nombre\ total\ d'organes\ observés \times la\ note\ maximale} \times 100$

La surface de contamination des feuilles est également calculée afin de déterminer le rapport entre la surface foliaire contaminée et la surface foliaire totale. Ce calcul est réalisé en utilisant le détourage des symptômes et du limbe foliaire à l'aide du logiciel ImageJ (1.54j). Les photographies sont prises le 8 juillet.

Une analyse qualitative des feuilles est réalisée pour déterminer la présence ou non de sporulation à la face abaxiale des feuilles et d'une tache huileuse (mildiou) ou d'un dépôt poudreux blanc (oïdium). Les notes de sévérité figurent dans le tableau 3.

Valorisation et traitement des données

Les données obtenues par le domaine expérimental de Cazes sont intégrées dans une base de données construite dans le logiciel Excel (Version 16.0). L'ensemble du traitement statistique est effectué avec le logiciel R version 4.3.2. Les packages utilisés dans R sont indiqués dans l'annexe III.

La mesure des apex ne fait pas l'objet d'analyses statistiques en raison d'un nombre insuffisant de répétitions pour assurer la robustesse des résultats. Toutefois, ces mesures sont analysées en comparant les indices obtenus afin d'identifier d'éventuelles variations liées au stress.

Deux tests sont utilisés pour traiter les données liées aux mesures par chambre à pression. La comparaison des cépages, pour une même date, s'effectue par une analyse de variance ou ANOVA (ANalyse Of Variance) avec correction de Welch ($\alpha = 0,05$) suivi d'un test post-hoc de Tukey. La normalité des résultats est évaluée à l'aide du test de Shapiro-Wilks, et l'homoscédasticité est testée par le test de Bartlett.

Tableau 4 : Échelle d’évaluation de la fréquence des organes touchés par la maladie (%).

Fréquence d’organes touchés (%)	Catégorie de fréquence
0	Nulle
Fm < 1	Cas isolés
1 ≤ Fm < 5	Faible
5 ≤ Fm < 10	Moyenne
10 ≤ Fm < 50	Élevée
Fm ≥ 50	Très élevée

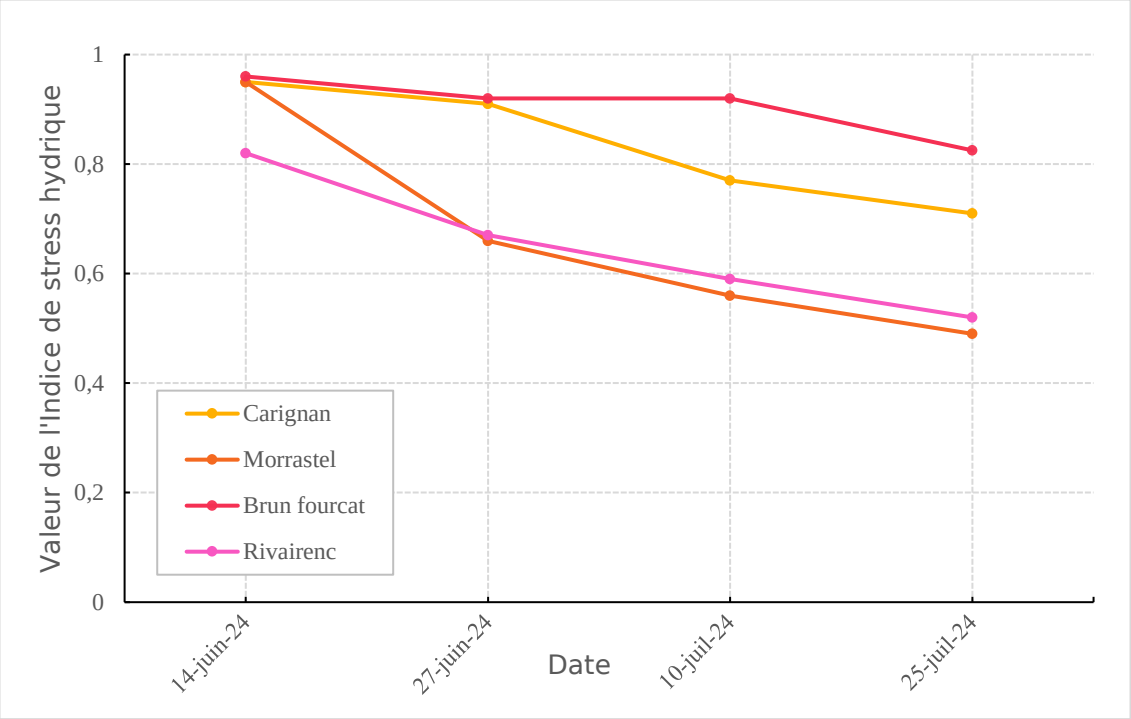

Figure 15 : Évolution de l'indice de stress hydrique des apex pour quatre cépages (carignan, morrastel, brun fourcat, rivairenc) mesurée sur différentes dates entre le 14 juin et le 25 juillet. Le graphique montre une diminution progressive de l'indice de stress hydrique pour tous les cépages. La dernière mesure indique un stress modéré pour le rivairenc et le morrastel, un stress léger pour le carignan et une absence de stress pour le brun fourcat.

Cependant, l’évolution du potentiel hydrique des cépages au cours du temps est analysée par un test de Kruskal-Wallis (α = 0,05), suivi d’un test de Dunn (α = 0,05) avec ajustement des p-values selon la méthode de Bonferroni. En cas de résultats non acquis au cours d’une série, des valeurs sont imputées par la moyenne de la série.

Les photographies de feuilles des différents cépages sont analysées avec un test de Kruskal-Wallis (α = 0,05), suivi d’un test de Dunn (α = 0,05). Puis, on effectue une seconde fois les deux tests uniquement sur les cépages résistants (hors témoins sensibles). Cette seconde analyse est accompagnée d’une mesure de taille d’effet en calculant le Cohen’s d par rapport au cépage résistant avec la valeur moyenne la plus haute (statology.org).

Les fréquences de maladies sont évaluées selon les catégories de fréquence définies dans l'échelle présentée au tableau 4. Afin de mieux comprendre les relations entre les cépages en termes de sévérité des symptômes et de leur réponse à la maladie, une Analyse en Composantes Principales (ACP) est réalisée sur les données d'ISM. Une fois les données transformées par l'ACP, un algorithme de clustering est appliqué pour regrouper les cépages selon leurs profils de sévérité.

Résultats

Indices de sécheresse

Mesure des apex

Sur la parcelle du conservatoire de Félines-Minervois, les mesures des apex ont été effectuées du 14 juin au 25 juillet, avec un intervalle moyen de 14 jours entre chaque mesure. Le 14 juin, aucun des 4 cépages testés (rivairenc, morrastel, brun fourcat, carignan) ne présentait de signe de stress (Figure 15). Toutefois, le rivairenc a obtenu une note inférieure à celle des trois autres cépages, avec un score de 0,82, contre 0,96 pour le brun fourcat, et 0,95 pour le carignan et le morrastel.

À partir du 27 juin, le morrastel a présenté une valeur de 0,66 similaire à celle du rivairenc (0,67). Ces valeurs indiquent un stress léger des cépages face à la contrainte hydrique. En revanche, le brun fourcat et le carignan n’ont pas semblé être affectés par le stress, avec des valeurs relativement stables par rapport à la première mesure (respectivement 0,91 et 0,92). Le morrastel et le rivairenc ont suivi une tendance similaire, avec des valeurs proches (différence de 0,03 point) jusqu’au 25 juillet. À partir du 10 juillet, les mesures ont indiqué un stress modéré, avec des valeurs passant sous le seuil de 0,6 pour atteindre 0,49 (morrastel) et 0,52 (rivairenc) le 25 juillet.

Tableau 5 : Résultats des mesures de l'indice des apex sur différents cépages à Cazes.

	Morrastel	Cinsault	Terret noir	Œillade
14/06/2024	1,00	1,00	0,91	0,89
26/06/2024	0,99	0,97	0,88	0,91

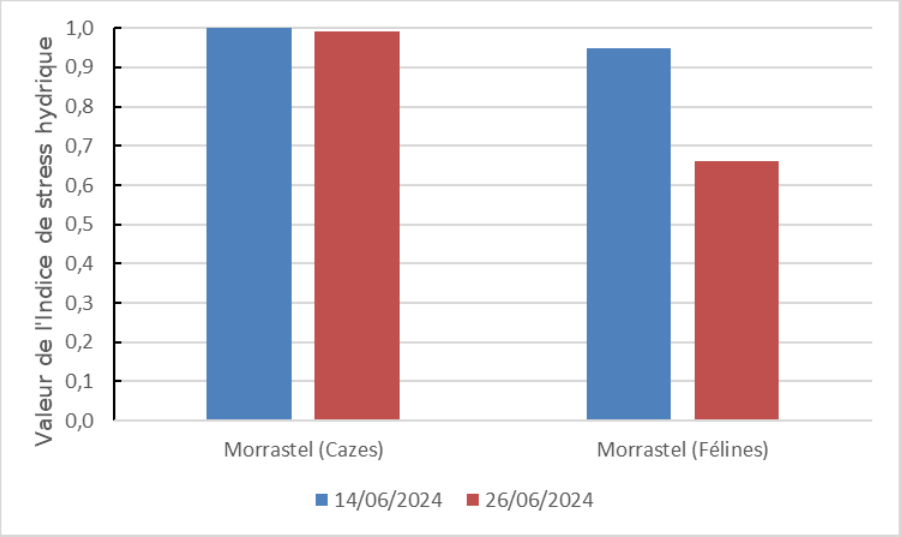

Figure 16 : Comparaison de l'indice de stress hydrique du cépage morrastel entre les parcelles de Cazes et Félines-Minervois (Félines) aux dates du 14/06/2024 et du 26/06/2024. Le morrastel de Félines semble être plus impacté par le stress hydrique que celui de Cazes.

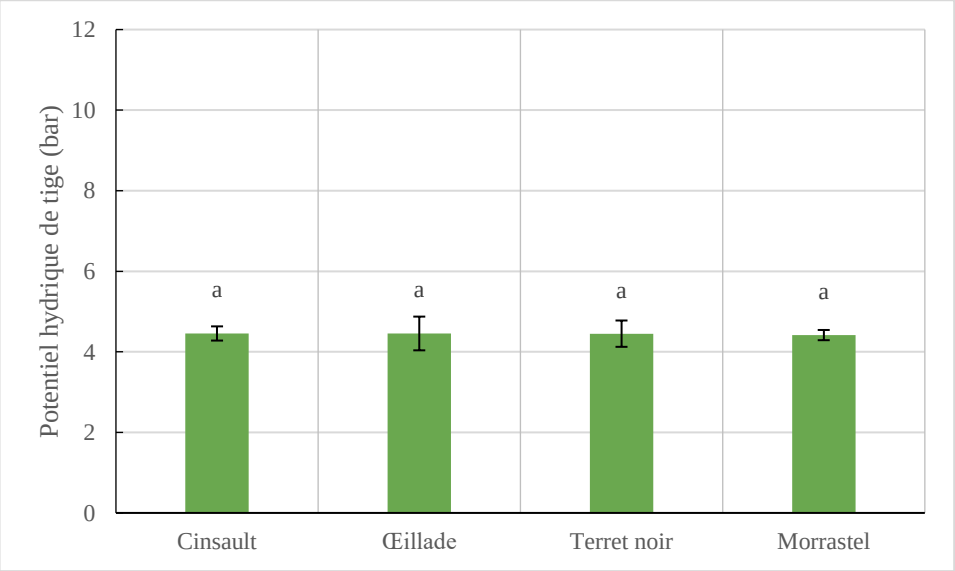

Figure 17 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Cazes le 22 mai. Aucune différence significative n'a été observée à l'aide de l'ANOVA (α=0.05, p-value = 0,9289). La couleur des barres indique l'état du stress. En vert, absence de stress.

Le brun fourcat est resté relativement stable, avec des scores de 0,96 puis 0,82, indiquant une absence de contrainte hydrique. Le carignan a, quant à lui, observé une diminution plus importante de 0,14 point, portant l'indice de stress à 0,77 le 10 juillet, puis à 0,71 le 25 juillet, ce qui correspond à un stress léger pour ce cépage.

Pour la parcelle du domaine de Cazes, seules deux mesures ont pu être effectuées dans le temps (Tableau 5), en raison de l'écimage des vignes. Les mesures ont été réalisées le 14 et le 26 juin. Durant cette période, aucun cépage n'a montré de signes de stress hydrique, avec des valeurs supérieures à 0,75 (valeur seuil d'absence de stress). Le 14 juin, la moyenne des cépages était de 0,95 avec un écart-type de 0,05. Les valeurs étaient comprises entre 0,89 (œillade) et 1,00 (morrastel). Le 26 juin, la moyenne était de 0,94 avec un écart-type de 0,05, avec des valeurs allant de 0,88 (terret noir) et 0,99 (morrastel). Il est à noter que l'œillade a obtenu un score supérieur au 26 juin, avec 0,91. La plus grande différence observée avec le cépage témoin, le cinsault, a été le terret noir, avec une différence de +0,09 points pour le terret noir à chaque date. Cependant, l'indice de stress a indiqué le même état : absence de stress.

Bien que l'absence de répétitions expérimentales n'ait pas permis une analyse statistique approfondie, les données recueillies ont montré que le morrastel a présenté des comportements distincts selon la parcelle étudiée (Figure 16). Le 10 juin, les résultats étaient similaires avec un indice de 1,00 à Cazes et 0,95 à Félines-Minervois. Pour la deuxième série de relevés (26 et 27 juin), une différence nette a été observée, avec des valeurs stables pour le morrastel de Cazes (0,99) contre 0,66 pour le morrastel de Félines-Minervois, indiquant un stress léger.

Relevé des chambres à pression

Les mesures du Potentiel hydrique de tige (PHT) ont été effectuées à Cazes le 22 mai, le 15 juillet et le 12 août. Le 22 mai, avant l'apparition de la contrainte hydrique, les cépages ne montraient pas de signe de stress, avec des valeurs de PHT oscillant entre 4,415 bars et 4,455 bars. Aucune différence significative ($\alpha = 0.05$, p-value = 0,9289) n'a été observée entre les différents cépages et le cépage témoin, le cinsault (Figure 17).

Le 15 juillet, une évolution de l'état hydrique a été observée pour le morrastel qui affichait un PHT de 6,287 bars (Figure 18). À cette date, le cinsault, et l'œillade avaient un PHT inférieur à 6 bars, ce qui suggère une absence de contrainte hydrique notable. En raison d'une erreur de mesure, le PHT du terret noir n'a pas pu être déterminé. L'analyse des résultats par ANOVA ($\alpha = 0,05$, p-value = 0.0059) indiquait une différence significative entre le morrastel (6,287 ± 1,587 bars) et l'œillade (4,800 ± 1,002 bars).

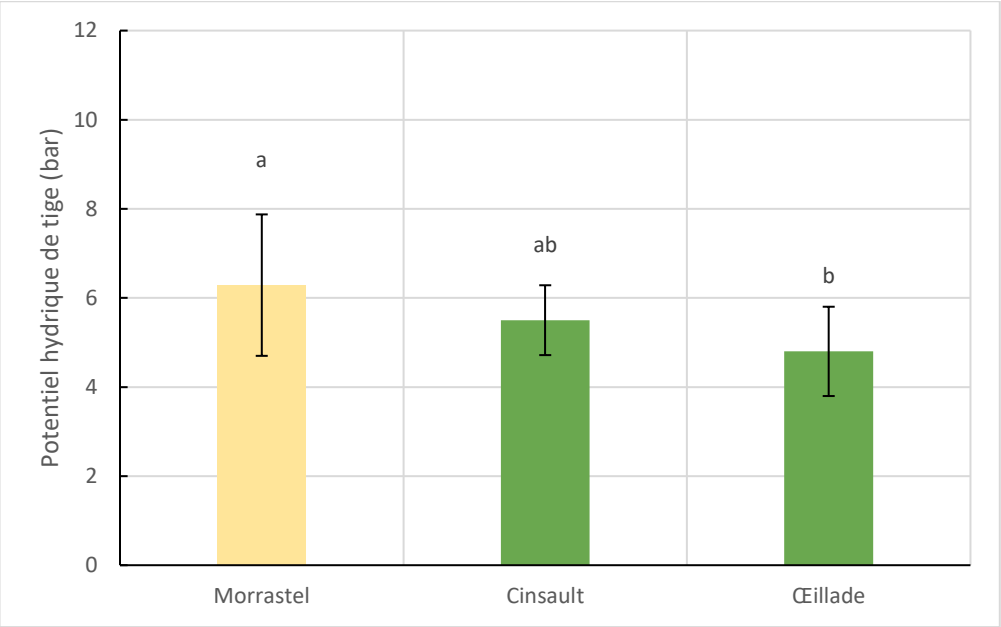

Figure 18 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Cazes le 15 juillet. Une différence significative est observable entre le morrastel (a) et l'œillade (b) à l'aide de l'ANOVA (α=0.05, p-value = 0,0059). La couleur des barres indique l'état du stress. En vert, absence de stress, En jaune, stress léger.

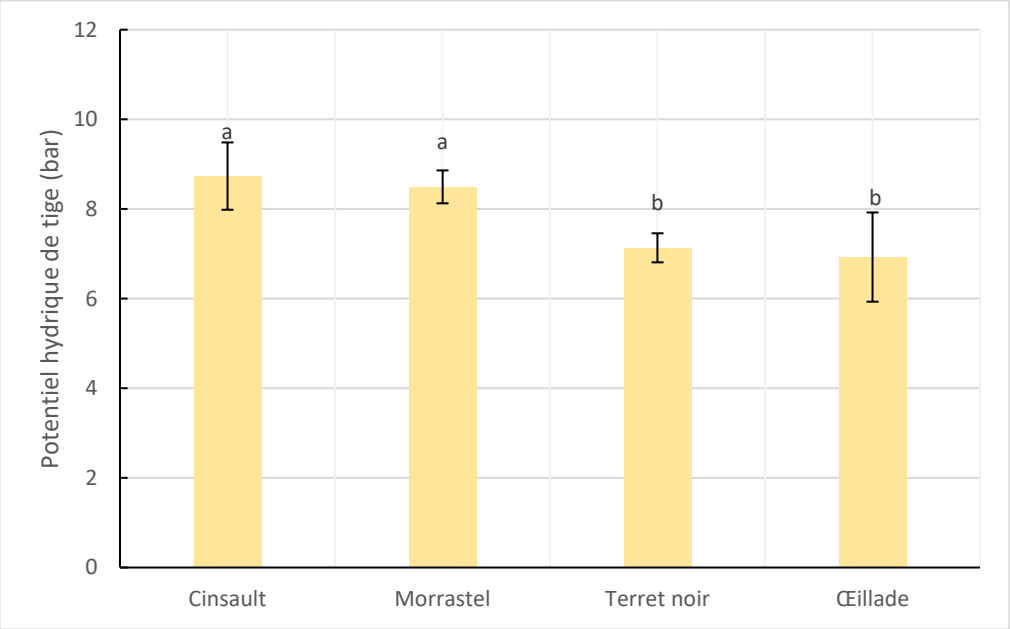

Figure 19 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Cazes le 12 août. Trois groupes significativement différents sont observés (a, b et c). Test ANOVA (α=0.05, p-value = 3,8E-11). La couleur des barres indique l'état du stress. En jaune, stress léger, en orange, stress modéré.

Le cinsault (5,500 ± 0,784 bars) ne présentait aucune différence significative avec les autres cépages.

De plus, une différence significative est observée pour le PHT du morrastel (p-value = 2,7E-03) et du cinsault (p-value = 1,8E-04) entre le 22 mai et le 15 juillet (Test de Dunn, α = 0,05).

Le 12 août, une augmentation du stress hydrique a été observée pour tous les cépages (Figure 19) avec des valeurs qui se situaient entre 6 et 9 bars, ce qui correspond à un stress hydrique léger. L'analyse de variance a permis de distinguer deux groupes de significativité (α = 0,05, p-value = 3,8E-11).

- Le premier groupe (a) inclut le cinsault et le morrastel.
- Le deuxième groupe (b) inclut le terret noir et l'œillade, avec les valeurs moyennes de PHT les plus basses.

Les mesures de PHT des cépages de la parcelle de Félines-Minervois ont été effectuées le 30 mai, le 27 juin et le 8 août. Les cépages testés étaient le brun fourcat, le rivairenc, le morrastel, ainsi que le cépage témoin, le carignan.

Le 30 mai, les cépages présentaient tous un PHT inférieur à 6 bars, indiquant l'absence de contrainte hydrique. Aucune différence significative n'a été observée entre les cépages (Figure 20).

Le 27 juin, deux groupes significativement différents ont été identifiés (p-value = 1.1E-09). Le premier groupe (groupe a) comprend le rivairenc et le morrastel, avec des valeurs de PHT supérieures à 9 bars. Le second groupe (groupe b) inclut le brun fourcat et le carignan, avec des valeurs de PHT situées entre 6 et 9 bars (Figure 21). Le rivairenc a enregistré la valeur moyenne la plus élevée avec 9,733 ± 0,550 bars, tandis que le carignan a présenté la valeur la plus basse avec une moyenne de 7,427 ± 0,788 bars. Le groupe « a » est associé à une contrainte hydrique modérée, tandis que le groupe « b » montre une contrainte hydrique faible. Ce changement de contrainte hydrique est également confirmé par le test de Dunn (α = 0,05), qui indique une augmentation significative des valeurs moyennes de PHT entre le 30 mai et le 27 juin pour les quatre cépages (Tableau 6). La mesure du 8 août montre une augmentation significative des valeurs moyennes de PHT par rapport à celles du 27 juin pour tous les cépages (Tableau 6).

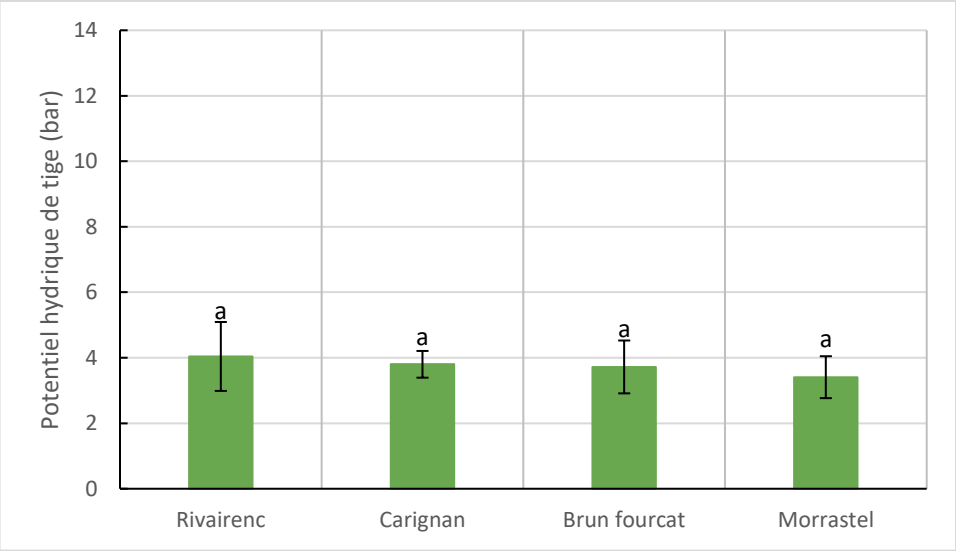

Figure 20 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Félines-Minervois le 30 mai. Aucune différence significative n'a été observée entre les cépages. Test ANOVA (α = 0.05, p-value = 0.1377). La couleur des barres indique l'état du stress. En vert, absence de stress.

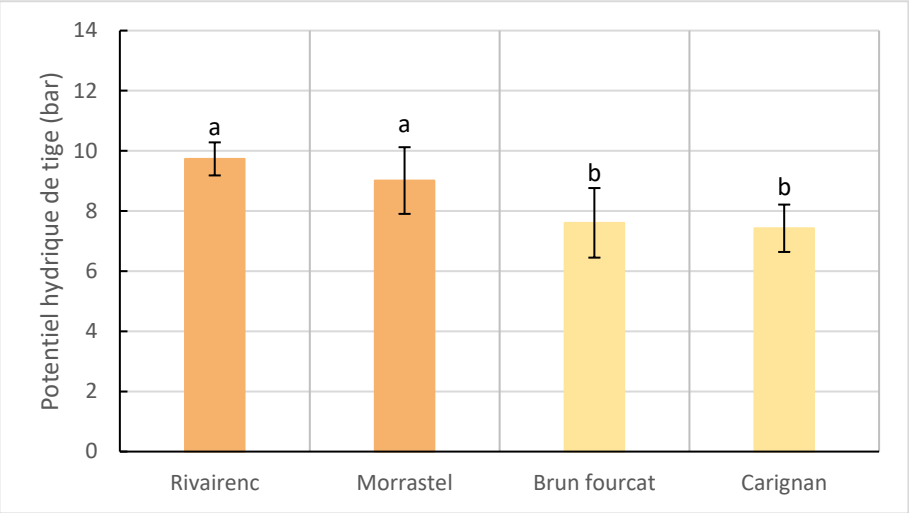

Figure 21 : Potentiel hydrique de tige des cépages mesurés à Félines-Minervois le 27 juin. Il existe une différence significative entre le groupe « a » (rivairenc et morrastel) et le groupe « b » (brun fourcat et carignan). Test ANOVA (α = 0.05, p-value = 1.1E-09). La couleur des barres indique l'état du stress. En jaune, stress léger, en orange, stress modéré.

Tableau 6 : Résultat du test de Dunn sur les cépages de la parcelle du conservatoire de Félines-Minervois. Les p-values ajustées sont obtenues par le test de Dunn avec une correction de Bonferroni (α = 0,05). Les lettres correspondent à la date de mesure des PHT. A = 30 mai, B = 27 juin et C = 8 août.

Cépages comparés	P-value ajustée (Test de Dunn, α = 0,05)
Brun fourcat_A - Brun fourcat_B	7,26E-03
Carignan_A - Carignan_B	1,30E-02
Morrastel_A - Morrastel_B	9,41E-08
Rivarainc_A - Rivarainc_B	2,58E-07
Brun fourcat_B - Brun fourcat_C	1,06E-04
Carignan_B - Carignan_C	3,42E-08
Morrastel_B - Morrastel_C	5,71E-04
Rivarainc_B - Rivarainc_C	4,25E-03

Les résultats de l'ANOVA (α = 0,05) indiquent que le brun fourcat a un PHT moyen significativement inférieur à celui des trois autres cépages (Figure 22). Cependant, la contrainte hydrique observée est similaire pour les quatre cépages, tous montrant une contrainte hydrique forte, avec des PHT compris entre 11 et 14 bars.

En comparant le morrastel de Félines-Minervois et de Cazes, aucune différence significative n'a été relevée en préfloraison (test de Kruskal-Wallis, α = 0,05) (Figure 23). Cependant, une différence significative apparaît à partir de la fermeture de la grappe. À la véraison, le morrastel de Cazes présente une valeur moyenne de PHT sous les 8,493 ± 0,367 bars, tandis que le morrastel de Félines dépasse cette valeur dès la fermeture de la grappe.

De plus, à la véraison, le morrastel de Félines se trouve dans un état de contrainte hydrique fort, contre un état de contrainte hydrique modéré à Cazes.

Indices de maladie

Sur les deux maladies qui étaient suivies cette année, peu de symptômes ou des symptômes tardifs d'oïdium ont été observés, et ce, uniquement sur de rares grappes de témoins sensibles. Faute de résultats, seul le mildiou sera évalué.

Analyse du rapport de surface

L'analyse du rapport entre la surface des symptômes et la surface totale des feuilles, réalisée avec un test de Kruskal-Wallis (p-value = 2,2E-16, α = 0,05), montre une différence significative entre les cépages témoins sensibles et les cépages résistants (Tableau 7). Les cépages témoins, à savoir le chardonnay, le merlot et le cabernet sauvignon, présentent en moyenne des symptômes sur plus de 13 % de leur surface foliaire, atteignant jusqu'à 16 % pour le chardonnay. En revanche, parmi les cépages résistants, le johanniter et le 3328-177 montrent les symptômes les plus étendus, avec une moyenne de 1,4 % de la surface foliaire affectée.

L'analyse par le test de Kruskal-Wallis (p-value=2,2E-16, α=0,05), suivie du test de Dunn (α = 0,05), révèle une différence significative entre deux groupes de cépages résistants : le premier groupe, dont les valeurs moyennes se situent entre celles du johanniter (1,4098 ± 2,7853) et du 3176-21-11 (0,7145 ± 0,0143), et le second groupe, avec des moyennes inférieures à celles du muscaris (0,3110 ± 1,5430). De plus, une différence significative est également observée entre les cépages dont les moyennes sont supérieures à celle du souvignier (0,3761 ± 0,6265) et ceux dont les moyennes sont inférieures à celle du pinot kors (0,0291 ± 0,1946).

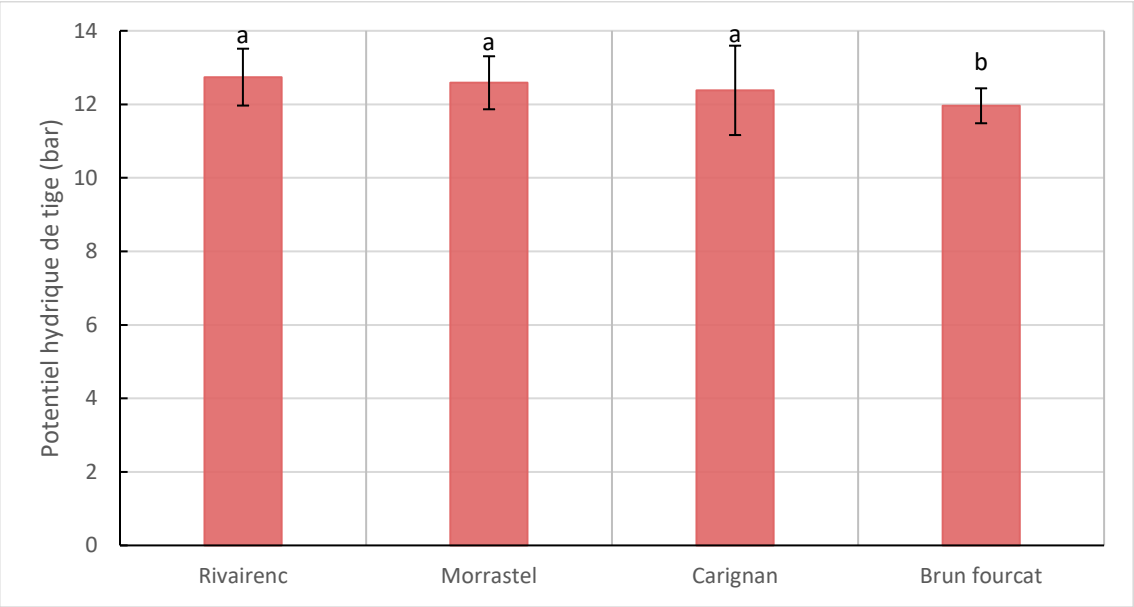

Figure 22 : Potentiel hydrique de tige des différents cépages mesurés à Félines-Minervois le 8 août. Aucune différence significative n'a été observée entre les cépages. Test ANOVA (α = 0.05, p-value = 0.0079). La couleur des barres indique l'état du stress. En rouge, stress fort.

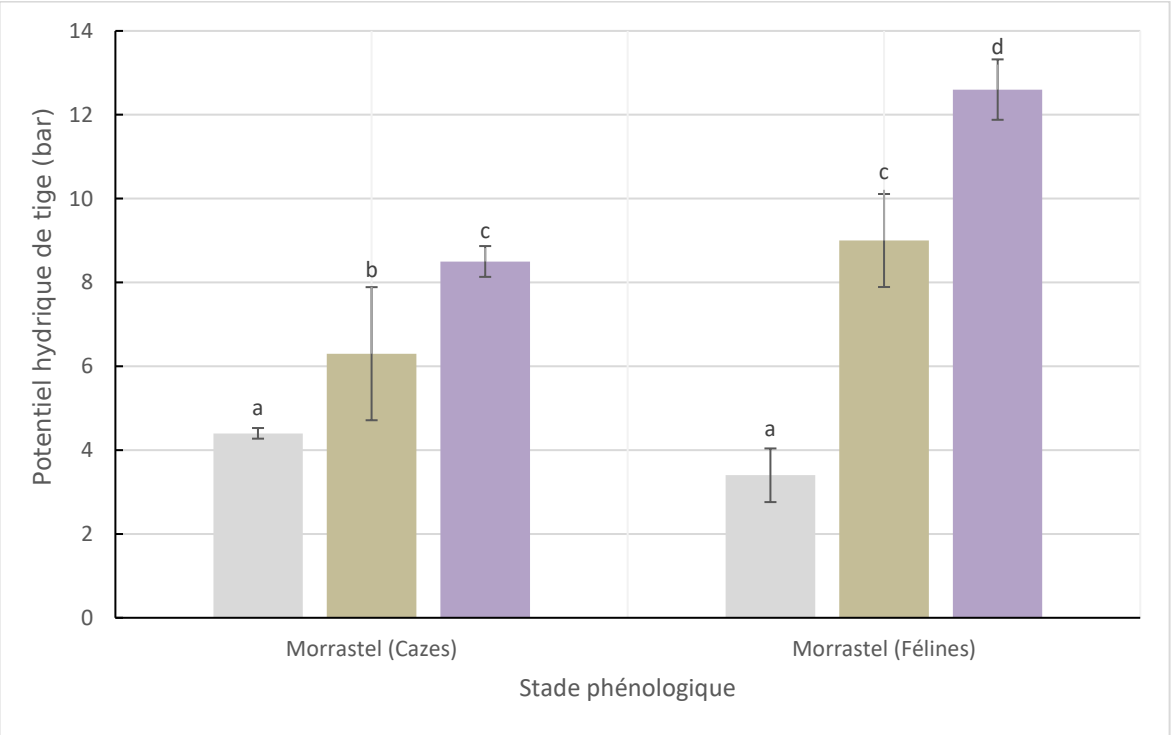

Figure 23 : Potentiel hydrique de tige du morrastel en fonction du stade phénologique dans les parcelles de Cazes et Félines-Minervois. Les valeurs de la table de données indiquent les moyennes pour chaque date. La couleur des barres correspond au stade phénologique des cépages lors des mesures : préfloraison (gris), fermeture de la grappe (marron), véraison (violet).

Le calcul du Cohen's d (Tableau 7), calculée à partir de l'écart à la moyenne du johanniter, permet de dégager trois groupes :

- Le premier groupe correspond à un écart à la moyenne faible, inférieure à 0,2. Il est uniquement constitué du cépage 3322-177.
- Le deuxième groupe correspond à un écart à la moyenne moyen, compris entre 0,2 et 0,5. Il comprend les cépages G14 (0,2056) à 3179-90-7 (0,4594).
- Le troisième groupe correspond à un écart à la moyenne élevé, et comprend l'ensemble des cépages du 3328-168 (0,5067) au Volturnis (0,7049).

Calcul de l'ISM et de la fréquence de maladie

Les résultats de l'indice de sévérité de la maladie (ISM) sont présentés dans l'annexe IV. Un clustering des données (k = 4, nstart = 25) a permis d'identifier quatre clusters significativement différents (Figure 24).

Le chardonnay se trouve seul dans son propre cluster. Le merlot et le cabernet sauvignon sont regroupés dans un même cluster. Les deux autres clusters regroupent l'ensemble des cépages résistants : le cluster 3 inclut les cépages résistants avec un ISM supérieur à 7,5 (à l'exception du 3328-306), tandis que le cluster 4 regroupe les cépages dont l'ISM est inférieur à 7,5, y compris le 3328-306.

Les deux premières dimensions de l'ACP expliquent à elles seules 91,6 % de la distribution des données (Dim1 = 75,2 % ; Dim2 = 16,4 %).

L'analyse de l'incidence de la maladie révèle 4 catégories distinctes de cépages : huit cépages présentent une fréquence faible, cinq ont une fréquence moyenne, seize ont une fréquence élevée, et sept ont une fréquence très élevée. Les trois cépages témoins se retrouvent parmi les sept cépages avec une fréquence très élevée. À ces derniers s'ajoutent le saphira, le 3328-177, le 3176-21-11, et le johanniter. Les cépages ResDur se situent tous dans la catégorie à fréquence nulle, aux côtés du volturnis, du cabernet volos, du soreli et du fleurtai.

Analyse qualitative des symptômes

La plupart des cépages étudiés ne présentent pas de sporulation à la surface de leurs feuilles. Les symptômes se cantonnent à une réponse hypersensible pour huit des trente-six cépages étudiés. La majorité des cépages, soit vingt-deux cépages, ont des taches de mildiou brûlées sur la face supérieure des feuilles sans développement des sporulations.

Tableau 7 : Résultats des moyennes calculées sur l'analyses des rapports de surface (surf. symptomatique/surf. foliaire totale). Les groupes de significativité sont calculés avec le test de Dunn (α = 0,05) et représentés de a à d. Les valeurs du Cohen's d sont calculées pour les cépages résistants, à partir de l'écart à la moyenne du johanniter. Les blocs de couleurs indiquent les différences d'écart à la moyenne : différence faible (bleu), différence moyenne (vert) et différence élevée (jaune).

Cépage	Moyenne ± Écart-type	Groupe de significativité	Cohen's d
Chardonnay	16,31 ± 9,91	a	/
Merlot	13,77 ± 5,4	a	/
Cabernet Sauvignon	13,72 ± 5,59	a	/
Johanniter	1,41 ± 2,79	b	0
3328-177	1,36 ± 8,11	b	0,0246
G14	1 ± 1,82	b	0,2056
Saphira	0,89 ± 1,1	b	0,2598
3322-226	0,73 ± 1,49	b	0,3374
Cabernet cortis	0,72 ± 1,5	b	0,346
3176-21-11	0,71 ± 1,01	b	0,3476
3322-343	0,67 ± 1,43	bc	0,3682
3179-90-7	0,49 ± 1	bc	0,4594
3328-168	0,4 ± 0,85	bc	0,5067
Souvignier gris	0,38 ± 0,63	bc	0,5169
3328-306	0,36 ± 0,97	bcd	0,5235
3347-330	0,33 ± 0,92	bcd	0,538
3160-27-4	0,33 ± 1,49	bcd	0,5401
Muscaris	0,31 ± 1,54	cd	0,5494
G5	0,16 ± 0,36	cd	0,6242
Monarch	0,1 ± 0,28	cd	0,6528
Pinotin	0,07 ± 0,26	cd	0,6708
Sauvignac	0,07 ± 0,19	cd	0,6716
G9	0,06 ± 0,23	cd	0,6728
3347-320	0,04 ± 0,16	cd	0,6841
Cabernet blanc	0,04 ± 0,16	cd	0,6856
Merlot khorus	0,03 ± 0,15	cd	0,6891
Pinot Kors	0,03 ± 0,19	d	0,6904
12/02/3159	0,02 ± 0,07	d	0,6966
Artaban	0	d	0,7049
Cabernet volos	0	d	0,7049
Fleurtai	0	d	0,7049
Floréal	0	d	0,7049
Soreli	0	d	0,7049
Vidoc	0	d	0,7049
Voltis	0	d	0,7049
Volturnis	0	d	0,7049

Les trois témoins expriment systématiquement des syndromes de sporulation sur la face inférieure et une tache de nécrose qui prend d'abord l'aspect huileux caractéristique. En plus des trois témoins, le cabernet cortis (18,43 %), le 3170-27-4 (3,03 %) et le johanniter (3,11 %) présentent des taches de sporulations à la face inférieure de la feuille et une tâche huileuse sur la face adaxiale.

Discussion

Comportement des cépages face au stress hydrique

Comme précisé dans l'introduction de ce mémoire, le dérèglement climatique cause dans notre cas, un problème majeur. En effet, il est le facteur principal de l'augmentation du stress hydrique.

L'utilisation de méthode de mesures, comme la mesure du potentiel hydrique de tige, permet d'établir un premier constat. Le brun fourcat, l'œillade et le terret noir ont tous démontré une bonne capacité de résistance au stress supérieure à leur témoin respectif, le cinsault et le carignan. À ce titre, ces cépages pourraient être en mesure de maintenir la production et la conservation des métabolites et maintenir une acidité nécessaire à la bonne conservation du vin (Zamboni et Iacono, 1998 ; Carbonneau et al., 2007). Cependant, Mahé (2015) décrit le morrastel et le rivairenc comme des cépages prometteurs. Pourtant, le morrastel est un cépage avec une croissance limitée, plus impacté que le carignan ou le cinsault à fermeture de grappe et qui possède également une forte émergence de pampres au niveau du porte-greffe ce qui nécessite plus d'entretien. Sur les deux parcelles, le morrastel démontre d'une moins grande tolérance que les témoins carignan et cinsault au stade de la fermeture de grappe. Bien qu'à la véraison, son potentiel hydrique soit équivalent à celui du cinsault ou du carignan. Le problème dans ce cas vient qu'un stress hydrique précoce (fermeture de grappe) pourrait altérer la qualité de la récolte (Carbonneau et al., 2007).

Pour le rivairenc, les résultats sont peut-être à nuancer. Génétiquement, c'est un descendant du brun fourcat et le parent du terret noir, de l'œillade et du cinsaut, il fait donc partie d'une gamme de cépages particulièrement tolérants à la sécheresse. De plus, il est décrit comme produisant un « vin remarquable » (Mahé, 2015). Il n'est donc pas forcément à écarter. Le problème de sa notation vient de la forte concurrence en eau qu'il peut subir. En effet le rang (2e rang) où se trouve le rivairenc est proche d'une lisière de cyprès dont l'enracinement profond et étendu va concurrencer largement la vigne pour la ressource hydrique.

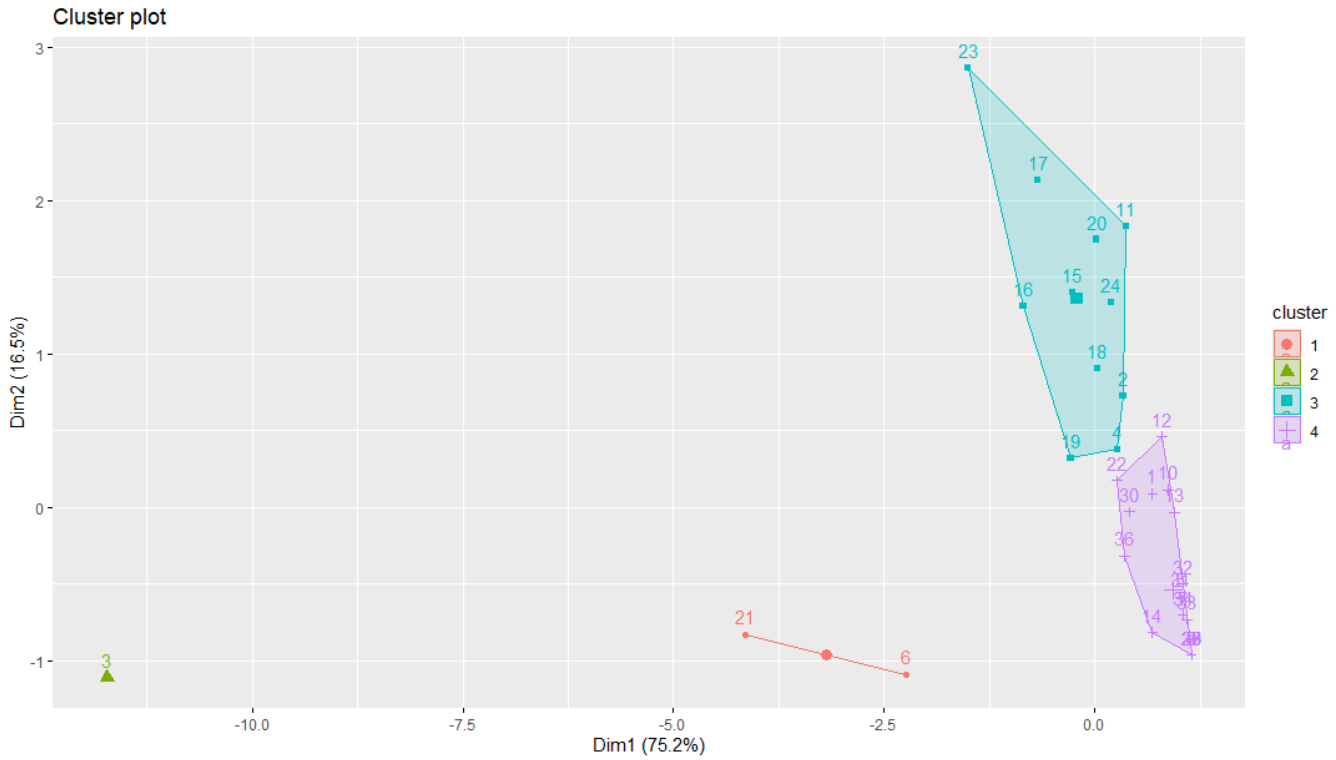

Figure 24 : Clustering des cépages en fonction de l'analyse en composantes principales de l'indice de sévérité de maladie. Les 36 cépages sont répartis en quatre clusters. Le cluster 1 est uniquement composé du chardonnay. Le cluster 2 est composé du merlot (6) et du cabernet sauvignon (21). Le cluster 3 contient les cépages 2, 4, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23 et 24*. Le cluster 4 contient les cépages 1, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 22, et de 25 à 36**.

*Cépages du cluster 3 :

2	Souvignier
4	Cabernet cortis
11	G5
15	3322-226
16	G14
17	3176-21-11
18	3179-90-7
19	3322-343
20	3328-168
23	3328-177
24	3347-330

**Cépages du cluster 4 :

1	Muscaris	26	Floréal
5	Merlot khorus	27	Vidoc
7	Pinot Kors	28	Artaban
8	Volturnis	29	Soreli
9	Cabernet volos	30	Saphira
10	3347-320	31	Monarch
12	G9	32	Sauvignac
13	3159-2-12	33	Cabernet blanc
14	3160-27-4	34	Pinotin
22	3328-306	35	Fleurtai
25	Voltis	36	Johanniter

À ce titre, il conviendrait de tester le rivairenc dans des conditions plus proches d'une parcelle viticole (sans l'effet bordure causé par la lisière).

Que ce soit pour Cazes ou Félines-Minervois, le comportement hydrique du morrastel n'est pas satisfaisant. Sur la plateforme de Cazes, il est le premier cépage à changer d'état hydrique. Bien qu'il n'y ait pas de différence significative avec le cinsault, il reste moins performant que l'œillade ou le terret noir. À Félines, il entre en stress hydrique modéré dès le 27 juin, ce qui n'est pas le cas du carignan ou du brun fourcat. Or, plus l'apparition du stress hydrique est précoce, plus les rendements et la qualité du raisin est impacté (Leeuwen et Darriet, 2016).

La seconde méthode de mesure de l'indice de stress, basée sur l'évaluation des apex, a permis de distinguer les mêmes groupes de cépages que le Potentiel hydrique de tige à Félines. D'un côté, on retrouve le carignan et le brun fourcat, et de l'autre, le rivairenc et le morrastel. Cependant, les conclusions diffèrent entre les deux méthodes. Le 25 juillet, la mesure des apex indique une absence de stress pour le brun fourcat, un stress léger pour le carignan, et un stress modéré pour le morrastel et le rivairenc. En revanche, les résultats du PHT, relevés au 8 août, révèlent un fort stress pour ces mêmes cépages. Cette divergence soulève des questions quant à l'évolution de la contrainte hydrique au cours de cette période. Au regard des données météorologiques pour cette période (évapotranspiration potentielle élevée, températures hautes et faibles précipitations), il est plausible que le stress hydrique ait augmenté rapidement pendant ces 14 jours. Mais l'absence de stress du brun fourcat au 25 juillet pose une interrogation sur la différence de sensibilités des méthodes de mesure employées. Pichon et al (2023) valident la méthode des apex par comparaison avec d'autres méthodes, mais préviennent quant à l'interprétation des mesures : la méthode n'est pas spécifique aux contraintes hydriques et pourrait expliquer cette différence d'interprétation.

Les cépages résistants cultivés sur le domaine de Cazes n'ont pas été spécifiquement évalués dans leur réponse au stress hydrique. Cependant, leur comportement général, basé sur des données empiriques, s'est révélé satisfaisant au cours de la saison. En effet, aucun signe notable lié à un stress hydrique, tel que le flétrissement du feuillage, la grillure des grappes ou la chute prématurée des apex n'a été observé. De plus, les cépages dits Bouquet ont été initialement créés pour répondre à la demande des vignobles du Languedoc-Roussillon et donc de l'Aude, avec une tolérance au stress hydrique (Vitisphère, 2018). Quant aux cépages italiens, il paraît raisonnable de penser qu'ils sont adaptés au climat italien qui peut s'avérer plus sec qu'en France.

Le matériel végétal résistant

Plusieurs indices ont été calculés pour évaluer le comportement des cépages résistants. Pour rappel, notre étude a porté sur trois collections réparties sur trois parcelles distinctes :

1. Les variétés Bouquet obtenues par le chercheur Alain Bouquet et qui portent un gène de résistance partielle au mildiou et totale à l'oïdium.
2. Les variétés étrangères suisses, allemandes et italiennes aux combinaisons génétiques variées.
3. Les variétés ResDur 1 obtenues par l'INRAE, construit par pyramidage de 2 ou 3 gènes de résistance pour chaque maladie étudiée (mildiou et oïdium).

Cette année, l'impact de l'oïdium a été très faible sur les cépages sensibles (merlot, chardonnay, cabernet sauvignon) avec notamment l'absence de symptômes caractéristiques comme les drapeaux blancs et un faible nombre de grappes contaminées. Aucune trace d'oïdium n'a été trouvé sur les cépages à résistance partielle. En revanche, le mildiou a connu un cycle d'épidémie significatif notamment grâce aux conditions climatiques favorisées par un mois de mai très pluvieux. A ce titre, les cépages sensibles ont été fortement contaminés.

Les résultats de l'analyse du rapport entre la surface de symptôme et la surface foliaire totale indiquent une différence significative entre les cépages témoins sensibles et les variétés résistantes. Ce premier lot de résultats démontre l'efficacité des gènes de résistances dans les différentes variétés. Les cépages témoins, à savoir le chardonnay, le merlot et le cabernet sauvignon, ont montré des niveaux élevés de symptômes, avec des surfaces foliaires affectées atteignant jusqu'à 16 % pour le chardonnay.

Ces résultats confirment la sensibilité bien documentée de ces cépages traditionnels aux maladies foliaires, notamment au mildiou, et soulignent la nécessité de traitements phytosanitaires réguliers pour maintenir leur productivité. De plus, parmi les cépages résistants, des différences significatives ont été observées. Cependant, du point de vue agronomique, ces différences peuvent ne pas être pertinentes. En effet, des variations aussi faibles ne seront pas prises en compte pour ajuster un calendrier de traitements différents pour ces variétés. Par exemple, la différence significative (p-value = 2,80E-07) entre le saphira dont la surface moyenne est de 0,89 ± 1,10 % et du volturnis qui n'a aucune nécrose est négligeable au champ. L'utilisation du Cohen's d, qui permet de lisser les différences observées en proposant deux groupes, ne permet pas autant de déceler une pertinence agronomique entre les groupes.

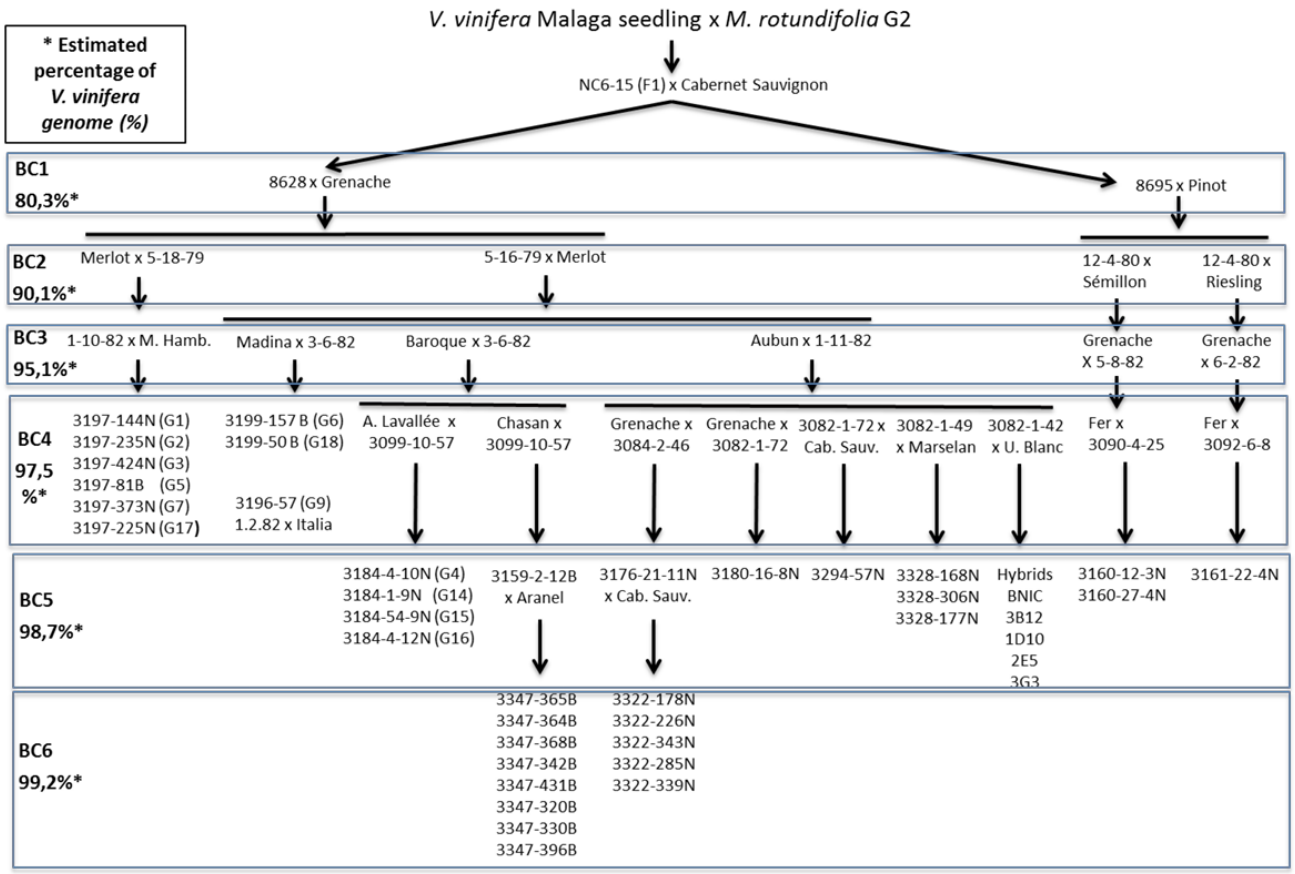

Figure 25 : Arbre généalogique des cépages Bouquet. Chaque génération de croisement (backcross, BC) est indiquée avec le pourcentage estimé de l'ADN de *Vitis vinifera* présent dans le génome des cépages Bouquet. Les pourcentages, notés à chaque étape de BC, montrent l'évolution du patrimoine génétique de *V. vinifera* au fur et à mesure des croisements interspécifiques. D'après Salmon et al., (2018).

Cependant, si l’on regarde les valeurs extrêmes, certains cépages se dégagent. C’est le cas du cépage Bouquet 3328-177 qui présentait sur une feuille des brûlures sur 77 % de sa surface. Bien que ce cas soit isolé, cela signifie qu’en cas de très fortes pressions, il faudrait s’attendre à des dégâts plus conséquents que ceux obtenus cette année. Il est d'autant plus surprenant que les deux autres descendants du marselan, le 3328-226 et le 3328-168, montrent des symptômes très limités, ne touchant que 0,4 % de la surface foliaire en moyenne, avec un écart-type inférieur à 1 %.

Par ailleurs, l'indice de sévérité de la maladie (ISM) semble être un indicateur plus pertinent que le simple rapport de surface pour évaluer la résistance des cépages. Cet indice classe la quasi-totalité des cépages Bouquet noirs dans le même cluster, le cluster 4, à l’exception de deux cépages. Le 3328-306 est situé dans le cluster 1 (Figure 24). Mais au vu de la valeur de son ISM, celui-ci est plus proche des cépages du cluster 4 (figure 24). Sa position pourrait donc varier entre les deux clusters. Cependant, le cépage 3160-27-4 se distingue nettement des autres cépages noirs, étant le seul de cette collection à ne pas partager de parenté avec les autres selon l'arbre généalogique établi par Salmon et al., (2018) (Figure 25). Il est également le seul cépage Bouquet rouge à présenter un indice de fréquence de maladie moyen, tandis que les autres sont classés avec un indice élevé à très élevé. L’un des deux parents du dernier backcross est le fer servadou, un cépage originaire d’Espagne et implanté sur le littoral méditerranéen français depuis le moyen-âge. Il est décrit comme peu sensible au mildiou par l’IFV, ce qui permet peut-être à son descendant de bénéficier de cette caractéristique en plus des gènes de résistances obtenus (IFV, 2024).

Les variétés ResDur (voltis, vidoc, floréal et artaban) se montrent particulièrement performantes puisqu’elles ne présentent aucun symptôme de maladie. Le pyramidage de plusieurs gènes, notamment *rpv1/rpv3*, semble améliorer considérablement la résistance. Ce ne sont pas les seuls cépages à obtenir une note de 0. En effet, le volturnis, le soreli, le cabernet volos et le fleurtai n’ont aucun symptôme lié au mildiou. Ces 4 cépages italiens possèdent tous le gène *rpv12* qui leur confère une résistance élevée au mildiou.

Le pinot kors, le sauvignac et le merlot khorus possèdent également le gène *rpv12*, mais ont des taux de contaminations très faibles avec une surface symptomatique inférieure à 0,07 % et un ISM de respectivement 1,03, 1,03 et 1,28. De plus, aucune sporulation n’a été observée pour ces cépages.

Les variétés les plus impactées parmi les cépages étrangers, à savoir le johanniter et le saphira sont eux porteurs du gène *rpv3.1* ou *rpv3.3*.

Le cabernet cortis combine le gène *rpv3.3* avec *rpv10*. Or, le johanniter et le cabernet cortis ont tous deux émis des sporulations. Paineau et al. (2022) ont cependant démontré que des souches de *Plasmopara viticola* capables de contourner l'haplotype *rpv3* (*3.1* et *3.2*) sont largement diffusées en Europe. La même équipe a également découvert des souches capables de contourner la résistance associée à *rpv10* et *rpv12*, voire des complexes de pathotypes pouvant contourner plusieurs résistances. Au vu des résultats, il est possible que l'une de ces souches, capables de contourner la résistance du johanniter, soit présente sur la parcelle. Cette hypothèse reste à nuancer, car le cabernet blanc possède le même gène de résistance que le johanniter (*Rpv3.1*), or celui-ci ne présente pas de sporulation malgré des symptômes très légers de brûlure foliaire.

Concernant le cas du cabernet cortis, la combinaison *rpv3.3*|*rpv10* ne semble pas empêcher la complétion du cycle de vie du mildiou avec la production de sporangiophores. Cette observation est corroborée par celle de Juraschek et al. (2022). En effet, ces auteurs ont démontré que le solaris, qui possède la même combinaison de gènes, présente une résistance partielle au mildiou, sans empêcher totalement le cycle de l'agent pathogène. Par ailleurs, Il est étonnant que le monarch, qui possède également cette combinaison de gènes, ne présente pas ou peu de symptômes, et aucune sporulation.

Intérêt pour la viticulture audoise

Dans l'Aude, les marchés de vrac sont particulièrement concurrencés par les grandes régions productrices d'Europe comme l'Espagne ou l'Italie. L'une des solutions de pérennisation de la production est l'abaissement du coût de production à son maximum. Cela passe par la mécanisation des parcelles, mais également l'utilisation de porte-greffes productifs comme le SO4. L'un des coûts majeurs de la production reste les interventions phytosanitaires. En 2024, un hectare de chardonnay coûte 516,43 euros par hectare et demande un indice de fréquence de traitement (IFT) de 14,2. En comparaison, les cépages résistants ont demandé un coût d'intervention de 171,15 euros par hectare pour un IFT de 4. Il y a donc un gain majeur à réaliser. Cependant, il faut prendre en compte la capacité de production du cépage. Par exemple, pour les variétés blanches, une majorité des cépages résistants comme le voltis, le souvignier ou le saphira ont des rendements supérieurs au chardonnay (basé sur les données récoltées en 2023).

Pour les variétés noires, le monarch, le pinotin et le vidoc ont également des capacités de rendement supérieures au merlot et pourraient offrir des volumes en quantité et en qualité supérieures, notamment, par une altération moindre des raisins par l'oïdium et le mildiou. Le souvignier gris, cépage blanc, possède une résistance élevée et dispose d'une qualité organoleptique correcte. C'est un cépage décrit comme insensible au dessèchement de la grappe, avec une très bonne fertilité des bourgeons basaux capables de produire après un gel, et un rendement important de 9 à 14 tonnes à l'hectare. Cela en fait un cépage particulièrement intéressant à développer dans le vignoble. Il est par ailleurs d'ores et déjà utilisable dans l'IGP Occitanie comme cépage mineur.

En ce qui concerne les cépages testés pour leur adaptation climatique, le terret noir, le brun fourcat ou l'œillade pourraient être une base intéressante à intégrer dans certaines AOC comme l'AOC Malepère en tant que cépages secondaires. Dans le rapport de Mahé (2015), le terret est décrit comme ayant un fort potentiel de dégustation et une bonne valorisation en appellation. Ce cépage permet également de produire des vins à faibles degrés, ce qui est une caractéristique recherchée pour l'adaptation climatique. Cependant, sa sensibilité aux maladies ne lui permettrait pas forcément de garantir des rendements en cas de trop fortes pressions dues aux agents pathogènes. Le rivairenc est également cité dans le rapport, mais les mesures obtenues dans le cadre de notre étude et la sensibilité aux maladies très importantes documentée dans le rapport pousserait à la conclusion qu'il ne correspondrait pas aux attentes de l'IGP. De plus, la typicité régionale est un trait à rechercher dans la production de vin. En effet, les AOC ont démontré leur aptitude à développer un secteur en jouant sur la typicité et la régionalité en lien avec le terroir.

Les variétés Bouquet ont, pour certaines, un intérêt non-négligeable pour leur inscription au catalogue et leur valorisation au sein de l'IGP Occitanie, mais également des différents AOC de l'Aude. Le 3160-27-4, descendant du fer servadou, présente des notes de dégustation très satisfaisantes en plus d'une résistance au mildiou. Le 3179-90-7, descendant grenache, est lui décrit comme ayant les qualités gustatives nécessaires pour rentrer en AOC. Les cépages blancs suscitent un intérêt moindre au cours des dégustations même si le 3159-2-12, descendant de chasan, ressort dans les profils organoleptiques intéressants (Hugo BRANCORSINI, C.A.11, communication personnelle).

Conclusion

La durabilité du vignoble audois dépend de deux choses :

- La capacité de renouveler l'encépagement pour remplacer les cépages élites, moins adaptés au climat sec et trop sensibles aux maladies.
- La garantie d'une qualité avec une typicité régionale.

Il faut donc privilégier des cépages dont les traits de caractère répondent à ces demandes. À ce titre, un cépage comme le terret noir ou le brun fourcat pourraient venir compléter certaines AOC pour compenser les pertes liées à la sécheresse tout en garantissant une typicité régionale. À l'inverse, les cépages dont le comportement hydrique est inférieur à ceux des cépages préexistant d'une AOC, comme le morrastel, aurait un intérêt limité dans la volonté de pérenniser le vignoble.

Les cépages résistants offrent également une base solide de production. Moins impactés par les maladies principales, ils garantissent un volume pour les vins de vrac. En effet, les trois collections de cépages résistants ont toutes montré des résultats satisfaisants pour le contrôle du mildiou, en particulier les variétés ResDur ou certaines obtentions VCR comme le volturnis, le fleurtai ou le soreli.

En plus, ces cépages représentent une plus-value importante pour les producteurs. La diminution des coûts de traitement, qui reste l'un des leviers les plus coûteux, permettrait de dégager une marge plus importante.

Cependant, il convient de prendre des précautions quant à la diffusion de ces cépages sur le vignoble audois. En effet, des cépages comme le johanniter et le cabernet cortis n'ont pas empêché la complétion du cycle de vie du mildiou et de nombreux exemples de contournement des résistances existent dans la bibliographie (Peressotti et al., 2010 ; Paineau et al., 2022 ; Gouveia et al., 2024). Les traitements bien qu'allégés ne sont pas pour autant injustifiés dans un contexte de veille sanitaire du vignoble.

Les résultats de cette étude permettent également de compléter les connaissances quant à la mise sur le marché de nouveaux cépages. Leur capacité de rendement important, la diminution des intrants, et pour certains, leurs qualités œnologiques sont autant de facteurs qui pourraient stabiliser et améliorer la production viticole audoise. Ces nouveaux cépages répondent à la fois à la demande des consommateurs par la réduction des intrants et également à la demande des producteurs en assurant une récolte lors d'année propice aux maladies.

Bibliographie

Alikadic, A., Pertot, I., Eccel, E., Dolci, C., Zarbo, C., Caffarra, A., De Filippi, R., et al. (2019). The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: A regional study. *Agricultural and Forest Meteorology* **271**, 73–82.

Badouin, H., Velt, A., Gindraud, F., Flutre, T., Dumas, V., Vautrin, S., Marande, W., et al. (2020). The wild grape genome sequence provides insights into the transition from dioecy to hermaphroditism during grape domestication. *Genome Biology* **21**, 223-247.

Banerjee, A., Duflo, E., Postel-Vinay, G., and Watts, T. M. (2010). Long run health impacts of income shocks: wine and phylloxera in nineteenth century France. *The Review of Economics and Statistics* **92**(4), 714–728.

Barker C. L., Donald T., Pauquet J., Ratnaparkhe M. B., Bouquet A., Adam-Blondon A. F., Thomas M. R., et al. (2005). Genetic and physical mapping of the grapevine powdery mildew resistance gene, *Run1*, using a bacterial artificial chromosome library. *Theoretical and Applied Genetics*, **111**, 370–377.

Bellin, D., Peressotti, E., Merdinoglu, D., Merdinoglu-Wiedemann, S., Adam-Blondon, A. F., Cipriani, G., Morgante, M., et al. (2009). Resistance to *Plasmopara viticola* in grapevine 'Bianca' is controlled by a major dominant gene causing localised necrosis at the infection site. *Theoretical and Applied Genetics* **120**(1), 163-176.

Bois, B., Zito, S. and Calonnec, A. (2017). Climate vs grapevine pests and diseases worldwide: The first results of a global survey. *OENO One* **51**(2), 133-139.

Bouquet, A. (1986). Introduction dans l'espèce *Vitis vinifera* L. d'un caractère de résistance à l'oïdium (*Uncinula necator* Schw. Burr.) issu de l'espèce *Muscadinia rotundifolia* (Michx.) Small. *Vignevini* **12**, 141-146.

Cadle-Davidson, L., Mahanil, S., Gadoury, D.M., Kozma, P., Reisch, B.I. (2011). Natural infection of Run1-positive vines by naïve genotypes of *Erysiphe necator*. *Vitis* **50**(4), 173–175.

Caffarra, A., Rinaldi, M., Eccel, E., Rossi, V. and Pertot, I. (2012). Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **148**, 89–101.

Carbonneau, A., Deloire, A., Jaillard, B., Pellegrino, A., Métay, A., Ojeda, H., Lebon, E., et al. (2007). Sources et système « plante entière ». In: *Traité de la vigne : physiologie, terroir, culture*. 2nd édition. Dunod, Paris, 75-114.

Dry, I. B., Feechan, A., Anderson, C., Jermakow, A. M., Bouquet, A., Adam-Blondon, A. F. and Thomas, M. R. (2010). Molecular strategies to enhance the genetic resistance of grapevines to powdery mildew. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **16**, 94–105.

Frader, L. L. (1991). *Peasants and Protest: Agricultural Workers, Politics, and Unions in the Aude, 1850-1914*. First edition. University of California Press, Berkeley, 275 p.

Gadouric, D. M., Seem, R. C., Ficke, A. and Wilcox, W. F. (2003). Ontogenic Resistance to Powdery Mildew in Grape Berries. *Phytopathology* **93**(5), 547-555.

Gouveia, C., Santos, R. B., Zukic, S., Manthey, T., Malhó, R., Figueiredo, A. and Buchholz, G. (2024). Novel *Plasmopara viticola* isolate surpasses grapevine *Rpv3.1* and *Rpv3.2* resistance but not *Rpv12*. *Journal of Plant Pathology* (In press).

Gur, L., Reuveni, M., Cohen, Y., Cadle-Davidson, L., Kisselstein, B., Ovadia, S. and Frenkel, O. (2021). Population structure of *Erysiphe necator* on domesticated and wild vines in the Middle East raises questions on the origin of the grapevine powdery mildew pathogen. *Environmental Microbiology* **23**, 6019–6037.

Hoffmann, S., Di Gaspero, G., Kovács, L., Howard, S., Kiss, E., Galbács, Z., Testolin, R., et al. (2008). Resistance to *Erysiphe necator* in the grapevine "Kishmish vatkana" is controlled by a single locus through restriction of hyphal growth. *Theoretical and Applied Genetics* **116**, 427–438.

Juraschek, M. L., Matera, C., Steiner, U. and Oerke, E.-C. (2022). Pathogenesis of *Plasmopara viticola* depending on resistance mediated by *Rpv3_1*, and *Rpv10* and *Rpv3_3*, and by the vitality of leaf tissue. *Phytopathology* **112**, 1486–1499.

Jürges, G., Kassemeyer, H. H., Dürrenberger, M., Düggelin, M. and Nick, P. (2009). The mode of interaction between *Vitis* and *Plasmopara viticola* Berk. & Curt. Ex de Bary depends on the host species. *Plant Biology* **11**, 886–898.

Kennelly, M. M., Gadoury, D. M., Wilcox, W. F., Magarey, P. A., and Seem, R. C. (2007). Primary infection, lesion productivity, and survival of sporangia in the grapevine downy mildew pathogen, *Plasmopara viticola*. *Phytopathology* **97**, 512-522.

Lê Van, A., Gladieux, P., Lemaire, C., Cornille, A., Giraud, T., Durel, C.-E., Caffier, V. et al. (2012). Evolution of pathogenicity traits in the apple scab fungal pathogen in response to the domestication of its host. *Evolutionary Applications* **5**, 694–704.

Leeuwen, C. V. and Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics* **11**, 150–167.

Liang, Z., Duan, S., Sheng, J., Zhu, S., Ni, X., Shao, J., Liu, C., et al. (2019). Whole-genome resequencing of 472 *Vitis* accessions for grapevine diversity and demographic history analyses. *Nature Communications* **10**, 1190.

Mahé, H. (2015). *Préservation et valorisation des cépages rares des régions nord-méditerranéennes*. Mémoire Sciences agronomiques, Montpellier SupAgro, Montpellier, 61 p.

Marguerit, E., Boury, C., Manicki, A., Donnart, M., Butterlin, G., Némorin, A., Wiedemann-Merdinoglu, S., et al. (2009). Genetic dissection of sex determinism, inflorescence morphology and downy mildew resistance in grapevine. *Theoretical and Applied Genetics* **118**, 1261–1278.

Merdinoglu, D., Wiedemann-Merdinoglu, S., Coste, P., Dumas, V., Haetty, A., Butterlin, G., Greif, C. (2003). Genetic analysis of downy mildew resistance derived from *Muscadinia rotundifolia*. *Acta Horticulturae* **603**, 451-456.

Merdinoglu, D., Schneider, C., Prado, E., Wiedemann-Merdinoglu, S. and Mestre, P. (2018). Breeding for durable resistance to downy and powdery mildew in grapevine. *OENO One* **52**(3), 203–209.

Myles, S., Boyko, A. R., Owens, C. L., Brown, P. J., Grassi, F., Aradhya, M. K., Prins, B., et al. (2011). Genetic structure and domestication history of the grape. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **108**(9), 3530-3535.

Paineau, M., Mazet, I. D., Wiedemann-Merdinoglu, S., Delmotte, F. and Fabre, F. (2022). The characterization of pathotypes in grapevine downy mildew provides insights into the breakdown of *Rpv3*, *Rpv10* and *Rpv12* factors in grapevines. *Phytopathology* **112**, 2329–2340.

Peressotti, E., Wiedemann-Merdinoglu, S., Delmotte, F., Bellin, D., Di Gaspero, G., Testolin, R., Merdinoglu, D. et al. (2010). Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety. *BMC Plant Biology* **10**, 147-158.

Pichon, L., Laurent, C., Payan, J.-C. and Tisseyre, B. (2023). Observation of shoot growth: a simple and operational decision-making tool for monitoring vine water status in the vineyard. *OENO One* **57**, 235–244.

Phillips, R. (2016). *French wine: A history*. University of California Press, Berkeley, 348 p.

Riaz, S., Tenscher, A.C., Ramming, D.W., Walker, M.A. (2011). Using a limited mapping strategy to identify major QTLs for resistance to grapevine powdery mildew (*Erysiphe necator*) and their use in marker-assisted breeding. *Theoretical and Applied Genetics* **122**, 1059–1073.

Ricciardi, V., Crespan, M., Maddalena, G., Migliaro, D., Brancadoro, L., Maghradze, D., Failla, O., et al. (2024). Novel loci associated with resistance to downy and powdery mildew in grapevine. *Frontiers in Plant Science*. **15**, 1386225.

Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Liu, Y., Baby, T. and Xiao, Z. (2022). Impact of climate change on grape berry ripening: An assessment of adaptation strategies for the Australian vineyard. *Frontiers in Plant Science* **13**, 1094633.

Sagnes, J. (1978). Le mouvement de 1907 en Languedoc-Roussillon : de la révolte viticole à la révolte régionale. *Le Mouvement Social* **104**, 3-30.

Salinari, F., Giosue S., Tubiello F. N., Rettori, A., Rossi, V., Spanna, F., Rosensweig, C., et al. (2006). Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Global Change Biology* **12**, 1299–1307.

Salmon, J.-M., Ojeda, H. and Escudier, J.-L. (2018). Disease resistant grapevine varieties and quality: the case of Bouquet varieties. *OENO One* **52**, 225–230.

Sapkota, S., Zou, C., Ledbetter, C., Underhill, A., Sun, Q., Gadoury, D. and Cadle-Davidson, L. (2023). Discovery and genome-guided mapping of REN12 from *Vitis amurensis*, conferring strong, rapid resistance to grapevine powdery mildew. *Horticulture Research* **10**, uhad052.

Sargolzaei, M., Maddalena, G., Bitsadze, N., Maghradze, D., Bianco, P. A., Failla, O., Toffolatti, S. L. et al. (2020). *Rpv29*, *Rpv30* and *Rpv31*: three novel genomic loci associated with resistance to *Plasmopara viticola* in *Vitis vinifera*. *Frontiers in Plant Science* **11**, 562432.

Schneider, C. J., Onimus, C., Prado, E., Dumas, V., Wiedemann-Merdinoglu, S., Dorne, M.A., Lacom, M.C. et al. (2019). INRA-ResDur: the French grapevine breeding programme for durable resistance to downy and powdery mildew. *Acta Horticulturae* **1248**, 207-214.

Sosa-Zuniga, V., Vidal Valenzuela, Á., Barba, P., Espinoza Cancino, C., Romero-Romero, J. L. and Arce-Johnson, P. (2022). Powdery mildew resistance genes in vines: An opportunity to achieve a more sustainable viticulture. *Pathogens* **11**, 703-721.

Toffolatti, S. L., De Lorenzis, G., Costa, A., Maddalena, G., Passera, A., Bonza, M. C., Pindo, M., et al. (2018). Unique resistance traits against downy mildew from the center of origin of grapevine (*Vitis vinifera*). *Scientific Reports* **8**(1), 12523.

Tramblay, Y. and Somot, S. (2018). Future evolution of extreme precipitation in the Mediterranean. *Climatic Change* **151**, 289–302.

Velasquez-Camacho, L., Otero, M., Basile, B., Pijuan, J. and Corrado, G. (2023). Current trends and perspectives on predictive models for mildew diseases in vineyards. *Microorganisms* **11**, 73.

Viala, P. (1893). *Les maladies de la vigne*. 3e édition. Coulet, Montpellier, Masson et Cie, Paris, 552 p.

Wan, Y.Z., Schwaninger, H.D., He, P.C., Wang, Y.J. (2007). Comparison of resistance to powdery mildew and downy mildew in Chinese wild grapes. *Vitis* **46**, 132-136.

Welter, L. J., Göktürk-Baydar, N., Akkurt, M., Maul, E., Eibach, R., Töpfer, R., Zyprian, E. M. (2007). Genetic mapping and localization of quantitative trait loci affecting fungal disease resistance and leaf morphology in grapevine (*Vitis vinifera* L). *Molecular Breeding* **20**, 359–374.

Zamboni, M. and Iacono, F. (1998). Study on variation in osmotic potential and cellular elasticity in vines subjected to water stress. *OENO one* **22**(4), 241-249.

Zecca, G., De Mattia, F., Lovicu, G., Labra, M., Sala, F. and Grassi, F. (2010). Wild grapevine: *silvestris*, hybrids or cultivars that escaped from vineyards? Molecular evidence in Sardinia. *Plant Biology* **12**, 558–562.

Sitographie

AGRESTE. (2023). Une production viticole 2023 estimée à 46 millions d'hectolitre. Conjoncture – Infos Rapides n° 2023-128, Mis à jour le 10/11/2023. Disponible sur : https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/IraVit23138/detail/ (Consulté le 18/04/2024).

CNIV. (2020). Etudes et économie de la filière : Chiffres clés. Disponible sur https://www.intervin.fr/etudes-et-economie-de-la-filiere/chiffres-cles (Consulté le 18/04/2024).

FranceAgriMer. (2023b). Vins et spiritueux Commerce extérieur : Bilan 2022. Mis à jour le 20/07/2023. Disponible sur : https://www.franceagrimer.fr/filieres-Vin-et-cidre/Vin/Eclairer/Etudes-et-Analyses/Chiffres-et-bilans (Consulté le 18/04/2024).

Géoportail. Données cartographiques © - Région Occitanie. Disponible sur : https://www.geoportail.gouv.fr/ (Consulté le 15/08/2024).

IFV. (2024). Le fer servadou noir ou braucol ou mansois. Disponible sur : https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/cepages-et-porte-greffes-utilises-dans-le-sud-ouest/le-fer-servadou-n-ou-braucol-ou-mansois/ (Consulté le 15/08/2024).

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. (2022). Le plan Écophyto, qu'est-ce que c'est ? Mis à jour le 07/02/2022. Disponible sur : https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-quest-ce-que-cest (Consulté le 22/04/2024).

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. (2022). Les effets du changement climatique en France - Synthèse des connaissances en 2022. Mis à jour le 21/12/2022. Disponible sur https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-effets-du-changement-climatique-en-france-synthese-des-connaissances-en-2022 (Consulté le 14/06/2024).

Statology (2021). How to interpret Cohen's d (with examples). Mis à jour le 31/08/2021. Disponible sur : https://www.statology.org/interpret-cohens-d/ (Consulté le 24/08/2024).

Vitisphère. 2018. Les vignes Bouquet, "seuls cépages résistants adaptés au climat méditerranéen ». Mis à jour le 20/02/2018. Disponible sur https://www.vitisphere.com/actualite-87027-les-vignes-bouquet-seuls-cepages-resistants-adaptes-au-climat-mediterraneen.html

Weather-measures. https://weather-measures.fr/ (Consulté le 24/08/2024).

Annexes

Annexe I – Nom complet des espèces citées dans le texte par ordre d'apparition.

Vitis vinifera L.

Vitis vinifera ssp. *vinifera* Hegi

Vitis vinifera spp. sylvestris (C.C.Gmel) Hegi

Plasmopara viticola (Berk. & M.A.Curtis) Berl. & De Toni

Erysiphe necator Schwein.

Daktulosphaira vitifoliae Fitch.

Vitis rupestris Scheele

Vitis riparia Michx

Vitis berlandieri Planch.

Uncinula necator (Schwein.) Burrill.

Vitis rotundifolia Michx.

Muscadinia rotundifolia (Michx.) Small.

Vitis amurensis Rupr.

Vitis betulifolia Diels & Gilg.

Vitis acerifolia Raf.

Vitis labrusca L.

Vitis cinerea (Engelm.) Engelm. ex Millardet

Vitis rupestris Scheele

Vitis piazeskii Maxim.

Annexe II – Tableau récapitulatif de l'ensemble du matériel végétal utilisé dans le cadre du stage. Les variétés sont regroupés en fonction de l'obtenteur.

Cépage	Couleur	Obtenteur	Gène de résistance	Thème	Collection	Commune
Artaban	Noir	INRAE	*Rpv1 / Rpv3* *Run1 / Ren3*	Résistance aux maladies	ResDur1	Alaigne
Vidoc	Noir	INRAE	*Rpv1 / Rpv3* *Run1 / Ren3*	Résistance aux maladies	ResDur1	Alaigne
Voltis	Blanc	INRAE	*Rpv1 / Rpv3* *Run1 / Ren3*	Résistance aux maladies	ResDur1	Alaigne
Floréal	Blanc	INRAE	*Rpv1 / Rpv3* *Run1 / Ren3*	Résistance aux maladies	ResDur1	Alaigne
Monarch	Noir	JKI	*Rpv3.3 / Rpv10* *Ren3 / Ren9*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Johanniter	Blanc	JKI	*Rpv3.1* *Ren3 / Ren9*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Muscaris	Blanc	JKI	*Rpv10* *Ren3 / Ren9*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Cabernet cortis	Noir	JKI	*Rpv3.3 / Rpv10* *Ren3 / Ren9*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Souvignier gris	Noir	JKI	*Rpv3.2* *Ren3 / Ren9*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Saphira	Blanc	WBI	*Rpv3.3* *Ren3 / Ren9*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Cabernet blanc	Blanc	Blattner	*Rpv3.1*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Sauvignac	Blanc	Blattner	*Rpv3 / Rpv12*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Pinotin	Blanc	Blattner	NA	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Fleurtai	Blanc	VCR	*Rpv12* *Ren3*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Soreli	Blanc	VCR	*Rpv12 / Rpv3*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Kersus*	Blanc	VCR	*Rpv12* *Ren3*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Volturnis	Rouge	VCR	*Rpv12*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Pinot iskra*	Blanc	VCR	*Rpv1 / Rpv12* *Run1 / Ren3*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Pinot kors	Noir	VCR	*Rpv1 / Rpv12* *Run1*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Merlot Khorus	Noir	VCR	*Rpv12*	Résistance aux maladies	Variétés étrangères	Alaigne
Œillade	Noir	/	/	Dérèglement climatique	Cépage traditionnel	Alaigne
Morrastel	Noir	/	/	Dérèglement climatique	Cépage traditionnel	Alaigne
Terret noir	Noir	/	/	Dérèglement climatique	Cépage traditionnel	Alaigne

Cinsault	Noir	/	/	Dérèglement climatique	Cépage traditionnel	Alaigne
Carignan	Noir	/	/	Dérèglement climatique	Cépage traditionnel	Félines-Minervois
Brun fourcat	Noir	/	/	Dérèglement climatique	Cépage traditionnel	Félines-Minervois
Rivairenc	Noir	/	/	Dérèglement climatique	Cépage traditionnel	Félines-Minervois
Morrastel	Noir	/	/	Dérèglement climatique	Cépage traditionnel	Félines-Minervois
3347 - 320	Blanc	Alain Bouquet – INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3347 - 330	Blanc	Alain Bouquet – INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3347 - 431	Blanc	Alain Bouquet – INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3159-2-12	Blanc	Alain Bouquet – INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
G5	Blanc	Alain Bouquet – INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
G9	Blanc	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
G14	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3160 -27-4	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3176 -21-11	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3179 -90-7	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3322 - 226	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3322 - 343	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3328 - 306	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3328 - 168	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne
3328 - 177	Noir	Alain Bouquet - INRAE	*Rpv1 / Run1*	Résistance aux maladies	Bouquet	Alaigne

*Ces cépages font l’objet d’un surgreffage à cause d’une mauvaise prise de greffe, ils ne seront donc pas suivis.

Annexe III : Liste des packages utilisés dans R (4.3.2).

Utilisation	**Nom des packages**
Importation des données	readxl
Création de graphiques	ggplot2, ggrepel
Test de Dunn	FSA, rstatix, dplyr
Test de Tukey	agricolae
ACP et cluster	cluster, factoextra

Annexe IV - Résultats de l'indice de sévérité de la maladie (ISM) des différentes collections de cépages résistants (témoins compris). Les valeurs du tableau sont calculées en multipliant le nombre de feuilles dans chaque catégorie de sévérité (0 à 6) par la note correspondante, comme explicité dans le tableau 3."

		0	1	2	3	4	5	6	ISM
1	Muscaris	0	9	4	0	4	0	0	4,36
2	Souvignier	0	12	20	0	0	0	0	8,2
3	Chardonnay	0	12	98	81	88	20	12	79,71
4	Cabernet cortis	0	9	22	3	0	0	0	8,71
5	Merlot khorus	0	3	2	0	0	0	0	1,28
6	Merlot	0	3	32	42	16	5	0	25,12
7	Pinot Kors	0	2	2	0	0	0	0	1,03
8	Volturnis	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Cabernet volos	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3347-320	0	9	2	0	0	0	0	2,82
11	G5	0	23	8	0	0	0	0	7,95
12	G9	0	12	2	0	0	0	0	3,59
13	12/02/3159	0	8	0	0	0	0	0	2,05
14	3160-27-4	0	1	8	3	4	0	0	4,1
15	3322-226	0	16	36	3	0	0	0	14,1
16	G14	0	16	40	18	0	0	0	18,97
17	3176-21-11	0	20	52	0	0	0	0	18,45
18	3179-90-7	0	12	32	0	0	0	0	11,28
19	3322-343	0	7	38	9	0	0	0	13,84
20	3328-168	0	21	20	3	0	0	0	11,28
21	Cabernet Sauvignon	0	8	50	48	32	10	0	37,93
22	3328-306	0	7	24	3	0	0	0	8,71
23	3328-177	0	28	32	3	0	0	6	17,68
24	3347-330	0	18	16	3	0	0	0	9,48
25	Voltis	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Floréal	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Vidoc	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Artaban	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Soreli	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Saphira	0	5	24	0	0	0	0	7,43
31	Monarch	0	3	2	0	0	0	0	1,28
32	Sauvignac	0	4	0	0	0	0	0	1,03
33	Cabernet blanc	0	2	0	0	0	0	0	0,51
34	Pinotin	0	2	2	0	0	0	0	1,03
35	Fleurtai	0	0	0	0	0	0	0	0
36	Johanniter	0	4	18	3	4	0	0	7,43

L'INSTITUT agro Rennes Angers FACULTÉ DES SCIENCES UNIVERSITÉ D'ANGERS Nantes Université	Diplôme: Master Mention : Biologie Végétale (BV) Parcours : Plant Health and Protection (PHP)

Auteur(s) : **Marius BURONFOSSE** Date de naissance : 30/10/2001	Organisme d'accueil : Chambre d'agriculture de l'Aude. Adresse : 22 rue de l'industrie, 11800 Trèbes Maître de stage : Hugo BRANCORSINI
Nb pages : 30 Annexe(s) : 4	
Année de soutenance : 2024	

Titre français : L'Adoption de Cépages Résistants et Tolérants : Une Stratégie pour la Durabilité du Vignoble Audois en Période de Changement Climatique.
Titre anglais : The Adoption of Resistant and Tolerant Grape Varieties: A Strategy for the Sustainability of the Audois Vineyard in Times of Climate Change.

Résumé :

Ce mémoire évalue l'adaptation des cépages résistants aux maladies cryptogamiques et tolérants à la sécheresse dans le vignoble audois face aux défis climatiques. Les cépages patrimoniaux tels que le Terret Noir, le Brun Fourcat et l'Œillade offrent une meilleure résistance au stress hydrique que les cépages présents dans les AOC audoises comme le Cinsault et le Carignan, en plus de répondre aux exigences des professionels. Les cépages résistants, notamment des collections ResDur, obtenues par l'INRAE, se sont révélés satisfaisants contre les maladies cryptogamiques comme le mildiou, réduisant ainsi les besoins en traitements phytosanitaires, tout en assurant de hauts rendements et qualité œnologique maintenue. Toutefois, des cépages comme le Morrastel et le Rivairenc affichent des performances hydriques et phytosanitaires limitées, restreignant leur adoption. Ainsi, l'intégration des cépages les plus performants peut renforcer la durabilité du vignoble tout en préservant la typicité régionale et en répondant aux exigences économiques des producteurs.

Abstract :

This thesis evaluates the adaptation of grape varieties resistant to cryptogamic diseases and tolerant to drought in the Aude vineyard, addressing the challenges posed by climate change. Heritage varieties such as Terret Noir, Brun Fourcat, and Œillade offer better resistance to water stress than the varieties commonly found in Aude's AOCs, like Cinsault and Carignan, while also meeting professional requirements. Resistant grape varieties, particularly those from the ResDur collections developed by INRAE, have proven effective against cryptogamic diseases such as downy mildew, thereby reducing the need for phytosanitary treatments while ensuring high yields and maintaining oenological quality. However, varieties like Morrastel and Rivairenc display limited water and phytosanitary performance, which restricts their adoption. Therefore, integrating the most effective grape varieties could enhance vineyard sustainability while preserving regional typicity and meeting the economic demands of producers.

Mots-clés : *Cépages résistants ; Stress hydrique ; Maladies cryptogamiques ; Durabilité du vignoble ; Adaptation climatique.*
Key Words: *Resistant varieties, Water stress, Cryptogamic diseases, Sustainable vineyard, Climate adaptation.*