



HAL
open science

Etude comportementale des porte-greffes en Bourgogne

Carole Christ

► **To cite this version:**

Carole Christ. Etude comportementale des porte-greffes en Bourgogne. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04418694

HAL Id: dumas-04418694

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04418694v1>

Submitted on 15 Mar 2024

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

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

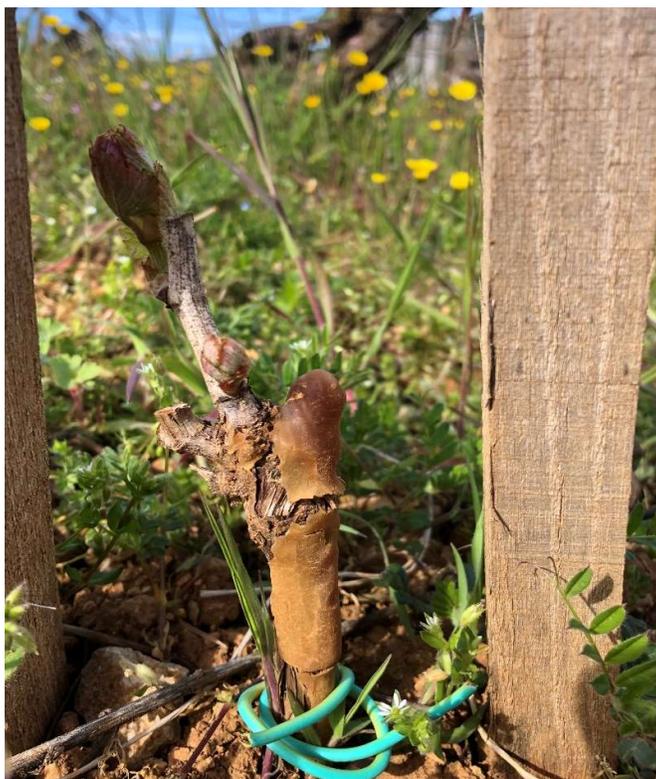
MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

Option : Viticulture-Œnologie

Étude comportementale des porte-greffes en Bourgogne



Par Carole CHRIST

Année de soutenance : 2023

Organisme d'accueil : Domaine Chanson Père et Fils
10 rue Paul Chanson
21 200 Beaune



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

Option : Viticulture-Œnologie

Étude comportementale des porte-greffes en Bourgogne

Présenté par Carole CHRIST

Année de soutenance : 2023

**Mémoire préparé sous la
direction de :** Thierry LACOMBE

Organisme d'accueil :

Domaine Chanson Père et Fils
10 rue Paul Chanson
21 200 Beaune

Présenté le : 7 novembre 2023

Maître de stage :

Justine SAVOYE

Devant le jury :

Thierry LACOMBE et
Laurent TORREGROSA

Titre : Etude comportementale des porte-greffes en Bourgogne

Résumé

Face aux changements climatiques, les pratiques culturales des vignobles français sont bouleversées. L'augmentation des températures et les épisodes de sécheresse de plus en plus fréquents, ne sont pas sans conséquences sur la viticulture. De nombreuses adaptations au vignoble sont possibles comme le système de conduite, la densité de plantation ou l'irrigation, mais aussi le matériel végétal et surtout les porte-greffes. Utilisés depuis la crise phylloxérique, il en existe une grande variabilité, mais souvent, comme dans le vignoble bourguignon, une faible diversité est utilisée. L'objectif de cette étude est de tester un panel de porte-greffes composé du 3309C, 5BB, Gravesac, Fercal, 1103P, 110R et 333EM dans les conditions du domaine. La mise en place de l'étude s'est faite pour cette première année sur des complants âgés d'un an. Les résultats de l'étude ont permis de mettre en évidence des porte-greffes intéressants face à la sécheresse, comme le 333EM ou le 1103P. Cependant, le porte-greffe 3309C semble peu adapté à la sécheresse et ne semble pas recommandé sur des terroirs sensibles. La majorité des parcelles et des porte-greffes n'ont pas montré de différences significatives. L'âge des pieds peut être la raison expliquant ses résultats. La suite de l'étude dans les années à venir permettra d'approfondir ceux observés cette année.

Mots clés : changement climatique, porte-greffe, sécheresse, terroirs de Bourgogne

Title: Behavioral study of rootstocks in Burgundy

Abstract

In the face of climate change, viticultural practices in French vineyards are undergoing radical change. Rising temperatures and more frequent droughts episodes are not without consequences for viticulture. Many different vineyard adaptations are possible, such as management systems, planting density and irrigation, as well as plant material and in particular rootstocks. Rootstocks have been used since the phylloxera crisis, and there is a wide variety of them, but often, as in the Burgundy vineyards, little diversity is used. The aim of this study is to test a panel of rootstocks including 3309C, 5BB, Gravesac, Fercal, 1103P, 110R and 333EM under estate conditions. This first year's study was carried out on one-year-old plants. The results of the study enabled to identify rootstocks such as 333EM and 1103P that are interesting in the face of drought. However, the 3309C rootstock seems poorly adapted to drought and is not recommended for sensitive terroirs. Most plots and rootstocks showed no significant differences. This may be due to the age of the vines. Continued study in future years will enable to deepen one's observed this year.

Key words: climate change, rootstocks, drought, terroirs of Burgundy

Pour citer ce document : Christ, Carole. (2023). Etude comportementale des porte-greffes en Bourgogne. Mémoire d'Ingénieur Agronome, option Viticulture-Œnologie, L'Institut Agro Montpellier, 108 p.

Remerciements

Je tenais à remercier le Domaine Chanson Père & Fils sous la direction de Vincent AVENEL de m'avoir accueillie chaleureusement et m'avoir permis de réaliser ce stage au sein de leur entreprise. Je veux remercier mon maître de stage, Justine SAVOYE, de m'avoir accompagnée tout au long de ce stage, pour sa disponibilité et l'aide qu'elle a pu me fournir pour mettre en place ce projet au sein du domaine. Elle m'a permis de découvrir le métier de chef de culture et a partagé ses connaissances techniques. Toujours de bons conseils qui m'ont servi à aller au bout de ce projet.

J'aimerais également remercier mon tuteur, Thierry LACOMBE pour m'avoir orientée et conseillée dans mon stage dès ses débuts. Pour son suivi et ses corrections, qui m'ont permis de mener le projet de mise en place jusqu'au bout.

Je souhaite remercier Louis-Dominique DULER et Marco LANGDORF, également stagiaires chez Chanson Père et Fils. Louis avec qui nous avons co-construit le projet d'étude des porte-greffes et Marco pour son aide et ses conseils pour réaliser les mesures sur le terrain. Je tenais également à les remercier pour leur bonne humeur et leur soutien moral. Mes remerciements s'adressent aussi à toute l'équipe vigne du domaine, les ouvriers et les tractoristes pour leur gentillesse et leur disponibilité.

Je remercie également Laurent ANGINOT de l'ATVB, Agnès BOISSON de BioBourgogne, Géraldine URIEL du CIVC, Marion WIMMER du BIVB et Elisa MARGUERIT de Bordeaux Science Agro pour leur expertise et leur avis technique.

Enfin, je tiens particulièrement à remercier mes parents et mon conjoint pour leur aide, leur soutien, leur dévouement, de m'avoir accompagnée tout au long de ce projet.

Liste des abréviations

ABA : Acide abscissique

AOC : Appellation d'origine contrôlée

ATVB : Association technique viticole de Bourgogne

BIVB : Bureau interprofessionnel des Vins de Bourgogne

°C : Degré Celsius

CIVC : Comité interprofessionnel des vins de Champagne

cm : centimètre

DGCCRF : Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

h : heure

ha : hectare

hL : hectolitre

IFV : Institut français de la vigne et du vin

IRTF : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier ou spectroscopie

K : Potassium

mbar : millibar

még/kg : milliéquivalent par kilogramme

Mg : Magnésium

mm : millimètre

mm/an : millimètre par an

mPa : millipascal

NDVI : Indice de végétation par différence normalisée

pH : potentiel hydrogène

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

Table des matières

Résumé.....	5
Abstract.....	5
Remerciements.....	7
Liste des abréviations.....	9
Table des figures.....	17
Table des tableaux.....	19
Introduction.....	21
1. Bibliographie.....	25
1.1. La Bourgogne viticole.....	25
1.1.1. Histoire de la région.....	25
1.1.2. Caractéristiques de la région.....	25
1.1.3. Données économiques.....	27
1.2. Le changement climatique en Bourgogne.....	27
1.2.1. Le changement climatique à l'échelle mondiale.....	27
1.1.1. Changement climatique à l'échelle de la Bourgogne.....	27
1.3. Effet de la sécheresse sur la vigne.....	31
1.3.1. L'alimentation hydrique de la vigne.....	31
1.3.2. Les principaux symptômes d'un déficit hydrique.....	33
1.3.3. Les moyens d'adaptation possibles au vignoble.....	33
1.4. La crise phylloxérique et le début du greffage.....	35
1.4.1. La crise phylloxérique.....	35
1.4.2. Le greffage de la vigne.....	37
1.5. Cas des porte-greffes en Bourgogne.....	37
1.5.1. Le dépérissement lié au porte-greffe 161-49C.....	37
1.5.2. Une faible diversité de porte-greffes utilisés.....	39
1.5.3. Stratégie de choix des porte-greffes.....	39
1.6. Porte-greffes et résistance à la sécheresse.....	39
1.6.1. Déterminisme génétique de la résistance à la sécheresse.....	41
1.1.1. Distribution racinaire.....	41
1.2. Les caractéristiques des porte-greffes et leur interaction avec le greffon.....	43
1.2.1. La vigueur conférée.....	43
1.2.2. La phénologie du greffon.....	45

1.2.3.	Assimilation des éléments minéraux	45
1.3.	Le matériel végétal à l'étude	45
1.3.1.	<i>V. riparia</i> – <i>V. rupestris</i>	47
1.3.2.	<i>V. riparia</i> – <i>V. berlandieri</i>	47
1.3.3.	<i>V. rupestris</i> – <i>V. berlandieri</i>	47
1.3.4.	<i>V. vinifera</i> – <i>V. Berlandieri</i>	49
1.3.5.	<i>V. vinifera</i> – <i>V. berlandieri</i> – <i>V. Acerifolia</i> (Solonis).....	49
1.3.6.	<i>V. riparia</i> – <i>V. rupestris</i> – <i>V. berlandieri</i>	49
2.	Matériels et méthodes.....	51
2.1.	Mise en place des parcelles d'essai	51
2.1.1.	Choix des parcelles d'essai	51
2.1.2.	Caractéristiques des parcelles.....	51
2.1.3.	Marquage des complants.....	53
2.2.	Phénologie du débourrement à la vendange.....	55
2.3.	Carence et chlorose.....	55
2.4.	Estimation de la vigueur.....	55
2.4.1.	Mesure des poids de bois de taille	57
2.4.2.	Longueur et diamètre des rameaux.....	57
2.4.3.	Mesure de l'azote foliaire.....	57
2.5.	Statut hydrique des plants	57
2.5.1.	Méthode des apex	57
2.5.2.	Potentiel hydrique de tige.....	59
2.5.3.	Mesure du $\delta^{13}C$ des moûts	61
2.6.	Maturité des grappes et rendement	61
2.6.1.	Estimation du rendement	61
2.6.2.	Suivi maturité.....	61
2.7.	Mortalité.....	61
2.8.	Analyse des données et analyse statistique.....	61
3.	Résultats et discussion	63
3.1.	Répartition dans la zone d'étude.....	63
3.2.	Description du millésime 2023.....	65
3.3.	Analyse mixte	65
3.4.	Débourrement.....	67

3.5. Chlorose et carence.....	67
3.6. Suivi de la croissance des apex.....	69
3.7. La vigueur conférée au greffon.....	73
3.7.1. Mesure de la nutrition azotée au N-tester	73
1.1.1. Diamètre et longueur des rameaux	73
1.2. Mortalité.....	75
Conclusion.....	77
Bibliographie	79
Annexe I.....	89
Annexe II.....	93
Annexe III.....	97
Annexe IV	101
Annexe V	103
Annexe VI	103
Annexe VII	105
Annexe VIII	107
Annexe IX	107
Résumé.....	108

Table des figures

Figure 1 : Évolution de la production de raisin en Côte d'Or entre 2008 et 2020. Production personnelle (FranceAgriMer, s. d., 2019).....	26
Figure 2 : Évolution des prix des vins sur le marché par appellation en France (Agreste, 2023).	26
Figure 3 : Évolution de la température moyenne annuelle en Bourgogne entre 1961 et 2011 (Richard et al. 2014).....	28
Figure 4 : Représentation simplifiée des flux d'eau dans le continuum sol-plant-atmosphère et des réponses physiologiques de la vigne sous déficit hydrique à court et long terme (Carbonneau & Torregrosa, 2020; Simonneau et al., 2017).	30
Figure 5 : Schéma générale du cycle de reproduction du phylloxera comprenant le cycle souterrain et le cycle aérien (Garrier, 1989).	34
Figure 6 : Nombre de parcelles touchées par le dépérissement lié au porte-greffe 161-49C en fonction de l'année d'apparition des premiers symptômes (Benatia, 2014; Torregrosa et al., 2011).	36
Figure 7 : Distribution des parcelles présentant un dépérissement en fonction du nombre d'année après plantation (Torregrosa et al., 2011).....	36
Figure 8 : Répartition des porte-greffes plantés en 2003 en Bourgogne. Source des données, FranceAgriMer (Prêtet-Lataste, 2021).	38
Figure 9 : Schéma théorique des catégories d'enracinement observées chez les porte-greffes (Crespy, 2015).	40
Figure 10 : Cartographie du parcellaire de l'essai sur le domaine Chanson complété par les porte-greffes étudiés sur chaque parcelle (réalisation personnelle).....	50
Figure 11 : Photographie d'un complant marqué dans le cadre de l'étude à l'aide de peinture bleue au niveau des jalons et de fil de fer coloré au pied (Beaune, photo personnelle).	52
Figure 12 : <i>Stade phénologique de la vigne du bourgeon d'hiver jusqu'au stade 14 feuilles séparées d'après l'échelle phénologique proposée par Lorenz et al.</i> (Carbonneau & Torregrosa, 2020).	54
Figure 13 : Photographie de la mesure du statut azoté de la vigne à l'aide d'un N-tester (Beaune, photo personnelle).	56
Figure 14 : Comparaison des valeurs des différentes méthodes de détermination du stress hydrique chez la vigne en fonction des classes de déficit hydrique (IFV).....	56
Figure 15 : Illustration des trois catégories de type d'apex permettant la détermination de l'état de croissance des apex (IFV).	58
Figure 16 : Clé de détermination du niveau de stress hydrique de la vigne à partir des mesures de croissance des apex (Bécart, 2023).....	58
Figure 17 : Pressoir Parapress 5 litres pour pressurage des échantillons de petite taille lors des prélèvements maturité (Beaune, photo personnelle).	60
Figure 18 : Résultat du test d'homogénéité du Khi deux pour la parcelle de Pernand-Vergelesses et le porte-greffe 1103P (production personnelle).....	62
Figure 19 : <i>Diagramme ombrothermique comprenant la température moyenne et la pluviométrie de la ville de Beaune entre avril et août 2023. Données de la station météo de la Coopérative Bourgogne du Sud sur Beaune (production personnelle).</i>	64

Figure 20 : Analyse mixte des résultats obtenus durant le millésime 2023. Graphique des variables et graphique des variables quantitatives (production personnelle).	64
Figure 21 : Pourcentage de débourrement des pieds en fonction du porte-greffe pour chaque parcelle d'essai (production personnelle).....	66
Figure 22 : Photographie d'un pied présentant une chlorose ferrique et son évolution au cours de la saison. Les photographies sont prises respectivement de gauche à droite le 13 juin, le 6 juillet et le 25 juillet (Beaune, production personnelle).	69
Figure 23 : Évolution de l'indice de croissance des apex au cours de la saison pour les modalités de Chardonnay (production personnelle).....	70
Figure 24 : Évolution de l'indice de croissance des apex au cours de la saison pour les modalités de Pinot Noir (production personnelle).	70
Figure 25 : Teneur en azote des pieds en fonction du porte-greffe pour chaque parcelle d'essai (production personnelle).	72
Figure 26 : Graphique permettant la validation du modèle Anova pour les mesures d'azote foliaire au N-tester (production personnelle).	72
Figure 27 : Diamètre des rameaux en mm en fonction de la modalité de porte-greffe (production personnelle).	74
Figure 28 : Longueur des rameaux en cm par modalité de porte-greffe et de parcelle (production personnelle).	74
Figure 29 : Mortalité des complants sur l'année 2023 par parcelle et par porte-greffe (production personnelle).	76

Table des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques d'enracinement des porte-greffes dans un sol sableux de Montpellier SupAgro (Ollat et Bordenave d'après les données de Branas et Vergnes 1957). + : Important. = : Moyen. - : Faible.	42
Tableau 2 : Assimilation des principaux éléments minéraux (potassium et magnésium) en fonction du porte-greffe (Cordeau 1998).	44
Tableau 3 : Tableau récapitulatifs des principales caractéristiques des porte-greffes à l'étude dans l'essai. (Pl@ntgrape; Branas et Vergnes 1957; Cordeau 1998).	46
Tableau 4: Description des sols de l'étude à partir des analyses de sols (Production personnelle).	50
Tableau 5 : Répartition des porte-greffes et greffons dans les sept parcelles d'essai.	51
Tableau 6 : Répartition des pieds dans la parcelle de Pernand-Vergelesses Caradeux pour le porte-greffe 1103P (production personnelle).....	62
Tableau 7 : Temps nécessaire à une personne pour effectuer les comptages et l'entretien des pieds au cours de l'année 2023 (production personnelle).	64
Tableau 8 : Résultats du test de Kruskal Wallis sur les données du pourcentage de débourrement par parcelle. n.s. = non significatif (production personnelle).....	66
Tableau 9 : p-value de test post-hoc de Tuckey sur les données de longueur et de diamètre du rameau (production personnelle). * = différence significative.	75

Introduction

Le vignoble bourguignon, riche de ses climats classés au patrimoine mondial de l'UNESCO, montre sa volonté de protéger et de pérenniser son vignoble. De nombreux programmes expérimentaux sont mis en place par l'interprofession et les différentes associations techniques de la vigne. Les problématiques soulevées sont tant régionales que nationales, voire internationales. On peut notamment y relever le dépérissement du vignoble ou les problématiques liées aux changements climatiques.

Le domaine Chanson, implanté à Beaune depuis 1750, est l'une des maisons de négoce les plus anciennes de Bourgogne. Propriétaire d'un parcellaire d'exception de 43 ha, il se compose essentiellement de Premier Cru de la Côte de Beaune. Le dépérissement du vignoble étant visible à l'échelle de certaines parcelles, un plan d'arrachage a été réfléchi à l'échelle du domaine à partir de 2024. En amont des premières replantations et pour la future pérennité du vignoble, le domaine souhaite faire les meilleurs choix possibles en termes de matériel végétal pour l'avenir. Ne pouvant pour l'instant varier l'encépagement pour rester en accord avec les cahiers des charges des appellations, le levier envisagé est le porte-greffe. Sachant qu'une parcelle de vigne est plantée pour produire un maximum d'année, cette réflexion préalable est primordiale à la pérennité de son vignoble.

Le réchauffement climatique engendre de nombreux problèmes notamment dus à la hausse des températures et à la baisse des débits en eau. Les nombreuses périodes de sécheresse vécues depuis quelques années avec des pluviométries variables et des risques de gels accrus au printemps, ne font que renforcer la volonté d'adapter la culture de la vigne à ces nouvelles problématiques de production. Les conséquences du changement climatique peuvent avoir des effets sur les rendements, particulièrement visibles en 2021 avec le gel de printemps ou les périodes de sécheresse prolongées des dernières années.

De plus, il existe actuellement une littérature scientifique récente succincte sur ces aspects. De nombreuses études des caractéristiques de porte-greffes ont été établies à la suite de la crise phylloxérique mais ne reflètent pas les conditions que l'on retrouve aujourd'hui, notamment vis-à-vis de la sécheresse présente dans l'ensemble des vignobles de France à la suite des changements climatiques. Mais de nombreux programmes expérimentaux tels que GreffAdapt, RootBourgogne ou GreffBourgogne ont été lancés depuis et permettraient d'obtenir plus de résultats dans les prochaines années. Leur but est de collecter des données au champ pour différents porte-greffes inscrits au catalogue ou non dans plusieurs régions et pour différents types de sols.

C'est dans ce contexte que Mme Savoye Justine, Chef de culture au Domaine Chanson Père & Fils, m'a ainsi proposé de réaliser mon stage de fin d'étude sur la problématique des porte-greffes en mettant en place une étude comportementale des porte-greffes en Bourgogne au sein du parcellaire du domaine. Le but est de répondre à la question suivante : Quels sont les porte-greffes d'avenir en Bourgogne adaptés au terroir du domaine ?

Pour répondre à cette question, il a fallu choisir des porte-greffes et des parcelles d'intérêt parmi ce qui avait pu être planté au sein du domaine. Etant le point de départ d'une étude menée sur plusieurs années, les pieds ont été identifiés et marqués. Ils ont pu faire l'objet d'un suivi pour cette première année permettant essentiellement de tester les protocoles pour les années à venir. Des premiers résultats et des premières conclusions ont pu être tirés malgré la jeunesse des plants.

1. Bibliographie

1.1. La Bourgogne viticole

1.1.1. Histoire de la région

Roger Dion a évoqué la présence d'un vignoble en Bourgogne dès l'époque gallo-romaine avec la présence de vignes depuis le 1er siècle à Gevrey-Chambertin. La vigne est donc présente dès l'antiquité dans cette région. En 1788, la Bourgogne comptait 80 000 ha de Pinot noir. Il y a eu un fort déclin au moment de la crise phylloxérique passant de 331 000 ha en France dont plusieurs milliers en Bourgogne en 1852-1860 à quelques hectares restant dans la région après la crise. Le greffage à partir de plants fins de Pinot Noir par exemple et de sélection locale a permis de reconstruire le vignoble (Boidron, 2016).

1.1.2. Caractéristiques de la région

La Bourgogne se divise en cinq grandes aires géographiques : le Chablis, Grand Auxerrois et Châtillonnais au nord, la Côte de Beaune, la Côte de Nuit, la Côte Chalonnaise ainsi que le Mâconnais plus au sud (BIVB). Le climat y est principalement décrit comme océanique à tendance continentale (Madelin et *al.* 2010). C'est un « carrefour climatique » avec des influences multiples : semi-continentale, méridionaux et encadré de montagnes (Dubrion, 2010). Les coteaux situés entre 200 et 500 m d'altitude ont des pentes plus ou moins fortes et sont exposés est et sud-est ce qui leur permet un ensoleillement suffisant à la maturité des raisins ainsi que des conditions moins gélives en hiver (BIVB). L'insolation moyenne est de 1400 heures, ce qui correspond à des valeurs méridionales. Les précipitations moyennes sont de 650 à 750 mm/an. Il peut y avoir une forte variabilité de celles-ci (Dubrion, 2010). La particularité de la région repose sur le nombre important d'appellations régionales, communales, 1er Cru ou Grand Cru. Chaque appellation est définie par son Climat. Les « Climats » de Bourgogne désignant des parcelles définies par leurs conditions pédoclimatiques sont classées au patrimoine mondial depuis 2015 (UNESCO).

La densité de plantation est importante avec en générale 10 000 pieds hectares. Le système de conduite est bas, les pieds sont proches du sol à environ 50 cm. Ils sont taillés en guyot simple. La densité et le système de conduite n'est pas le plus adapté face au changement climatique, en effet d'après *Van Leeuwen et al.*, il est préférable d'avoir des troncs plus haut car la température est plus élevée proche du sol (Van Leeuwen et *al.* 2019).

L'encépagement est limité à quelques cépages emblématiques de la région. Il est principalement constitué de Chardonnay à 51 %, de Pinot Noir à 40 % et d'Aligoté à 6 %. Ces trois cépages représentent 97 % de la surface en Bourgogne (BIVB, 2022). Ce sont les cépages principaux autorisés dans le cahier des charges de l'appellation Bourgogne. Les autres cépages accessoires sont autorisés dans certaines proportions uniquement (DGCCRF, 2017).

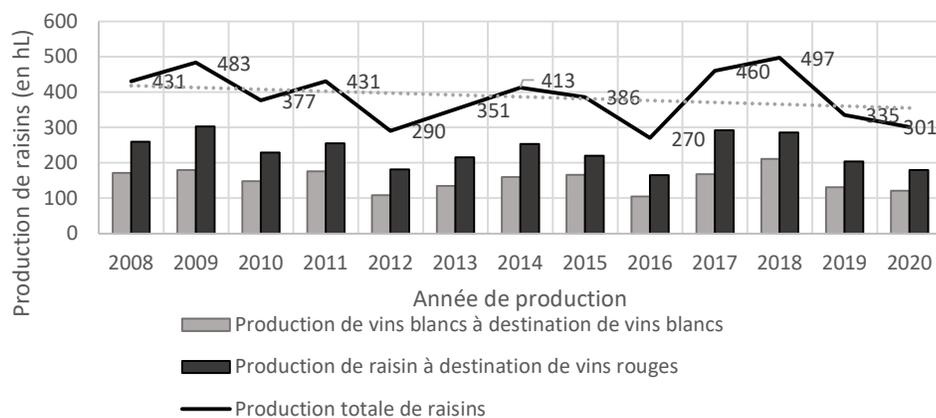


Figure 1 : Évolution de la production de raisin en Côte d'Or entre 2008 et 2020. Production personnelle (FranceAgriMer, s. d., 2019).

	Août-décembre 2022/ août-décembre 2021	Août-décembre 2022/ moyenne sur 5 dernières années
	%	%
Tous vins d'appellation	- 3	4
Bordeaux*	- 5	- 18
Bordeaux rouges*	- 7	- 21
Bordeaux blancs*	9	14
Côtes-du-Rhône	- 7	- 7
Anjou	- 5	- 3
Alsace	- 3	2
Provence	- 2	- 6
Languedoc	0	- 3
Bourgogne	0	48
Roussillon	4	0

* Les données des mois d'octobre, novembre et décembre 2022 sont issues d'imputations
Source : Insee

Figure 2 : Évolution des prix des vins sur le marché par appellation en France (Agreste, 2023).

1.1.3. Données économiques

Aujourd'hui, la surface totale en Côte d'Or est de 10 032 ha de vignes pour les raisins de cuve (Agreste) et 30 000 ha pour l'ensemble de la région (BIVB, 2022). 286 000 hL de vin rouge et 211 000 hL de vin blanc sont produits en Appellation d'Origine Contrôlée en 2018 en Côte d'Or. Les AOC représentent 95% de la production en Côte-d'Or (FranceAgriMer, 2019).

Les rendements depuis 2008 tendent à diminuer lentement (Figure 1). Ces dernières années à la suite d'évènements climatiques tels que le gel ou la sécheresse, les rendements sont très fluctuants d'une année à l'autre. En 2021, par exemple, un gel de printemps a détruit une grande partie des récoltes notamment pour le chardonnay. Les vins de Bourgogne restent pour autant très demandés, les prix ont augmenté de 48 % sur la fin d'année 2022 par rapport au prix moyen des cinq dernières années (Figure 2). La tendance générale des prix est tout de même à la baisse depuis octobre 2022 (Agreste, 2023). L'intérêt économique du vin dans cette région est important, pouvoir maintenir une viticulture durable et viable face au changement climatique est primordiale.

1.2. Le changement climatique en Bourgogne

1.2.1. Le changement climatique à l'échelle mondiale

Par définition, le réchauffement climatique est la modification du climat de la Terre, caractérisée par un accroissement de la température moyenne à sa surface (Larousse).

Le dernier rapport du GIEC (Groupe intergouvernementale d'experts sur l'évolution du Climat) publié en mars 2023 rappelle que la température de la surface du globe s'est élevée de 1,1 °C par rapport à la période pré-industrielle. Quels que soient les scénarios d'émission, le GIEC estime que le réchauffement de la planète atteindra 1,5 °C dès le début des années 2030. Ce rapport est plus alarmant concernant la fréquence des risques climatiques comme des vagues de chaleur, des précipitations extrêmes, la sécheresse pour un niveau d'augmentation identique à celui décrit dans le rapport précédant datant de 2014 (Mukherji et al. 2023 ; « Publication du 6e rapport de synthèse du GIEC » 2023).

1.1.1. Changement climatique à l'échelle de la Bourgogne

1.1.1.1. Augmentation de la température

D'après *Richard et al.*, les conséquences du changement climatique et notamment de l'augmentation des températures ne sont pas identiques à l'échelle planétaire. Le réchauffement observé en France est deux fois plus important comparé à la moyenne planétaire (Richard et al., 2014). Par exemple, à Bordeaux la température a augmenté d'environ 2°C sur les 70 dernières années (van Leeuwen et al., 2019). La Bourgogne ne déroge pas à la règle et enregistre une augmentation de la température de 1,1°C depuis 1987 (Figure 3) (Castel et al., 2014; Richard et al., 2014; Tissot et al., 2016), ce qui est proche de ce qui a été observé pour la France (Brulebois et al., 2015). 1987 marque une rupture brutale dans

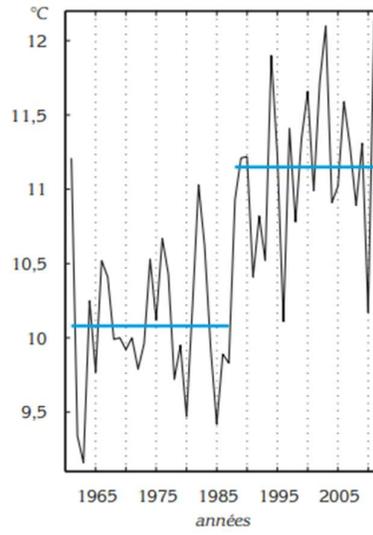


Figure 3 : Évolution de la température moyenne annuelle en Bourgogne entre 1961 et 2011 (Richard et al. 2014).

l'évolution des températures (Tissot et al., 2016). Le contraste de température sur les températures maximales est d'autant plus élevé au printemps, en été et en journée (Richard et al., 2014; Tissot et al., 2016). Les augmentations de températures permettent un cumul de degré-jour plus important et plus précoce. La phénologie de la vigne est impactée et le cycle végétatif est légèrement avancé. Les adaptations possibles citées par *van Leeuwen et al.* (2019) à des températures plus élevées sans changer la localisation du vignoble sont les suivantes :

- Choix de cépages ou clones avec des maturités plus tardives ;
- Choix de porte-greffes allongeant le cycle de la vigne ;
- Augmentation de la hauteur des troncs pour éloigner de la chaleur du sol ;
- Réduction de la surface foliaire pour adapter le ratio feuille fruit ;
- Pratique d'une taille tardive (van Leeuwen et al., 2019).

1.1.1.2. Modification de la pluviométrie

En suivant l'évolution des températures et de la pluviométrie depuis le début du XX^{ème} siècle jusqu'en 1980, il a été remarqué que les deux sont complémentaires et évoluent dans le même sens. Cela correspondrait au mode climatique normal décrit par *Tardy* (1986), c'est-à-dire un mode chaud et humide et un mode froid et sec. Dans 25 % des cas, on parle de mode anormal, c'est-à-dire chaud et sec. Les crises climatiques sont des années ou des périodes trop sèches ou trop humides souvent liées à ce mode anormal. La hausse de la concentration en CO₂ a amplifié ces crises (*Tardy* 1986 ; *Tardy et Probst* 1992 ; *Probst* 1992). On note aujourd'hui que les années décrites comme anormales sont de plus en plus fréquentes.

Contrairement à ce qui a été montré par *Tardy et Prost* (1992), les précipitations n'augmentent pas systématiquement. Le cycle de l'eau est modifié et s'accélère. La capacité de l'atmosphère à contenir de la vapeur d'eau augmente et l'évaporation augmente (Richard et al., 2019). Le projet de recherche-action HYCCARE Bourgogne permet de modéliser les effets du changement climatique en Bourgogne et notamment sur la problématique de ressource en eau. D'après *Tissot et al.* (2016), la rupture observée pour les températures ne se retranscrit pas sur les pluviométries qui n'ont que très peu évoluées depuis 1987. On note une augmentation de 25 mm sur les cumuls annuels. Les modélisations du climat pour le siècle à venir simulent un climat plus chaud mais tout aussi humide avec une hausse des pluviométries. Pourtant les débits seront de plus en plus faibles. De fortes diminutions des débits sur les bassins hydrologiques bourguignons sont déjà observées notamment durant la période estivale. En juin, il a été mesuré moins 40 % de débit par rapport au débit moyen pour la même période les années précédentes. De même, en août et en septembre, la diminution des débits est respectivement de moins 23 % et moins 13 % (Tissot et al., 2016).

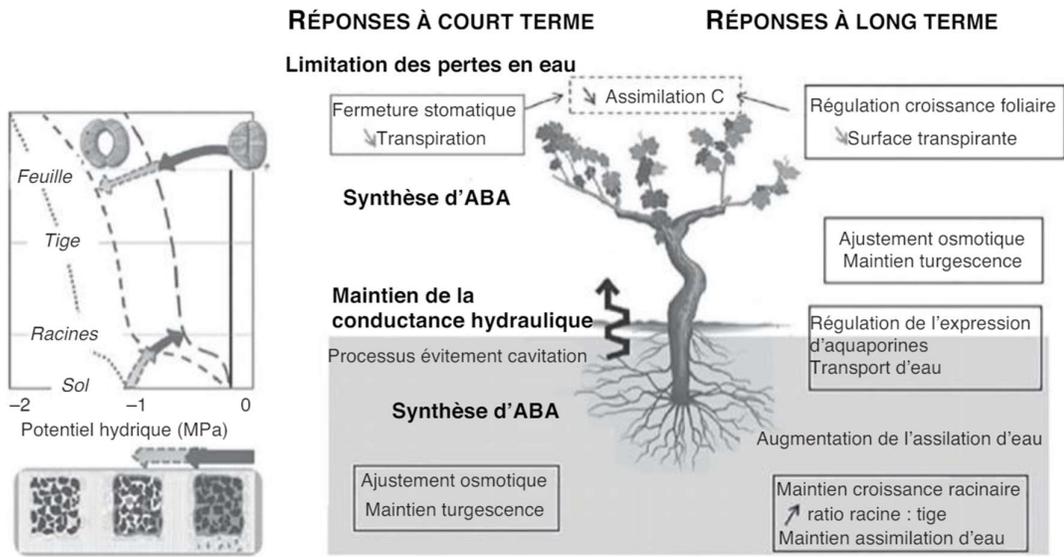


Figure 4 : Représentation simplifiée des flux d'eau dans le continuum sol-plant-atmosphère et des réponses physiologiques de la vigne sous déficit hydrique à court et long terme (Carbonneau & Torregrosa, 2020; Simonneau et al., 2017).

1.1.1.3. Le risque de gel

Le risque de gel printanier est plus important du fait de l'avancée des stades phénologiques avec l'augmentation des températures. Des débourrements plus précoces rendent la vigne vulnérable au gel de sortie d'hiver. Il a été montré que les stades phénologiques de printemps et d'été ont avancé d'environ 2,5 jours par décennies (Menzel et al., 2006). Dans une étude de cas portant sur deux localités de la basse vallée du Rhône suisse, le stade débourrement a été avancé entre 7 et 9 jours entre la période de référence (1961-1990) et la modélisation future (2021-2050). Cette étude a aussi démontré que les risques de gels pourront soit augmenter à cause des débourrements plus précoces, soit diminuer grâce à des températures très froides plus rares à l'avenir. Ces conséquences du réchauffement climatique sont dépendant de la localité des sites (Meier et al., 2018).

De même que cité précédemment, l'utilisation de porte-greffes retardant le cycle de la vigne peut être intéressant (van Leeuwen et al., 2019). De plus, il semblerait que la vigueur des porte-greffes puisse avoir un impact sur la productivité de la vigne après avoir subi les dégâts du gel. Avec une gelée de printemps ayant détruit les jeunes rameaux, les porte-greffes puissants vont donner une production supérieure provenant du développement de contrebourgeons plus productifs (Cordeau, 1998).

1.3. Effet de la sécheresse sur la vigne

1.3.1. L'alimentation hydrique de la vigne

Lorsque la plante est bien irriguée, le flux de transpiration réelle du couvert est relié à la demande climatique. Si ce n'est pas le cas, la transpiration est dépendante de l'état hydrique du sol. Des régulations physiologiques ont lieu au niveau de la fermeture des stomates puis de la croissance végétative qui influe sur la surface transpirante en cas de sécheresse (Figure 4) (Carbonneau & Torregrosa, 2020).

La sensibilité à la sécheresse est dépendante du sol. Dans des sols superficiels, caillouteux ou présentant des horizons tassés, le développement du système racinaire peut être réduit et ne permet pas une alimentation suffisante en eau en cas de déficit hydrique (Cordeau, 1998). La concurrence accrue avec des enherbements non contrôlés peuvent augmenter les risques de stress hydrique chez la vigne (Cordeau, 1998).

L'implantation et le fonctionnement du système racinaire est à ne pas négliger pour le suivi de l'état hydrique de la vigne. L'indice foliaire seul ne suffit pas à raisonner la consommation en eau de la vigne. Les jeunes vignes ont une dynamique journalière d'assèchement plus importante que les vignes adultes car leur système racinaire est différent et souvent moins bien développé (Deloire et al., 2006).

En cas de contrainte hydrique, des mécanismes naturels de résistance à la sécheresse se mettent en place chez la vigne. Selon une étude de *Serra et al.*, le mécanisme d'adaptation des feuilles sur cépage « Pinotage » aux contraintes hydriques est structurel. Au cours de la croissance des feuilles, il est observé une réduction de la taille des pores (liée à la taille des stomates) pour réduire la perte en eau des plantes (Serra et al., 2017).

1.3.2. Les principaux symptômes d'un déficit hydrique

La sécheresse peut avoir différents degrés d'intensité sur la vigne. Des déficits légers peuvent être favorables à la qualité des raisins et donnent des vins équilibrés et fruités. Plus le potentiel hydrique est bas (au-delà de -9 mbar), plus les vins sont tanniques et concentrés (Deloire et al., 2006). Un déficit hydrique a toujours un effet positif indirect sur la concentration des composés phénoliques par la réduction de la taille de la baie. Il peut aussi avoir un effet direct sur la composition de certains composés phénoliques en fonction du type de composés, de la période où a lieu le stress et du degré de déficit hydrique (Ojeda et al., 2002). Cependant, il peut être préjudiciable sur le rendement et la qualité des raisins car un déficit hydrique sévère peut affecter la taille des baies et provoquer des arrêts de maturation (Cordeau, 1998).

Dans des cas plus graves, les feuilles de la base des rameaux prennent une coloration jaunissante puis une teinte terne avec des reflets métalliques entraînant jusqu'à la défoliation (Champagnol, 1984).

1.3.3. Les moyens d'adaptation possibles au vignoble

Champagnol explique que la lutte contre la sécheresse permet soit d'extraire du sol davantage d'eau, soit limiter l'évaporation et éventuellement la transpiration. Les plus importantes sont celles à la mise en place de la parcelle avec le choix du porte-greffe, du greffon, de la densité et de la fumure de fond. Au cours de la saison, les pratiques telles que le travail du sol, la taille, la hauteur de tige et la fertilisation sont également à prendre en compte dans la lutte contre la sécheresse (Champagnol, 1984).

De même, d'après *Van Leeuwen et al.*, il existe plusieurs adaptations possibles à la sécheresse :

- Les porte-greffes résistants à la sécheresse ;
- Des cépages résistants à la sécheresse ;
- Le système de conduite avec le système de taille ;
- La densité de plantation ;
- Les capacités de rétention des sols via le taux de matière organique ;
- L'irrigation (van Leeuwen et al., 2019).

L'irrigation est une solution pratique pour ne pas avoir à modifier les caractéristiques de notre vignoble. Il permet de conserver le même encépagement et système de taille, et ainsi conserver les typicités actuelles des régions viticoles. Elle est aujourd'hui déjà utilisée dans le sud de la France, mais peut à l'avenir causer des problèmes de ressources en eau. En effet, les débits en eau des rivières tendent à diminuer dans les bassins bourguignons (Tissot et al., 2016). La ressource en eau a tendance à se rarifier, c'est pourquoi d'autres solutions doivent être explorées, telles que le matériel végétal et plus spécifiquement les porte-greffes.

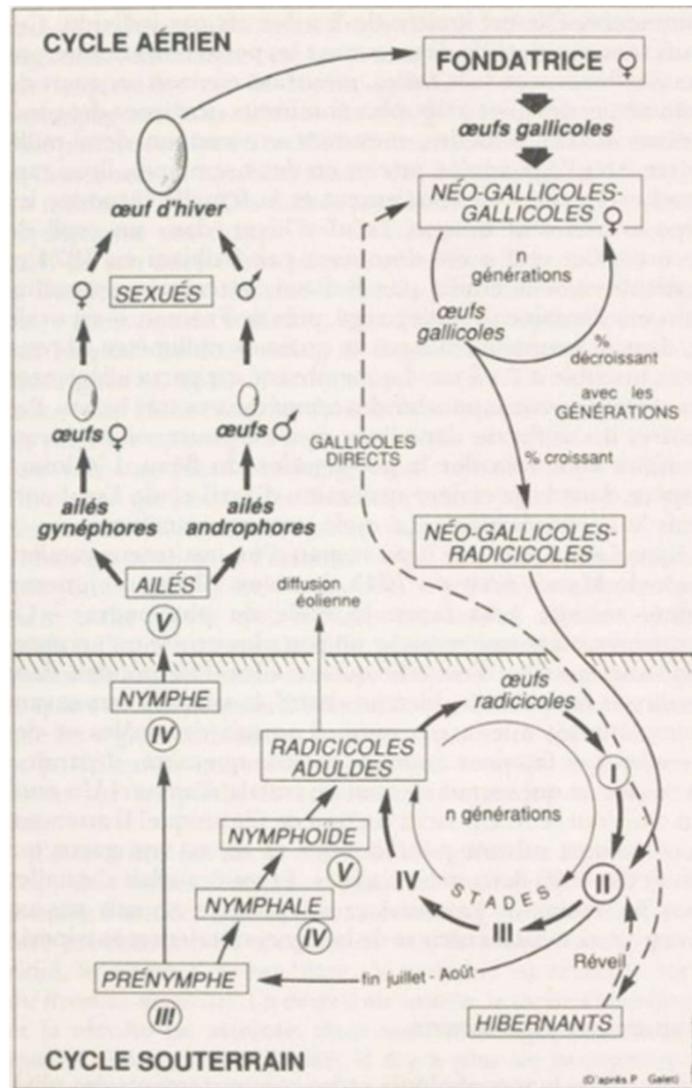


Figure 5 : Schéma générale du cycle de reproduction du phylloxera comprenant le cycle souterrain et le cycle aérien (Garrier, 1989).

1.4. La crise phylloxérique et le début du greffage

1.4.1. La crise phylloxérique

La culture de la vigne a connu en Europe plusieurs crises telles que la pyrale ou l'oïdium, mais la plus dévastatrice fut celle du phylloxera. Le responsable, un petit parasite nommé *Phylloxera vastatrix*. Le phylloxera fut observé la première fois en France en 1863 dans la région du Gard, mais ne sera identifié que bien plus tard par Planchon, Bazile et Sahut en 1868 (Pouget, 1990). Deux formes ont été identifiées : la forme gallicole présente sur les feuilles et la forme radicole présente sur les racines et responsable du dépérissement de la vigne. Le cycle biologique du phylloxera est complexe et ne simplifie pas la compréhension du mode de fonctionnement de l'insecte (Figure 5) (Garrier, 1989). Connaissant maintenant l'objet du dépérissement, des solutions furent imaginées mais la lutte contre le phylloxera se prolongea pendant encore plus de 25 ans (Pouget, 1990).

De nombreuses solutions furent imaginées pour lutter contre le phylloxera telles que l'utilisation d'insecticides : le sulfure de carbone et le sulfocarbonate de potassium. Ces produits en plus d'être très toxiques, ne sont pas curatifs. D'ores et déjà la résistance des vignes américaines a été citée par Laliman en 1969 au Congrès des Agriculteurs de France à Beaune sans que la possibilité du greffage soit évoquée. D'autres solutions sont testées mais ne peuvent pas être étendues à l'ensemble du vignoble français. Par exemple, la plantation de vignes dans les sols sableux contenant moins de 3 % d'argile exempt de phylloxera ou la submersion pour asphyxier le ravageur se sont répandues (Pouget, 1990).

C'est Laliman qui proposa en premier d'utiliser les espèces américaines comme système racinaire des *V. vinifera* européens par le greffage. Les entomologistes ont commencé à travailler sur la résistance des vignes américaines au phylloxera tel que *Millardet* qui décrit ces espèces et leur résistance. Il est le premier à décrire que seules certaines espèces sont résistantes telles que *V. riparia*, *V. rupestris*, *V. cordifolia*, *V. cinerea* (Millardet, 1876). Ces espèces américaines présentent cependant un défaut, elles ont une très mauvaise tolérance au calcaire, là où les vignes européennes y sont tolérantes, voire résistantes. C'est alors qu'est introduit l'espèce *V. berlandieri* provenant de sols très calcaires au Texas et décrite par *Planchon* en 1880 puis par *Viala* lors de sa mission en Amérique en 1887. Le premier réflexe a été de créer des hybrides avec des espèces européennes avant de créer des porte-greffes résistants à la chlorose ferrique. Millardet fut le premier en croisant *V. berlandieri* avec le chasselas à obtenir le porte-greffe 41 B encore utilisé aujourd'hui (Cordeau, 1998; Pouget, 1990). De nombreux hybrideurs ont travaillé pour créer la diversité de porte-greffe que l'on connaît actuellement.

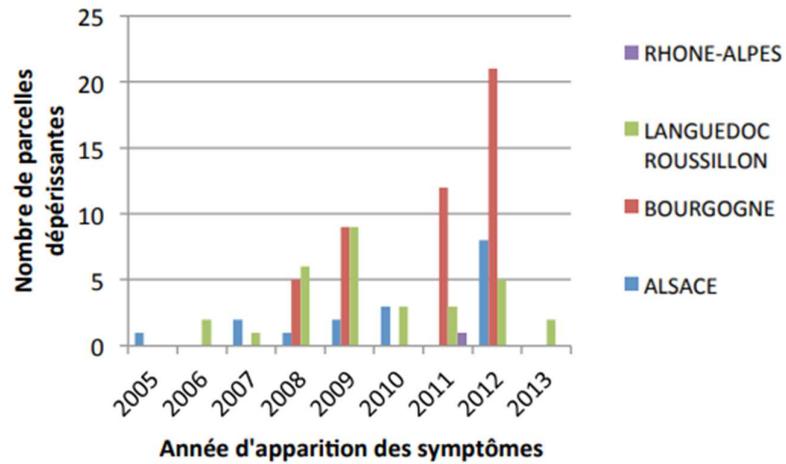


Figure 6 : Nombre de parcelles touchées par le dépérissement lié au porte-greffe 161-49C en fonction de l'année d'apparition des premiers symptômes (Benatia, 2014; Torregrosa et al., 2011).

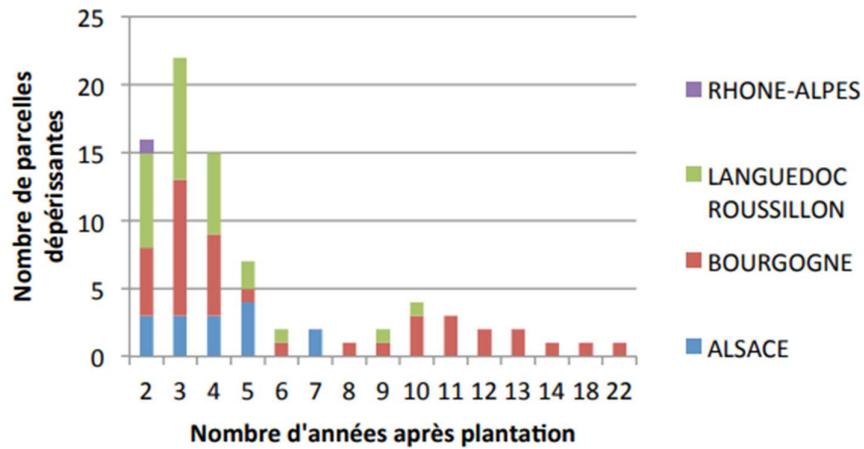


Figure 7 : Distribution des parcelles présentant un dépérissement en fonction du nombre d'année après plantation (Torregrosa et al., 2011).

1.4.2. Le greffage de la vigne

Le greffage peut être soit réalisé en plein champ sur des pousses de l'année précédente, on parle alors de greffe en place, soit réalisé sur table (Cordeau, 1998; Pouget, 1990). Il existe trois procédés de greffage principaux : la greffe anglaise, les greffes en fente et la greffe oméga. Cette dernière a été introduite en 1974. Elle est la plus répandue chez les pépiniéristes à l'heure actuelle (Galet, 2000).

Une filière de pépiniéristes a dû se mettre en place pour fournir des plants aux viticulteurs. En 2020, elle atteignait 880 professionnels pour plus de 200 millions de plants produits chaque année (Cahurel et al., 2023). Le plan dépérissement vignoble consacre une partie de ses actions à la filière des pépiniéristes. En effet, les plants de vignes malgré les mesures déjà mises en place, ne présentent pas toujours la qualité nécessaire et des problèmes sur les jeunes pieds sont toujours constatés notamment au point de greffe. Les plants commercialisables sont sélectionnés selon deux critères : présence de 3 racines minimum et résistance au test du coup de pouce. Le développement de l'utilisation de l'imagerie à rayons X est en cours de recherche pour évaluer au mieux la qualité de la greffe (Aubert et al., 2021).

1.5. Cas des porte-greffes en Bourgogne

1.5.1. Le dépérissement lié au porte-greffe 161-49C

Les surfaces plantées en 161-49C représentaient 11 % de la surface plantée en Bourgogne en 2003 (Prêtet-Lataste, 2021). Sur le domaine environ 28 ha sont encore plantés avec ce porte-greffe ce qui représente 65 % de la surface totale.

Depuis plusieurs années maintenant (Figure 6), des cas de dépérissement très précoce de jeunes vignes sont apparus. D'après la Figure 7, des dépérissements sont majoritairement observés entre la deuxième et la troisième année après plantation. D'abord dans le Languedoc puis dans d'autres régions de France où ce porte-greffe est utilisé comme en Charentes et en Alsace. Aujourd'hui, la Bourgogne très utilisatrice de ce porte-greffe en subit également les conséquences sur jeunes vignes et sur vignes en place. (Torregrosa et al., 2011)

Les principaux symptômes visibles sont des diminutions de vigueur et de baisse de production conduisant à la mort lente du pied dans le cas du dépérissement. Le dépérissement peut être rapide avec une perte du feuillage, on parle alors de folletage. Des cannelures sont observées sur les pieds sujet au dépérissement (Torregrosa et al., 2011). Ces symptômes sont majoritairement visibles sur le porte-greffe et peu sur le greffon (Spilmont et al., 2016). Sont également observables les symptômes de thyllose connus depuis longtemps pour ce porte-greffe (Cordeau, 1998; Torregrosa et al., 2011). Un dysfonctionnement cambial serait à l'origine du dépérissement même si la cause reste encore indéterminée. Le phénomène est décuplé sur des sols soumis à une très forte sécheresse ou sur des sols hydromorphes. Il a été également évoqué que les clones 176 et 198 du porte greffe 161-49C seraient plus sensibles à ces phénomènes de dépérissement (Torregrosa et al. 2011 ; BIVB).

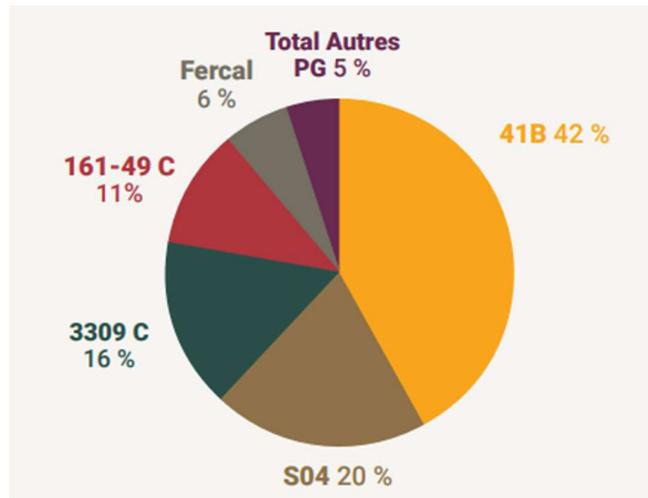


Figure 8 : Répartition des porte-greffes plantés en 2003 en Bourgogne. Source des données, FranceAgriMer (Prêtet-Lataste, 2021).

Il ne semble pas y avoir de moyen curatif pour éliminer le dépérissement. Les parcelles touchées doivent être arrachées et l'utilisation de ce porte-greffe est très déconseillée.

1.5.2. Une faible diversité de porte-greffes utilisés

La collection de Vassal comprend 430 porte-greffes (Equipe Vassal, 2016). 31 de ces porte-greffes sont inscrits au Catalogue national (Pl@ntgrape). La diversité de porte-greffes cultivés en France est relativement faible, de plus 5 porte-greffes uniquement représentent 95 % des surfaces en Bourgogne (Figure 8) (Prêtet-Lataste, 2021). Parmi cette sélection de porte-greffes, peu sont connus pour être résistants à la sécheresse.

1.5.3. Stratégie de choix des porte-greffes

L'un des principaux critères de choix d'un porte-greffe est sa compatibilité avec le sol et notamment sa résistance à la chlorose. Des indices tels que le calcaire actif et l'indice de pouvoir chlorosant proposés par *Pouget et Ottenwaelter* (1978) sont calculés pour classer la résistance au calcaire des différents porte-greffes. La chlorose peut être une maladie physiologique grave entraînant une réduction quantitative et qualitative de la récolte, en même temps qu'une diminution de la vigueur des plantes (Pouget & Ottenwaelter, 1978).

Il existe une corrélation négative entre la vigueur des cepes et la qualité des raisins obtenus car la vigueur trop importante entraîne une concurrence importante sur l'utilisation des sucres (Cordeau, 1998). L'optimum de vigueur est à réfléchir en fonction du sol. Les sols riches nécessiteront plutôt des porte-greffes conférant une vigueur faible et inversement pour les sols pauvres (Pouget, 1987). De ce fait, les vigueurs conférées recherchées en Bourgogne et plus spécifiquement au sein du domaine Chanson sont rarement élevées. Il faut tout de même noter que des vigueurs trop faibles ou des déséquilibres nutritionnelles peuvent également impacter la qualité des raisins (Cordeau, 1998).

La nature et la profondeur des sols sont aussi à prendre en compte. Certains porte-greffes comme le 3309C ou le Fercal sont plus adaptés à des sols profonds (Pl@ntgrape) alors que d'autres comme le 110R sont adaptés à des sols superficiels dans lesquels la contrainte hydrique est importante. La tolérance à la sécheresse mais aussi à l'humidité sont des paramètres importants à ne pas négliger (Cahurel et al., 2023). Des problèmes d'affinité entre le porte-greffe et le greffon sont parfois observés, il faut être prudent sur les incompatibilités dont on ne connaît pas toujours l'origine (Galet, 2000).

1.6. Porte-greffes et résistance à la sécheresse

Tout comme les cépages, les porte-greffes ont une sensibilité variable à la sécheresse. Certains comme le 140 Ru, le 110R ou le 1103P sont connus dans la littérature pour leur résistance élevée à la sécheresse. Au contraire, d'autres comme le 5BB, le 420A ou Riparia sont connus pour y être sensibles (Cordeau, 1998). Les facteurs physiologiques autres que la résistance au phylloxéra, la tolérance au calcaire et la facilité au greffage n'ont pas été directement pris en compte lors de la sélection des porte-greffes, y compris les schémas d'enracinement (Smart et al., 2006) ou la résistance à la sécheresse par exemple.

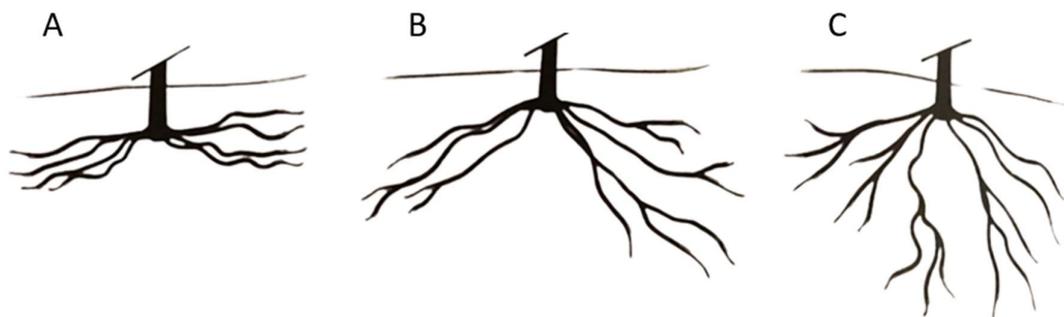


Figure 9 : Schéma théorique des catégories d'enracinement observées chez les porte-greffes (Crespy, 2015). A : Porte-greffe à enracinement horizontal type Riparia Gloire de Montpellier. B : Porte-greffe à enracinement oblique type Rupestris du Lot. C : Porte-greffe à enracinement vertical type 140 Ruggeri.

Le système racinaire contrôle l'absorption et le transport de l'eau vers les feuilles, tout en étant impliqué dans la détection et la signalisation du stress au greffon. Il joue un rôle central dans la régulation au stress hydrique (Prinsi et al., 2021).

1.6.1. Déterminisme génétique de la résistance à la sécheresse

La réponse de la plante à un déficit en eau peut être expliquée par un déterminisme génétique pour certains paramètres. En effet, d'après *Labarga et al.*, l'expression génétique des aquaporines permettant le passage de l'eau est régulée de façon positive chez les porte-greffes 1103P et 110R et inversement chez 161-49C plus sensible à la sécheresse (Labarga et al., 2023).

En conditions bien arrosés, les porte-greffes 1103P et 110R ont une influence sur le greffon via une photosynthèse nette, une conductance stomatique et conductance hydraulique plus importante que le porte-greffe 161-49C. Pourtant pour des conditions de stress hydrique, ces observations ne sont plus valables, de même que l'efficacité d'utilisation de l'eau. De plus, le porte-greffe n'aurait aucune incidence sur la densité stomatique mais il a été observé chez 1103P un taux d'ABA plus faible (Labarga et al., 2023). L'ABA étant une hormone régulant ici la fermeture des stomates. Les mêmes observations sont faites pour le porte-greffe M4 permettant une meilleure absorption de l'eau et un niveau de photosynthèse plus élevé (Prinsi et al., 2021). Les porte-greffes vigoureux seraient encouragés à garder leurs stomates plus ouverts, maximisant ainsi le taux de photosynthèse, tandis que les moins vigoureux feraient le contraire. Cela s'apparenterait à des comportements isohydriques des porte-greffes sensibles et anisohydriques pour ceux tolérants à la sécheresse (Labarga et al., 2023).

Le transcriptome de porte-greffe résistant est supérieur à ceux des autres porte-greffes. Les performances de ces porte-greffes peuvent être expliquées par trois régulations transcriptomiques qui concernent l'accumulation des sucres et de l'azote dans les racines, l'amélioration de potentiel osmotique et la régulation de la subérisation des racines (Yıldırım et al., 2018). En effet, la subérisation des jeunes racines est un phénomène commun en cas de déficit hydrique. Elle est liée à une diminution de la conductivité hydraulique (Gambetta et al., 2012). Elle est plus importante chez les porte-greffes sensibles à la sécheresse (Barrios-Masias et al. 2015).

1.1.1. Distribution racinaire

Traditionnellement, les porte-greffes étaient divisés en trois catégories en fonction de l'orientation de leurs racines dans le sol tel que décrit dans la Figure 9 (Guillon, 1905). Cependant, d'après Crespy, le schéma d'enracinement dépendrait préférentiellement du type de sol que de la génétique du porte-greffe. Un travail du sol au moment de la plantation permettrait d'avoir un enracinement vertical caractéristique d'une meilleure résistance à la sécheresse. Au contraire, d'après lui, la force de succion semble être un paramètre plus pertinent pour définir cette résistance. Les porte-greffes croisés avec *V. berlandieri* ont une

Porte-greffe	Poids des racines entre 0 et 1,25m	Racines superficielles	Racines profondes	Système racinaire
Riparia Gloire	-	=	+	Peu dense
Rupestris du Lot	=	=	=	Moyen
3309C	-	-	=	Peu dense
3306C	-	-	+	Peu dense
161-49	-	-	-	Peu dense
420A	+	+	-	Dense et superficiel
5BB	-	=	-	Peu dense
SO4	=	+	-	Moyen
99R	+	-	=	Dense
110R	+	+	-	Dense
41B	+	+	=	Dense
333EM	+	+	=	Dense
1616C	-	-	+	Peu dense
44-53	-	=	+	Peu dense
196-17	-	=	=	Peu dense

Tableau 1 : Caractéristiques d'enracinement des porte-greffes dans un sol sableux de Montpellier SupAgro (Ollat et Bordenave d'après les données de Branais et Vergnes 1957). + : Important. = : Moyen. - : Faible.

meilleure force de succion et sont plus résistants à la sécheresse que ceux croisés avec *V. riparia* (Crespy, 2015).

D'après l'article de *Smart et al.* portant sur les schémas d'enracinement des porte-greffes, seul le porte-greffe O39-16 montre une capacité d'enracinement plus profonde. Il suggère donc d'utiliser des caractéristiques autres que la profondeur et la largeur d'enracinement pour caractériser les propriétés des porte-greffes (Smart et al., 2006). Dans cette étude, les porte-greffes 101-14 Mgt et 110R avaient une plus grande densité de racines en profondeur que les autres porte-greffes examinés. 110R est connu pour être plutôt résistant à la sécheresse. La densité des racines plutôt que la profondeur d'enracinement peut être une différence clé entre les porte-greffes ayant des performances diverses en termes de croissance des greffons (Smart et al., 2006). *Branas et Vergnes* ont étudié la répartition des racines dans le sol ainsi que la densité racinaire comme résumé dans le Tableau 1. Ils ont observé des différences morphologiques entre les racines de *V. berlandieri* qui sont plus charnues et pénétrantes dans le sol et celles de *V. riparia* plus fines (Branas et Vergnes 1957; Ollat et Bordenave)

1.2. Les caractéristiques des porte-greffes et leur interaction avec le greffon

1.2.1. La vigueur conférée

La vigueur conférée par le porte-greffe est un paramètre essentiel de l'association entre le porte-greffe et le greffon, notamment en Bourgogne où la qualité recherchée est importante. Elle est définie comme le rythme et l'intensité de croissance du rameau (Carbonneau & Torregrosa, 2020). Dans des sols non limitants avec une bonne alimentation hydrique et minérale, le porte-greffe influence peu la puissance des souches. D'après un essai réalisé à Bordeaux rapporté par *Cordeau*, les résultats ont montré qu'il y avait peu de différence entre les porte-greffes. Même pour des porte-greffes connus pour exprimer chez le greffon des vigueurs différentes, les résultats n'étaient pas concluants. Par exemple, Riparia et SO4 qui présentent une puissance identique pour ce champ d'essai. Au contraire, il peut aussi arriver dans des sols peu fertiles qu'aucun porte-greffe n'exprime une puissance importante (Cordeau, 1998).

La vigueur peut être mesurée de différentes manières, mais le moyen le plus fiable et simple de l'estimer est par la mesure du poids des bois de taille. D'autres méthodes peuvent être envisagées au cours de la saison végétative au niveau de la canopée comme l'estimation de la surface foliaire (Carbonneau, 1976; Goutouly et al., 2006) ou le NDVI (Goutouly et al., 2006). Le NDVI ou Normalised Difference Vegetation Index permet de rendre compte de la proportion de lumière transmise qui n'est pas absorbée ou réfléchi par le feuillage dans une gamme de directions azimutales. C'est une méthode non destructive et moins fastidieuse comparée à l'estimation de la surface foliaire (Goutouly et al., 2006).

Porte-greffe	Potassium	Magnésium
101-14	Bonne	Moyenne
Riparia	Faible	Moyenne
SO4	Moyenne	Faible
41 B	Faible	Bonne
1103 P	Moyenne	Bonne
3309 C	Faible	Moyenne
5 BB	Moyenne	Moyenne
161-49 C	Moyenne	Bonne
Fercal	Bonne	Moyenne
44-53	Bonne	Faible
420 A	Faible	Moyenne
140 R	Faible	Bonne
99 R	Bonne	Moyenne
110 R	Bonne	Faible
Gravesac	Moyenne	Moyenne
G1	Faible	Bonne

Tableau 2 : Assimilation des principaux éléments minéraux (potassium et magnésium) en fonction du porte-greffe (Cordeau 1998).

La vigueur peut être également déterminée à l'aide de la croissance des rameaux. En effet, la vigueur de la plante se traduit dans la longueur et le nombre de mérithalles (CFPPA, 2006). Elle peut être appréciée par le taux de croissance du rameau principal ainsi que par le diamètre des métamères (Torregrosa et al. 2021).

La nutrition azotée est corrélée positivement avec l'expression de la vigueur (Van Leeuwen et al., 2000). Elle pourrait être une méthode alternative d'estimation de la vigueur à travers le statut azoté de la vigne. De plus, la fertilisation azotée est particulièrement efficace pour favoriser la croissance racinaire et donc augmenter les aptitudes à supporter la contrainte hydrique (Champagnol, 1984). Connaître le statut azoté de la vigne pourrait apporter des informations sur l'état de la plante.

1.2.2. La phénologie du greffon

Certains porte-greffes permettent de décaler légèrement la phénologie des greffons. C'est notamment le cas du 420A et du 41B qui induisent un léger retard au débourrement. Ce retard peut entraîner une répercussion positive en cas de gelées de printemps précoces. Avec le réchauffement climatique, comme il a été dit précédemment, les risques de gel de printemps peuvent augmenter (Cordeau, 1998). Il en est de même pour la maturation, retarder la date des vendanges à des périodes plus fraîches de septembre peut être bénéfique pour les raisins. Avoir un retard au débourrement ou sur la maturation peut donc être un avantage face au changement climatique. Les stades phénologiques sont déterminés à l'aide d'une échelle de phénologie comme celle décrite pour la vigne par *Lorentz et al.* en 1995 (Lorenz et al., 1995). Suivre la phénologie des greffons peut permettre de caractériser les porte-greffes.

1.2.3. Assimilation des éléments minéraux

Cordeau évoque des comportements divergents entre les porte-greffes vis-à-vis de l'assimilation de différents minéraux qui sont résumés dans le Tableau 2 (Cordeau, 1998). Les principaux éléments cités sont le potassium et le magnésium, qui peuvent entraîner des carences sur la vigne en cas de mauvaises assimilations. Le potassium intervient au sein de la plante dans de nombreux mécanismes et notamment ceux de la photosynthèse. De même, le magnésium entre dans la composition de la chlorophylle et joue un rôle important dans la photosynthèse (Gontier et Cahurel). D'autres minéraux peuvent également être à l'origine de carences. Les carences sont soit vraies, c'est-à-dire que l'élément n'est pas présent en quantité suffisante dans le sol, soit elles peuvent aussi être induites lorsque pour diverses raisons (sécheresse, pH du sol inapproprié, etc...) l'élément n'est pas assimilable (Ephytia).

1.3. Le matériel végétal à l'étude

Le Tableau 3 synthétise les principales caractéristiques des porte-greffes à l'étude ainsi que le 161-49C en comparaison qui était un porte-greffe très apprécié en Bourgogne pour ses aptitudes.

Porte-greffe	Parents	Année création	Vigueur conférée	Qualité des vins	Résistance sécheresse	Résistance humidité	Type de sols
3309C	Riparia x Rupestris	1881	Faible à moyenne	Qualitatif	Sensible	Sensible	Sols profonds, sablo-limoneux et peu calcaires
5BB	Riparia x Berlandieri	1896	Forte	Faible teneur en sucre et en polyphénols	Sensible	Résistant	Sols sableux
Gravesac	161-49C x 3309C	1962	Moyenne à forte	Qualitatif	Moyenne	Adapté conditions temporaires	Sols sableux ou graveleux
Fercal	Berlandieri x Vinifera	1959	Moyenne à forte, très variable	Qualitatif	Moyenne à bonne, résistant dans les sols profonds	Résistant (très moyenne, (Crespy, 2015))	Sols profonds et calcaires A préférer en cas d'humidité temporaire
333EM	Berlandieri X Vinifera	1883	Forte Faible les premières années	Qualitatif	Moyenne à très résistant	Bonne résistance	Peu profonds secs et calcaires
110R	Berlandieri x Rupestris	1902	Forte		Résistant	Très sensible	Sols secs, peu profonds et caillouteux
1103P	Berlandieri x Rupestris	1896	Forte		Résistant	Moyenne, tolère humidité de printemps	Adapté sols compacts
161-49C	Riparia x Berlandieri	1888	Moyenne	Qualitatif	Moyenne à bonne	Sensible	Sols profonds bien drainés

Porte-greffe	Calcaire actif	Absorption des minéraux	Répartition des racines	Système racinaire	Association PG/G	Remarques (Cordeau, 1998)
3309C	11%	Absorbe facilement le Mg et difficilement le K	Peu de racines superficielles, moyen de racines profondes	Peu dense	Bonne affinité avec le pinot	
5BB	20%		Peu de racines profondes	Peu dense		Retarde la maturité
Gravesac	15%	Problème d'absorption du P				Bonne affinité avec tous les cépages
Fercal	> 40%	Problème d'absorption du K				Peu montrer des difficultés de reprise au greffage
333EM	40%		Beaucoup de racines superficielles	Dense		
110R	17%	Problème d'absorption du Mg	Nombreuses racines superficielles	Dense	Signes d'incompatibilités avec le pinot	Reprise moyenne au greffage
1103P	17%	Absorbe correctement le Mg				Facilité d'enracinement
161-49C	25 %				Qualitatif avec le chardonnay	Problème de dépérissement important

Tableau 3 : Tableau récapitulatifs des principales caractéristiques des porte-greffes à l'étude dans l'essai. (PI@ntgrape; Branas et Vergnes 1957; Cordeau 1998).

1.3.1. *V. riparia* – *V. rupestris*

3309 C

Son nom complet est 3309 Couderc. Il a été obtenu par Georges Couderc en 1881. Il s'agit d'un croisement entre *Vitis riparia* et *Vitis rupestris*. Ce porte-greffe possède une bonne tolérance au phylloxera mais une sensibilité aux nématodes *Meloidogyne*. Il est moyennement adapté au sol calcaire, ne dépassant pas 11 % de calcaire actif. Peu adapté à la sécheresse, il se développe mieux dans des sols profonds et fertiles mais aussi dans des sols acides. Qualitatif pour la production de vins fins, il est très utilisé en Bourgogne. Il peut conférer une précocité au greffon (Galet 1988; PI@ntgrape).

1.3.2. *V. riparia* – *V. berlandieri*

5 BB

Son nom complet est Kober 5 BB. Il a été obtenu par Sigmund Téléki et Franz Kober en 1896. Il s'agit d'un croisement entre *Vitis berlandieri* et *Vitis riparia*. Il présente une résistance élevée au phylloxera et aux nématodes. Il peut résister jusqu'à 20 % de calcaire actif. Plutôt bien adapté aux conditions humides, il se plaît également en sol sableux. Il est connu pour conférer une vigueur très importante au greffon et retarde en partie la maturité et peut engendrer des phénomènes de coulure. Du fait de sa vigueur, il est souvent utilisé en co-plantation. Il est à privilégier pour les vignobles septentrionaux dans les côtes pauvres ne présentant pas de contrainte hydrique sévère (Galet 1988; PI@ntgrape).

1.3.3. *V. rupestris* – *V. berlandieri*

110 R

Son nom complet est 110 Richter obtenu en 1902 par Franz Richter. Il possède une bonne résistance au phylloxera mais une résistance moyenne aux nématodes. Il est moyennement adapté au calcaire et peut résister jusqu'à 17 % de calcaire actif. Il peut être sensible à un excès d'humidité. Sa tolérance à la sécheresse lui permet d'être adapté aux sols maigres, caillouteux et secs. Il confère une vigueur importante au greffon et a tendance à retarder légèrement la phénologie. Il faut être vigilant avec le Pinot car des incompatibilités ont été relevées (Galet 1988; PI@ntgrape).

1103 P

De son nom complet est 1103 Paulsen, il est obtenu en 1896 par Federico Paulsen. Il est issu d'un croisement *Vitis berlandieri* et *Vitis rupestris*. De même que le porte-greffe précédent, il présente une bonne résistance au phylloxera mais une résistance moyenne aux nématodes, voire une sensibilité vis-à-vis de *Meloidogyne arenaria*. *V. vinifera* – *V. berlandieri*. Il est très tolérant à la sécheresse et contrairement au 110R supporte des humidités printanières si elles ne sont pas excessives. Il confère également une vigueur importante (Galet 1988; PI@ntgrape).

1.3.4. *V. vinifera* – *V. Berlandieri*

333 EM

Son nom complet est 333 Ecole de Montpellier. Obtenu en 1883 par Gustave Foëx, il provient d'un croisement entre le Cabernet-Sauvignon et *Vitis berlandieri*. Plutôt bien adapté au sol calcaire, sa résistance au calcaire actif est de 40 %. Il fait partie des porte-greffes très bien adaptés à la sécheresse et aux excès temporaires d'humidité. Il se plaît dans des sols peu profonds, secs et calcaires. Il confère une vigueur et une fertilité élevée au greffon. La qualité des vins obtenus dans des conditions limitantes est bonne (Galet 1988; PI@ntgrape).

Sur le terrain, la vigueur peut être faible dans les premières années de plantation mais devient importante par la suite (J.-M. Néau, communication personnelle, 17 juillet 2023)

1.3.5. *V. vinifera* – *V. berlandieri* – *V. Acerifolia* (Solonis)

Fercal

Obtenu récemment par INRA de Bordeaux en 1959, c'est un croisement entre Berlandieri Colombard n°1 B (lui-même issu en réalité d'un croisement entre *Vitis berlandieri* et *Vitis vinifera* cv. Ugni blanc) et le 31 Richter (issu d'un croisement entre *Vitis berlandieri* et *Vitis longii*). Tolérant au phylloxera et aux nématodes, il possède également une très bonne résistance au calcaire (jusqu'à 40% de calcaire actif). Il est moyennement résistant à la sécheresse et est assez tolérant aux conditions humides au printemps si les sols sont suffisamment profonds. Des problèmes d'absorption du magnésium ont été identifiés. La vigueur conférée au greffon est moyenne à bonne, il permet d'obtenir des produits qualitatifs (Galet 1988; PI@ntgrape).

1.3.6. *V. riparia* – *V. rupestris* – *V. berlandieri*

Gravesac

Lui aussi obtenu tardivement en 1962 par l'INRA de Bordeaux, c'est un croisement entre 161-49 C (*Vitis riparia* et *Vitis Berlandieri*) et 3309 C (*Vitis riparia* et *Vitis rupestris*). Il est sensible aux nématodes. Il possède une résistance faible à moyenne au calcaire car peut résister jusqu'à 6 % de calcaire actif. Adapté aux sols acides, sableux et graveleux, il est également adapté aux conditions temporaires d'excès d'humidité. Il ne résiste que moyennement à la sécheresse. La vigueur conférée au greffon peut être élevée à moyenne (Galet 1988; PI@ntgrape).

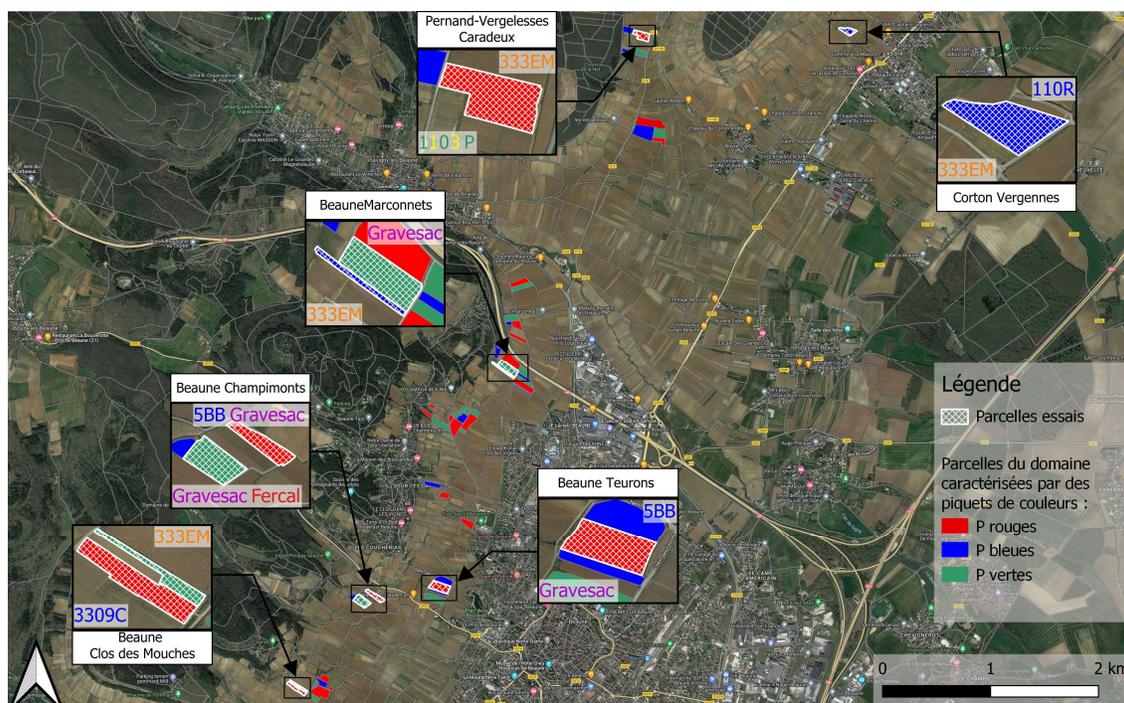


Figure 10 : Cartographie du parcellaire de l'essai sur le domaine Chanson complété par les porte-greffes étudiés sur chaque parcelle (réalisation personnelle).

	Argile	Limon	Sable	Type de sol	pH de l'eau	Calcaire actif	IPC
Champimonts DP51-69	35%	43%	22%	Als	8,26	4,0%	6
Champimonts DP80-89	35%	42%	23%	Als	7,46	4,0%	8
Beune Marconnets DP79-83	44%	25%	31%	Als	8,13	5,8%	6
Beune Mouches DM	34%	42%	24%	Las	7,9	3,8%	2
Corton Vergennes	43%	33%	24%	A	8,42	3,8%	3
Pernand-Vergelesses Caradeux	26%	38%	36%	Als	8,3	4,7%	
Teurons DP 82-86	16%	67%	17%	La	8,2	3,4%	

	Matière organique	C/N	K/Mg	CEC (méq/kg)	Date échantillon
Champimonts DP51-69	1,6%	6	0,42	168	10/2022
Champimonts DP80-89	1,5%	6	0,57	166	12/2022
Beune Marconnets DP79-83	1,7%	8	0,97	121	11/2021
Beune Mouches DM	1,4%	7	0,54	134	11/2021
Corton Vergennes	1,3%	6	0,55	73	10/2022
Pernand-Vergelesses Caradeux	1,0%	10,1	0,71	103	11/2019
Teurons DP 82-86	2,7%	10,9	0,75	236	10/2017

Tableau 4: Description des sols de l'étude à partir des analyses de sols (Production personnelle).

2. Matériels et méthodes

2.1. Mise en place des parcelles d'essai

2.1.1. Choix des parcelles d'essai

Dans un premier temps, il a fallu déterminer les objets de notre étude. La majorité des parcelles étant plantées sur les porte-greffes 161-49C ou 3309C, l'étude a été réalisée sur des complants. A l'aide d'un tableau synthétique (Annexe I et Annexe II) regroupant l'ensemble des replantations par parcelle ces quatre dernières années, nous avons pu identifier des parcelles d'intérêts avec des porte-greffes variés. Les critères de choix ont été : un greffon identique sur toutes les modalités, au minimum deux porte-greffes différents sur une parcelle pour pouvoir effectuer une comparaison, une indication sur l'emplacement des complants au sein de la parcelle et le nombre de plants plantés. Selon ces critères, nous avons pu identifier 7 parcelles d'intérêts avec 7 porte-greffes différents. Les plants ont été plantés au printemps 2022. Ils ont un an au début de l'étude. L'idéal aurait été d'avoir des pieds plus âgés et en production, ce qui aurait facilité les mesures et pu faire un suivi complet comprenant toutes les mesures nécessitant des grappes telles que des suivis phénologiques ou des mesures de rendement.

2.1.2. Caractéristiques des parcelles

Cet essai s'inscrit dans un programme de suivi des porte-greffes appelé Greff'Bourgogne diffusé à l'échelle de la Bourgogne. Il se déroule sur sept parcelles situées entre Beaune et Aloxe-Corton en Côte-d'Or (Figure 10). Sept porte-greffes greffés sur deux cépages sont à l'étude : Pinot Noir clone 667 (4 parcelles) et Chardonnay clone 96 (3 parcelles). Deux porte-greffes sont étudiés sur chaque parcelle, il y a 14 modalités différentes. Le tableau 2 synthétise les différentes modalités de l'étude. Toutes les parcelles sont conduites en agriculture biologique. Les itinéraires culturaux sont identiques sur chaque parcelle. Les travaux d'entretien des pieds sont réalisés par les stagiaires (ébourgeonnage, désherbage manuel, palissage, taille). Les conditions pédoclimatiques sont différentes entre les parcelles. La description des sols des parcelles sont décrits dans le Tableau 4.

Parcelle/ Appellation	Beaune Clos des Marconnets	Beaune Teurons	Beaune Champimonts verte	Beaune Champimonts rouge	Corton Vergennes	Pernand- Vergelesses Caradeux	Beaune Clos des Mouches
Cépage	Pinot Noir				Chardonnay		
Clone	667				96		
Porte-greffe n°1	Gravesac	Gravesac	Gravesac	Gravesac	333EM	333EM	333EM
Porte-greffe n°2	333EM	5BB	5BB	Fercal	110R	1103 Pa	3309C

Tableau 5 : Répartition des porte-greffes et greffons dans les sept parcelles d'essai.



Figure 11 : Photographie d'un complant marqué dans le cadre de l'étude à l'aide de peinture bleue au niveau des jalons et de fil de fer coloré au pied (Beaune, photo personnelle).

Beaune 1^{er} Cru Clos des Mouches : Parcelle de 84 ares située à mi-côteaux avec une pente moyenne. Le terroir constitué de terre blanche et marneuse donne des sols marno calcaires, caillouteux sur le haut de la parcelle, de faible profondeur et reposant sur la roche mère. Ils sont plutôt drainants, la parcelle se resuit rapidement après les pluies (*Domaine Chanson Père et Fils, 2015; France, 2017*).

Beaune 1^{er} Cru Champimonts : Deux parcelles de respectivement 66 ares et 115 ares, peu pentues situées sur la colline du Clos des mouches. Les sols y sont argilo sablonneux, caillouteux, profond avec de forte humidité printanière (*Domaine Chanson Père et Fils, 2015; France, 2017*)

Beaune 1^{er} Cru Teurons : Parcelle de 136 ares, peu pentue. Les sols y sont limono-argileux avec une profondeur assez importante. La CEC de 236 méq/kg et le taux de matière organique de 2,7 % sont plutôt élevés. On peut considérer la parcelle comme très fertile pour un sol viticole. Le sol est composé de marnes. Le sol ressuit vite car il est plutôt caillouteux (*Domaine Chanson Père et Fils, 2015; France, 2017*).

Beaune 1^{er} Cru Clos des Marconnets : Parcelle de 150 ares, en coteaux avec une pente importante sur les hauts de coteaux. Les sols marno sablonneux sont soumis à des humidités printanières non négligeables. De plus, ils sont profonds en bas de pente et reposants sur la roche en haut de pente suite à l'érosion de la parcelle. Le bas de la parcelle est de ce fait plutôt caillouteux et alluvionnaire (*Domaine Chanson Père et Fils, 2015; France, 2017*).

Pernand-Vergelesses 1^{er} Cru En Caradeux : Parcelle de 97 ares, en coteaux avec une pente importante. Les sols y sont bruns et marno-calcaires, riches en cailloutis. De profondeur moyenne, ils ressuient rapidement malgré la présence importante d'argile (*Domaine Chanson Père et Fils, 2015; France, 2017*).

Corton Vergennes Grand Cru : Parcelle de 64 ares, en coteaux avec une pente moyenne. Sol brun calcaire et argileux sur des marnes. Peu profond et avec une pierrosité importante, cette parcelle est sujette à la sécheresse. Ses sols sont très pauvres (*Domaine Chanson Père et Fils, 2015; France, 2017*).

2.1.3. Marquage des complants

Sélectionner des plants de l'année aurait facilité la reconnaissance, mais dans un souci d'homogénéisation des greffons et de choix des parcelles, l'étude a été réalisée sur les complants d'une année, plantés entre novembre 2021 et mai 2022. Les plants marqués sont répartis sur des rangs côte-à-côte. En fonction de la densité de complants dans la parcelle et l'organisation de la parcelle, la zone d'étude est plus ou moins large allant de 6 à 30 rangs suivant les modalités. Les rangs ne sont pas tous de la même longueur entre les différentes parcelles. Ne connaissant pas la zone exacte dans laquelle ont été plantés les jeunes plants, il a été décidé de placer les zones d'étude de part et d'autre de la parcelle. L'emplacement précis des pieds est connu et chaque pied est identifié à l'aide de peinture sur les jalons et de fils de fer colorés pour être facilement identifiable (Figure 11).

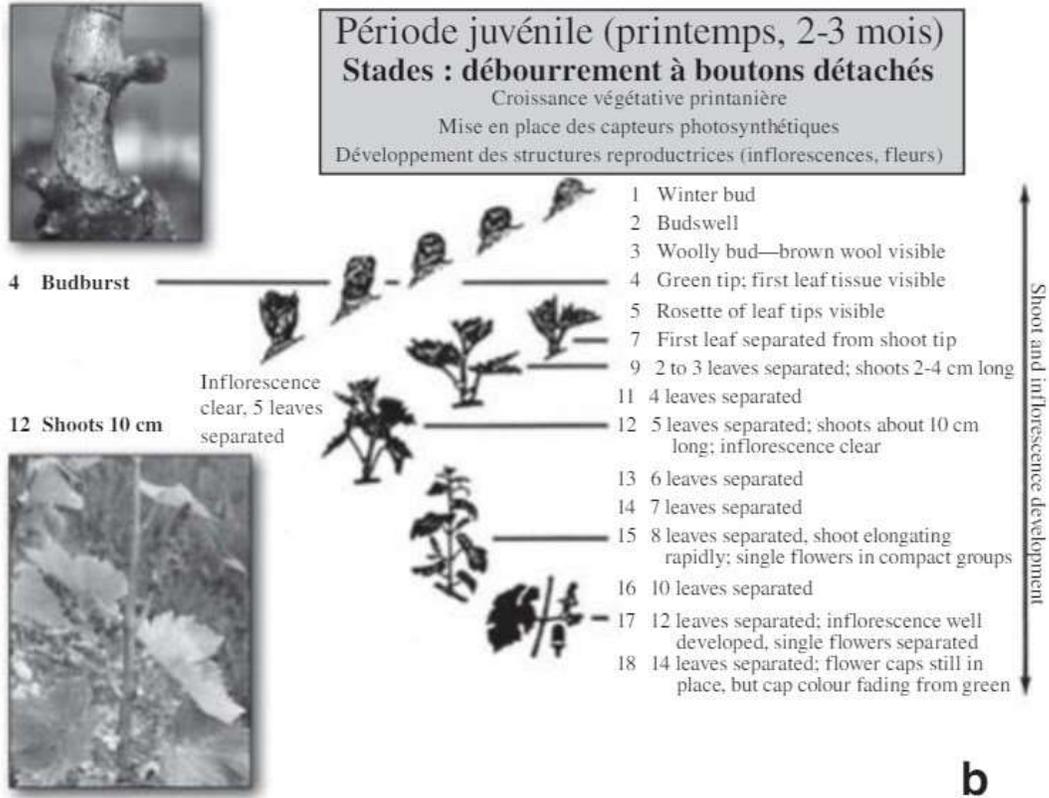


Figure 12 : Stade phénologique de la vigne du bourgeon d'hiver jusqu'au stade 14 feuilles séparées d'après l'échelle phénologique proposée par Lorenz et al. (Carbonneau & Torregrosa, 2020).

La répartition des pieds dans la parcelle est telle qu'il n'était pas possible de mettre des placettes de plusieurs pieds consécutifs pour réaliser nos mesures. Les pieds sont répartis dans l'ensemble de la zone d'étude et sont la plupart du temps isolés les uns des autres.

2.2. Phénologie du débourrement à la vendange

Le suivi du débourrement est fait à partir de l'échelle phénologique proposée par *Lorenz et al.* (Lorenz et al., 1995). La méthodologie d'observation du débourrement décrite par *Pouget* consiste à observer tous les bourgeons d'un pied et d'en évaluer le stade phénologique (Pouget, 1988). Contrairement à *Pouget*, le stade observé ici est le stade 4 : pointe verte, premières feuilles visibles qui correspond d'après l'échelle phénologique au débourrement (Figure 12). Sur l'ensemble des comptages nous déterminerons le nombre de bourgeons ayant dépassé ce stade. A l'aide de plusieurs comptages, la date de mi-débourrement sera alors déterminée.

De même que pour le débourrement, la date de mi-floraison sera déterminée avec des comptages entourant la période de floraison à partir de la troisième année. Au vu de l'âge des plants, ils ne produisent pas encore de grappes.

2.3. Carence et chlorose

Sont à l'étude les principales carences qui sont le potassium, le magnésium et l'azote ainsi que la chlorose ferrique qui s'exprime dans des sols calcaires. L'idéal aurait été de pouvoir faire des analyses pétiolaires pour connaître les teneurs en chaque élément dans la plante et pouvoir comparer l'absorption des minéraux entre les différents porte-greffes. Compte-tenu de la taille des pieds, pouvoir récupérer au minimum 50 pétioles consisterait à défolier en partie les complants. Pour cette année, nous avons pris la décision de ne pas le faire, mais peut-être cela pourrait se faire pour les années suivantes en fonction de la vigueur des pieds. Ces analyses permettent d'être plus précis qu'une appréciation visuelle.

Pour pallier la jeunesse des plants, une échelle en classe pour les symptômes aperçus a été utilisée. Cette échelle permet de déterminer l'intensité des symptômes pour chaque pied. Elle est établie en 4 classes.

Classe 1 : Absence de carence ou de chlorose.

Classe 2 : Faible intensité, moins de 25% de la surface foliaire est touchée.

Classe 3 : Intensité moyenne, entre 25 et 50% de la surface foliaire est touchée.

Classe 4 : Forte intensité, plus de 50% de la surface foliaire est touchée.

2.4. Estimation de la vigueur

Cette mesure sera faite au moment de la taille en hiver sur nos pieds. Pour avoir une estimation de la vigueur en cours de période végétative, deux autres méthodes moins précises sont utilisées : le diamètre et la longueur des rameaux à véraison et la mesure du statut azoté de la vigne à l'aide d'un N-tester.



Figure 13 : Photographie de la mesure du statut azoté de la vigne à l'aide d'un N-tester (Beaune, photo personnelle).

Déficit hydrique	Potentiel tige (Mpa)	Potentiel feuille (Mpa)	Potentiel base (Mpa)	$\delta^{13}C$	Fraction d'eau du sol disponible (FTSW)
Absence	-0,6<	-0,9<	-0,1<	<-26	36%<
Léger	[-0,6;-0,9[	[-0,9;-1,1[	[-0,2;-0,3[	[-24,5 à -26[	21%-36%
Léger à modéré	[-0,9;-1,1[	[-1,1;-1,3[	[-0,3;-0,5[	[-23 à -24,5[	7-21%
Modéré à fort	[-1,1;-1,4[	[-1,3;-1,4[	[-0,5;-0,8[	[-21,5 à -23[	1-7%
Fort	<1,4	<-1,4	<-0,8	-21,5<	<1%

D'après Van Leeuwen et al. (2009), Célette (2007), Ojeda (2007)

Figure 14 : Comparaison des valeurs des différentes méthodes de détermination du stress hydrique chez la vigne en fonction des classes de déficit hydrique (IFV).

2.4.1. Mesure des poids de bois de taille

Entre novembre et février, pendant la saison de taille, chaque pied de l'étude sera taillé. Au vu de l'âge des pieds, nous sommes en taille de formation. Les pieds seront donc taillés avec un courson à deux yeux pour les pieds les moins vigoureux ou un « monte-au-fil » pour les autres qui correspond à un courson plus long allant jusqu'au fil de palissage avec en générale entre 4 et 6 yeux francs. Les bois de chaque pied seront pesés à l'aide d'une balance.

2.4.2. Longueur et diamètre des rameaux

La vigueur est corrélée au nombre de rameaux et à la taille de ceux-ci. On approche une estimation de cette vigueur par la mesure de la longueur totale du rameau et du diamètre à la base du premier phytomère. Les pieds étant jeunes, ils ne se sont pas encore assez développés pour être rognés. La longueur totale du rameau peut être mesurée à véraison. Pour homogénéiser la prise de données, seuls les pieds ayant deux rameaux laissés à l'ébourgeonnage sont mesurés. La mesure est effectuée sur le rameau le plus développé. Une répétition de 15 pieds pour chaque modalité est réalisée, sauf pour la parcelle de Pernand-Vergelesses où un suivi plus poussé est réalisé. Dans cette parcelle, 30 mesures par modalité sont effectuées, permettant de définir des zones de haut de coteaux et de bas de coteaux pour chaque modalité. Il y a donc 15 répétitions par zones.

2.4.3. Mesure de l'azote foliaire

L'indice de chlorophylle est suivi sur chaque répétition de juin à septembre à l'aide d'un appareil N-testeur portable (Yara, Nanterre, France). Il est nécessaire d'effectuer 30 répétitions sur 30 feuilles différentes. A l'aide de ces 30 mesures, l'appareil fournit une valeur moyenne sans unité (Figure 13). Cet appareil mesure l'intensité de la couleur du limbe des feuilles, en corrélation positive avec le statut azoté de la plante (Van Leeuwen et al., 2000). En 2023, au vu du temps nécessaire à la mesure et de la disponibilité de l'appareil, une seule mesure a été réalisée à la fin du mois de juin. Au moins une feuille de chaque pied a été mesurée dans la zone médiane du feuillage. Pour chaque modalité, huit répétitions ont été effectuées. Concernant les parcelles présentant une forte pente, la première moitié des mesures a été réalisée en haut de pente et la seconde moitié dans le bas de pente pour permettre, si elles existent, des différences de comportement des porte-greffes.

2.5. Statut hydrique des plants

Pouvoir déterminer le statut hydrique de nos plants est essentiel pour caractériser leur résistance à la sécheresse. Plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer au mieux le comportement des différents porte-greffes. Les comparaisons des seuils entre les différentes méthodes ont été répertoriées par l'IFV et sont présentées dans la Figure 14.

2.5.1. Méthode des apex

Cette méthode facile à mettre au point sur le terrain ne nécessite aucun matériel. C'est une méthode visuelle qui permet de déterminer le statut hydrique de la plante à partir des apex. Très utilisée en irrigation pour piloter les apports d'eau, elle permet simplement de

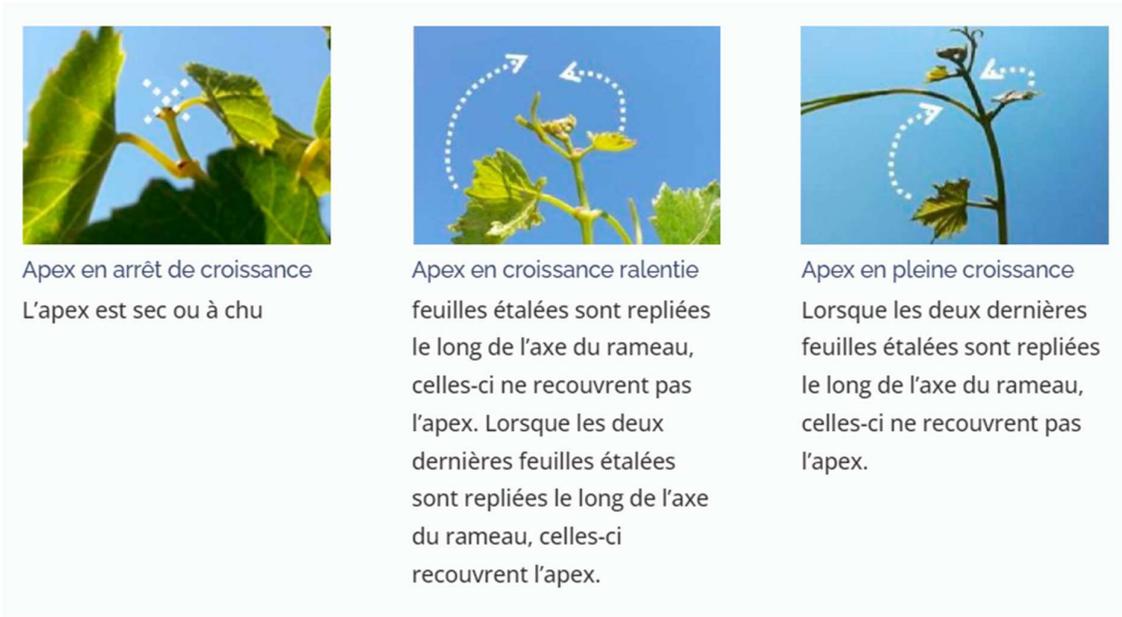


Figure 15 : Illustration des trois catégories de type d'apex permettant la détermination de l'état de croissance des apex (IFV).

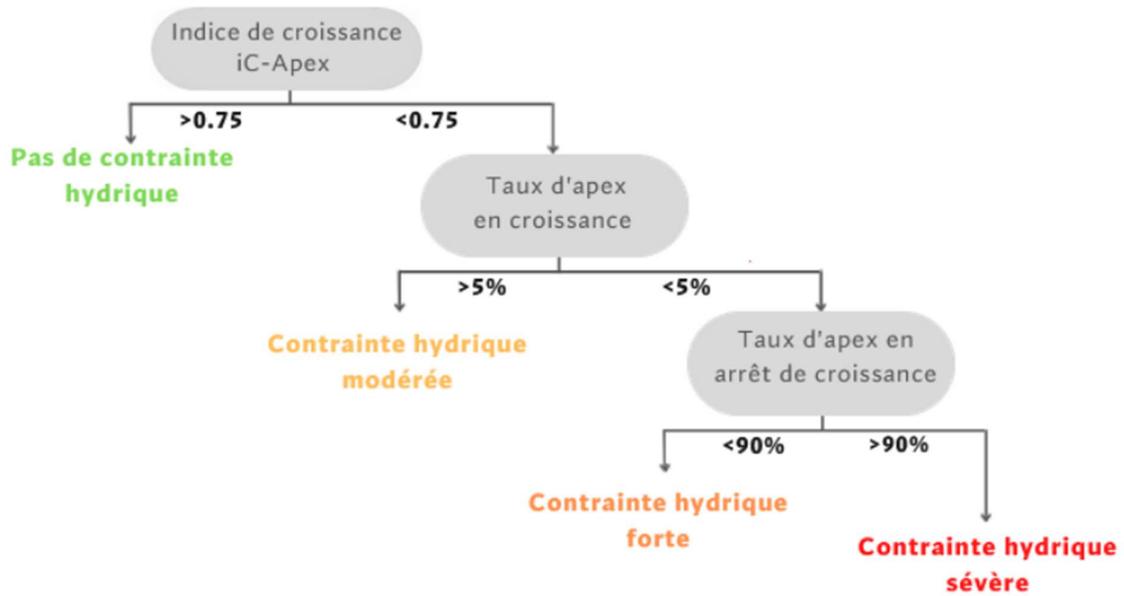


Figure 16 : Clé de détermination du niveau de stress hydrique de la vigne à partir des mesures de croissance des apex (Bécart, 2023).

connaître le niveau de stress hydrique que subit la plante à partir d'un indice de croissance (IC). Elle consiste à classer les apex en trois catégories en fonction de leur croissance : pleine croissance (P), croissance ralentie (R) et arrêt de croissance (C) (Figure 15). Il est nécessaire de compter 50 apex pour pouvoir calculer un indice de croissance. Une application mobile nommée ApeX-Vigne permet de saisir ces données. Cette application a été développée par l'association entre L'Institut Agro Montpellier et L'IFV. La formule de calcul de l'indice se base sur la formule suivante : $IC = (1 \times \%P + 0.5 \times \%R + 0 \times \%C)$. D'après *Pichon et al.*, l'indice serait proche de 1 autour de la floraison, ce qui correspond à l'ensemble des apex en pleine croissance. Il diminue progressivement avec les restrictions d'eau dans le sol pour être proche de 0 au moment de la véraison (Pichon et al., 2021). L'Institut Rhodanien a publié une fiche technique permettant d'interpréter les résultats d'indice de croissance afin de déterminer le statut hydrique de la vigne. La clé de décision est décrite dans la Figure 16 (Bécart, 2023).

Les mesures ont été réalisées entre la fin de floraison en juin et le début de véraison fin juillet. Espacées d'une semaine à dix jours, il y a eu au total 6 comptages d'apex. Les comptages ont été réalisés sur l'ensemble des pieds. Au vu du nombre de pieds, un seul indice a été calculé par modalité. Il n'y a pas eu de répétition. Sur des pieds plus âgés en production, il est recommandé de compter 50 apex sur 10 pieds (Pichon et al., 2021). Pour pouvoir visualiser une dynamique de croissance, au minimum 4 mesures doivent être faites sur la saison, idéalement tous les 7 à 10 jours.

2.5.2. Potentiel hydrique de tige

La mesure du potentiel hydrique est mesurée sur les feuilles, elle peut être effectuée de 3 manières différentes : en fin de nuit pour le potentiel de base, au midi solaire pour le potentiel minimum ou au midi solaire sur des feuilles ensachées pour le potentiel de tige. Ce dernier est plus fidèle que le potentiel de base (Carbonneau & Torregrosa, 2020). C'est une mesure assez sensible qui permet de différencier de faibles variations de potentiel mais qui demande beaucoup de temps.

Cette mesure de potentiel hydrique sera faite au midi solaire avec des feuilles préalablement ensachées. Les sachets sont réalisés à partir de toile plastique noire recouverte de papier aluminium. Les feuilles sont prélevées et la mesure du potentiel hydrique est réalisée aussitôt à l'aide d'une chambre à pression dite de Scholander (Scholander et al., 1965). Au vu du temps nécessaire à la mesure et la multiplicité des modalités, 5 feuilles sont prélevées et analysées par modalités. Les résultats sont donnés soit en bar, soit en Mpa. Les mesures seront réalisées au moment d'une période de sécheresse prolongée et répétées autant de fois que possible au cours de la période végétative en fonction de la disponibilité de la chambre à pression. Le jour de la mesure doit être précédé d'au minimum deux jours sans pluie. Les plants de l'étude étant encore trop frêles en 2023, cette mesure ne sera pas faite cette année, mais sera reportée pour être testée l'année prochaine.



Figure 17 : Pressoir Parapress 5 litres pour pressurage des échantillons de petite taille lors des prélèvements maturité (Beaune, photo personnelle).

2.5.3. Mesure du $\delta^{13}\text{C}$ des moûts

La mesure du $\delta^{13}\text{C}$ est souvent utilisée en complément ou en alternative à la mesure du potentiel hydrique à la chambre à pression du fait de sa simplicité et de son coût abordable. Elle est réalisée sur les sucres présents dans les moûts en fin de maturité. La mesure est corrélée très fortement au potentiel hydrique et est une méthode plutôt sensible (Gaudillère et al. 2002 ; IFV). Elle permet d'obtenir un bilan du stress hydrique subit par la plante au cours de la saison. Les raisins des pieds marqués pour chaque modalité sont prélevés et pressés afin de récupérer du jus pour l'analyse. Cette analyse est réalisée par un laboratoire externe.

2.6. Maturité des grappes et rendement

2.6.1. Estimation du rendement

Au cours du mois de juillet, les rendements sont estimés par le comptage du nombre de grappes par pied. Chaque pied est comptabilisé. La taille des grappes et leur poids sont estimés puis seront mesurés au moment des analyses maturité. Dix grappes pour chaque modalité sont prélevées et pesées. Le rendement final sera mesuré au moment des vendanges pour les pieds marqués.

2.6.2. Suivi maturité

Les porte-greffes peuvent avoir un impact sur la qualité des vins et sur la date des vendanges. Le suivi maturité est réalisé à partir de la fin de la véraison jusqu'aux vendanges. Le prélèvement de 100 baies est réalisé aléatoirement pour représenter au mieux la parcelle. La dynamique de maturité est suivie deux fois par semaine. Les jus sont obtenus par pressurage des baies à l'aide d'un presseur Parapress 5 litres (Figure 17). Les analyses sont réalisées à l'aide d'un WineScan™ Foss utilisant la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF). Il permet d'obtenir les résultats suivants : les sucres, la densité, l'acide malique, l'acide tartrique, le pH et l'acidité totale.

Compte tenu du fait que les pieds ne sont pas encore productifs, ces analyses ne peuvent pas être réalisées cette année. Le protocole pourra être mis en place à partir de l'année prochaine si des grappes sont présentes.

2.7. Mortalité

La mortalité des plants est suivie chaque année. Le nombre de pieds marqués morts est relevé pour chaque modalité. La cause de la mort, si elle est connue, sera mentionnée.

2.8. Analyse des données et analyse statistique

La répartition des pieds au sein de la parcelle est étudiée pour savoir si elle est aléatoire ou non. Connaissant l'emplacement exacte des pieds dans la parcelle, la zone d'étude est séparée en quadra de taille similaire. Le nombre de pied par quadra est calculé. Un test du Khi deux est réalisé pour analyser la répartition.

	Entremis 1 à 3	Entremis 4 à 6	Entremis 7 à 9	Entremis 10 à 12	Entremis 13 à 15	Entremis 16 à 18
Rang 4 à 7	3	0	0	1	0	4
Rang 8 à 11	1	2	0	1	2	1
Rang 12 à 15	1	2	2	1	4	2
Rang 16 à 19	2	1	5	1	4	3

Tableau 6 : Répartition des pieds dans la parcelle de Pernand-Vergelesses Caradeux pour le porte-greffe 1103P (production personnelle).

Pearson's Chi-squared test

data: Pernand_1103P[, 2:7]
X-squared = 16.804, df = 15, p-value = 0.3307

Figure 18 : Résultat du test d'homogénéité du Khi deux pour la parcelle de Pernand-Vergelesses et le porte-greffe 1103P (production personnelle).

Une analyse mixte est effectuée sur des données relatives à la parcelle (type de sol, topographie et porte-greffe) ainsi que des données mesurées au cours de la saison telles que l'azote foliaire, la longueur et le diamètre du rameau, l'indice de croissance des apex et enfin le débourrement. La moyenne par modalité est utilisée pour les données ayant plusieurs répétitions. Cette analyse permettra de visualiser s'il existe des ressemblances entre les parcelles et des corrélations entre les variables.

Les données qualitatives sont analysées par statistique descriptive. N'ayant pas de répétitions pour ces données, il n'est pas possible d'effectuer d'analyse statistique. Cela concerne la mortalité et le suivi par la méthode des apex.

Pour les données qualitatives qui sont le débourrement, les mesures de l'azote foliaire et les mesures de vigueur, l'analyse faite sera une Anova à deux facteurs (parcelle et porte-greffe) avec calcul du terme d'interaction. Toutes les données sont mises en forme dans un tableau à 3 colonnes comportant la parcelle, le porte-greffe et la mesure à analyser. Si le terme d'interaction est non significatif, les résultats de l'analyse pourront être interprétés. Les hypothèses de l'Anova sont vérifiées à l'aide d'un test de Shapiro pour la normalité et un test de Bartlett pour l'homoscédasticité. En cas de significativité de l'Anova à 0.05, un test de Tuckey est mis en œuvre permettant de comparer deux à deux les modalités. Dans les cas où il y a un terme d'interaction significatif, les résultats de l'Anova ne pourront pas être interpréter. Les analyses seront donc faites parcelle par parcelle à l'aide d'une Anova à un facteur. Ici aussi, il faudra vérifier les hypothèses. Si elles ne le sont pas, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis sera réalisé par parcelle.

3. Résultats et discussion

3.1. Répartition dans la zone d'étude

Ne pouvant choisir l'emplacement précis des pieds dans la parcelle, il est possible que leur répartition ne soit pas aléatoire et cela pourrait être un biais dans l'interprétation des données. En effet, les complants sont plantés pour remplacer un pied mort. La raison de la mort du pied précédent n'étant pas connue, il est tout à fait possible qu'il y ait des zones hétérogènes ou de dépérissement au sein de la parcelle qui pourraient par exemple avoir une incidence sur les données de mortalité ou de carence observées. Le test du Khi deux est utilisé pour déterminer la distribution entre deux variables. L'hypothèse H0 correspondante à une répartition homogène de la variable catégorielle est acceptée pour l'ensemble des modalités. Les p-value du test du Khi deux sont supérieures à 0,05 pour l'ensemble des parcelles. La parcelle de Pernand-Vergelesses est utilisée comme exemple. La démarche suivie est présentée dans le Tableau 6 et la Figure 18. D'après les résultats obtenus, les pieds au sein de chaque modalité sont répartis de façon homogène. La conclusion d'une répartition aléatoire au sein de chaque modalité est probable.

Travaux et comptage	Heures nécessaires à réaliser la tâche
Marquage des pieds	36
Entretien des pieds	66
Comptage débourement	20
Comptage Apex n°1	28
Comptage Apex n°2	17
Comptage Apex n°3	12
Comptage Apex n°4	10
Comptage Apex n°5	10
Comptage Apex n°6	10
Mesure N-tester	25
Mesure de la vigueur	12

Tableau 7 : Temps nécessaire à une personne pour effectuer les comptages et l'entretien des pieds au cours de l'année 2023 (production personnelle).

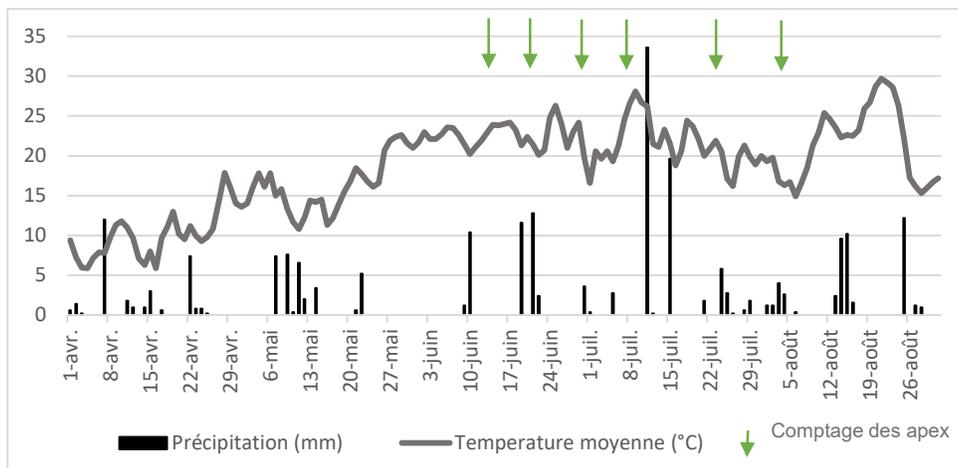


Figure 19 : Diagramme ombrothermique comprenant la température moyenne et la pluviométrie de la ville de Beaune entre avril et août 2023. Données de la station météo de la Coopérative Bourgogne du Sud sur Beaune (production personnelle).

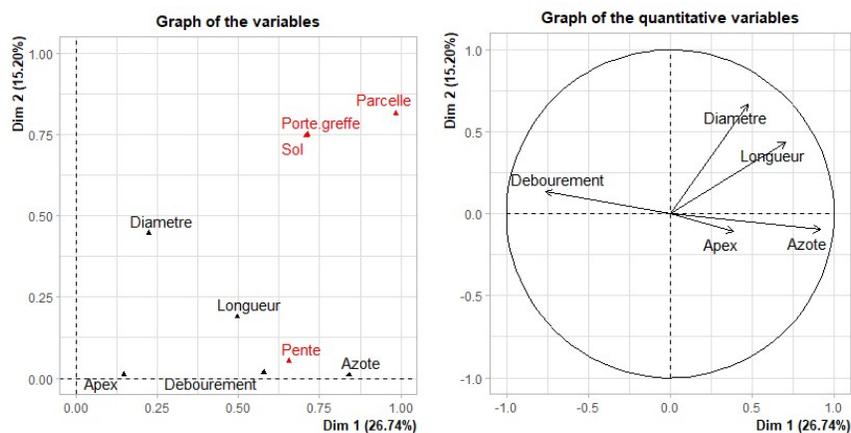


Figure 20 : Analyse mixte des résultats obtenus durant le millésime 2023. Graphique des variables et graphique des variables quantitatives (production personnelle).

3.2. Description du millésime 2023

Avec un printemps plutôt froid jusqu'à début avril, le débourrement de la vigne fut retardé en 2023 par rapport aux années précédentes. Il est observé en Côte de Beaune des dates de mi-débourrement autour du 15 avril. Avec des températures moyennes autour de 10°C pour le mois d'avril, la croissance végétative de la vigne est plutôt lente. Début mai, le stade 2-3 feuilles étalées est atteint. Des pluies régulières entre le débourrement et le milieu du mois de mai favorisent les risques de maladies cryptogamiques, mais aussi le développement de couverts végétaux spontanés.

L'enherbement devient rapidement problématique pour la concurrence avec la vigne. L'influence, et donc la compétition entre les couverts et les pieds, est différente d'une parcelle à l'autre. Un désherbage manuel des plants mi-mai pour limiter la concurrence avec le couvert a dû être fait pour garder une certaine homogénéité entre les modalités. Cet entretien des pieds est très couteux en temps, 66h ont été nécessaires pour une personne seule pour le réaliser (Tableau 7). Ces travaux sont pourtant nécessaires et importants à la survie des plants et aux résultats de l'étude. Ils ne devront pas être négligés pour les années suivantes. Un planning sur l'année a été fait pour permettre au futur stagiaire d'anticiper le suivi de l'étude. Il se trouve en Annexe III. L'ensemble des analyses à effectuer pour les prochaines années sont également présentes en Annexe IV.

Une première période de sécheresse d'environ trois semaines accompagnée d'une hausse des températures a lieu entre le mois de mai et de juin en même temps que la floraison. Le premier comptage des apex a lieu à la suite de ces événements et sera poursuivi jusqu'à la fin du mois de juillet. Des précipitations importantes sont tombées mi-juillet. Le reste du millésime sera marqué par une alternance de sécheresse et de précipitations. Pour la période présentée dans la Figure 19, le cumul de pluviométrie est 223 mm à Beaune, 259 mm à Pernand-Vergelesses et 269 mm à Ladoix. Les diagrammes ombrothermiques de Pernand-Vergelesses et Ladoix sont similaires à celui de Beaune. Ils sont placés respectivement en Annexe V et Annexe VII. Celui de Beaune, qui concerne une majorité de parcelles sera la référence.

3.3. Analyse mixte

Avec le jeu de données actuel, peu de variables peuvent être retranscrites. Pour les années suivantes, il est espéré de pouvoir récolter plus de données. En combinant les millésimes, l'analyse globale des données avec une analyse mixte ou une analyse en composante principale comprenant uniquement des données quantitatives pourra être envisagée. Cette analyse permettra cette année de mettre en évidence les corrélations entre les variables. Les résultats sont présents dans la Figure 20. Il est ainsi possible de voir que les variables diamètre et longueur des rameaux sont fortement corrélées. Elles expriment toutes les deux une appréciation de la vigueur de la vigne. Pourtant, la mesure de l'azote foliaire utilisée dans le même but n'est que peu corrélée aux deux autres variables. On peut mettre en doute cette

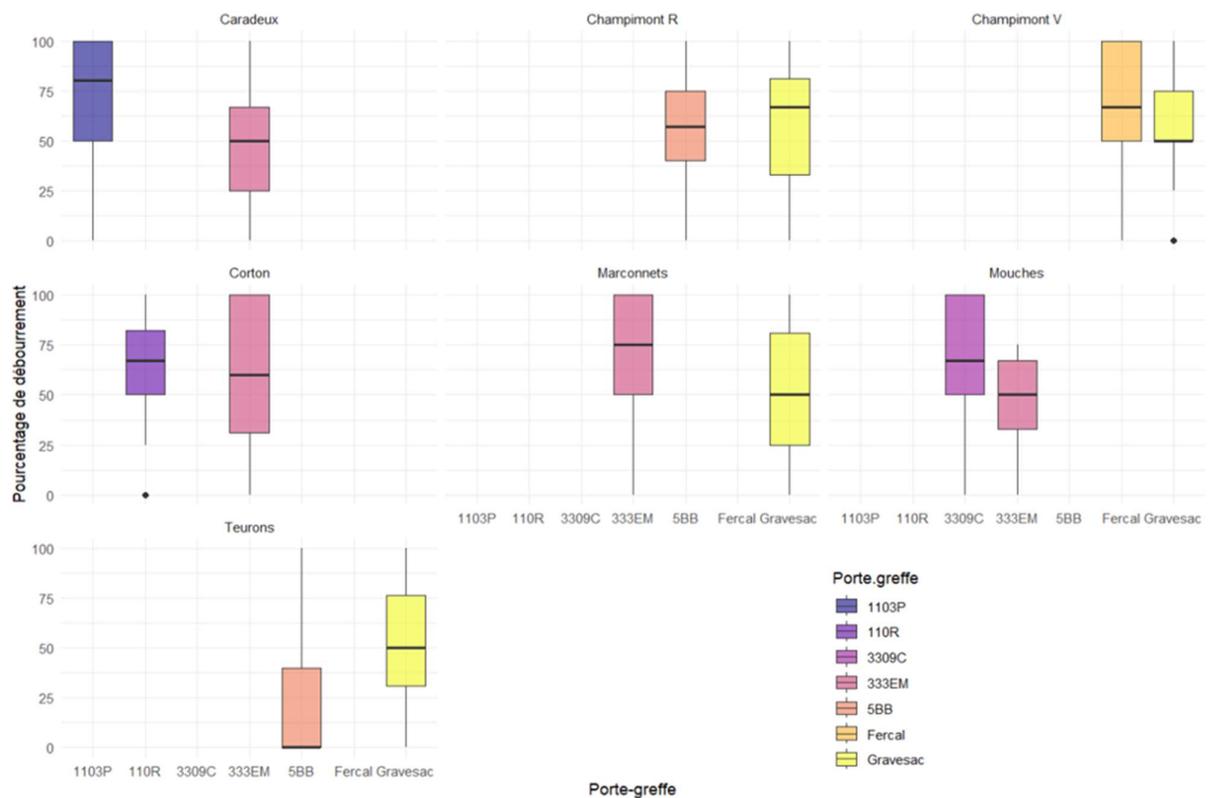


Figure 21 : Pourcentage de débournement des pieds en fonction du porte-greffe pour chaque parcelle d'essai (production personnelle).

Parcelle	Effectif	Statistique	P-value	Eta 2	Taille de l'effet	Significativité
Marconnets	69	6.20	0.0128	0.077	Moyen	
Teurons	86	25.3	4.84e-7	0.290	Important	
Champimonts Rouge	85	0.0456	0.831	-0.0115	Petit	n.s.
Champimonts Verte	92	1.63	0.201	0.007	Petit	n.s.
Corton	81	0.0735	0.786	-0.0117	Petit	n.s.
Mouches	73	9.59	1.96e-3	0.121	Moyen	
Caradeux	97	13.2	2.82e-4	0.128	Moyen	

Tableau 8 : Résultats du test de Kruskal Wallis sur les données du pourcentage de débournement par parcelle. **n.s.** = **non significatif** (production personnelle).

méthode pour l'estimation de la vigueur. La croissance des apex est liée assez fortement au statut azoté.

3.4. Débourrement

Au sein du programme Greff' Bourgogne, le protocole utilisé pour le débourrement est la date de mi-débourrement. Après avoir réalisé le premier comptage mi-avril, les pourcentages de débourrement pour la quasi-totalité des parcelles dépassaient 50% de débourrement en moyenne (Figure 21). Il n'était donc pas possible d'encadrer le mi-débourrement. Avec le réchauffement climatique et la hausse des températures, le débourrement peut être plus précoce et peut ne pas coïncider avec l'arrivée des futurs stagiaires. En particulier pour les jeunes plants qui sont proches du sol. Il est préférable pour les années suivantes de déterminer un état de débourrement à une date donnée. Cette mesure peut être répétée plusieurs fois pour déterminer une dynamique de débourrement. Un seul comptage a été réalisé cette année.

Les résultats ont montré que pour les parcelles de Champimonts et celle de Corton, il n'y avait statistiquement pas d'effet de porte-greffe sur le débourrement (Tableau 8). De plus, le test d'effet de taille du test de Kruskal-Wallis montre un petit effet de taille donc les deux groupes sont quasi égaux. Dans les conditions de l'étude, les porte-greffes 1103P et 3309C sont plus précoces que le 333EM lorsqu'ils sont greffés sur du chardonnay. Ce dernier est plus précoce que le Gravesac greffé sur du Pinot Noir. Comparé au 5BB, le Gravesac est plus précoce sur la parcelle de Teurons. L'effet de taille est important pour les Teurons donc sur cette parcelle, les mesures sont très différentes entre les deux modalités.

Les tendances observées sont cohérentes avec la bibliographie. En effet, d'après ATVB (2015), le 5BB est un porte-greffe tardif et le 3309C est plutôt précoce (ATVB, 2015). Le Gravesac connu pour être précoce présente plutôt un débourrement moyen. De même, le 333EM est plutôt intermédiaire. Face au changement climatique, adopter des porte-greffes plus tardifs sur les terroirs du domaine tels que le 333EM ou le Gravesac serait pertinent. L'utilisation de porte-greffe retardant le cycle végétatif est l'une des solutions exprimées par *Van Leeuwen* (van Leeuwen et al., 2019). Au contraire, le 1103P ou le 3309C pourraient être défavorables en cas de gelées de printemps et ne sont pas préconisés dans les terroirs à risques.

3.5. Chlorose et carence

Aucune carence n'a été observée au cours de la saison. Il est possible que la composition des sols soit telle que la disponibilité des différents minéraux est suffisante à répondre aux besoins de la plante. De plus les parcelles sont chacune ajustées à l'aide d'apport d'amendement en hiver et d'engrais foliaire au moment des traitements durant la période végétative. Ces itinéraires techniques apportent de l'azote, du potassium, du bore, du magnésium, du manganèse et du zinc ce qui permet de limiter les principales carences dont peut souffrir la vigne. Des analyses pétiolaires pourraient être intéressantes pour compléter

le suivi visuel et pourront être mises en place lorsque les pieds seront plus âgés avec suffisamment de feuilles.

Un seul pied de l'étude a montré des signes de chlorose ferrique. L'intégralité du pied est touchée comme on peut le voir dans la Figure 22. Il s'agit d'un pied greffé sur du 3309C, résistant normalement à 11 % de calcaire actif. Les sols du domaine sont peu calcaires selon les analyses qui ont été faites. La parcelle des Beaune Mouches présente un taux de calcaire actif de 3,8 %. La chlorose n'est sûrement pas due à un excès de calcaire mais serait plutôt une chlorose induite par la sécheresse. La limitation de l'absorption en eau lors d'un déficit hydrique provoque également une limitation de l'absorption des minéraux et peut provoquer des carences ou des chloroses. De plus, une pluviométrie importante fin juillet a permis de relancer la croissance du plan et les feuilles nouvellement formées ne présentaient pas de signes de chlorose (Figure 22).

L'hypothèse de la carence induite peut être validée à l'aide des résultats de croissance des apex. La parcelle de Beaune Clos des Mouches est soumise à un déficit hydrique plutôt élevé par rapport aux autres parcelles.



Figure 22 : Photographie d'un pied présentant une chlorose ferrique et son évolution au cours de la saison. Les photographies sont prises respectivement de gauche à droite le 13 juin, le 6 juillet et le 25 juillet (Beaune, production personnelle).

3.6. Suivi de la croissance des apex

Les premiers comptages ont eu lieu après une période de sécheresse d'environ 15 jours accompagnée d'une hausse de la température moyenne. A l'exception du porte-greffe 1103P sur la parcelle de Pernand-Vergelesses et du porte-greffe Gravesac sur la parcelle de Teurons, les pieds sont, au moment de ce premier comptage, déjà en situation de forte contrainte hydrique. Le niveau de stress hydrique a été déterminé à l'aide de la clé de décision de l'Institut Rhodanien (Bécart, 2023). Le stade phénologique à ce moment-là en Côte d'Or est mi-floraison. Or, il est noté dans la bibliographie que l'indice de croissance des apex est proche de un au moment de la floraison, ce qui équivaut à tous les apex en pleine croissance (Pichon et al., 2021). Ce n'est pas le cas pour nos jeunes plants. Ces observations peuvent être expliquées par un système racinaire des jeunes plants moins développé. Il serait préférable pour les années suivantes d'être plus attentif aux conditions climatiques et de commencer les comptages d'apex plus tôt si nécessaire.

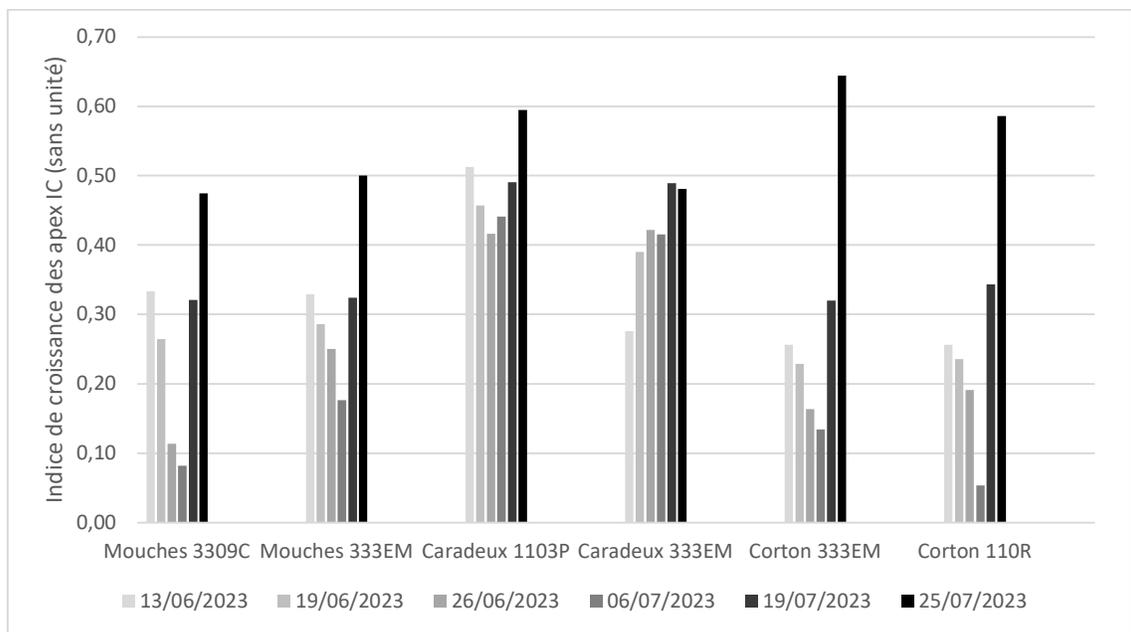


Figure 23 : Évolution de l'indice de croissance des apex au cours de la saison pour les modalités de Chardonnay (production personnelle).

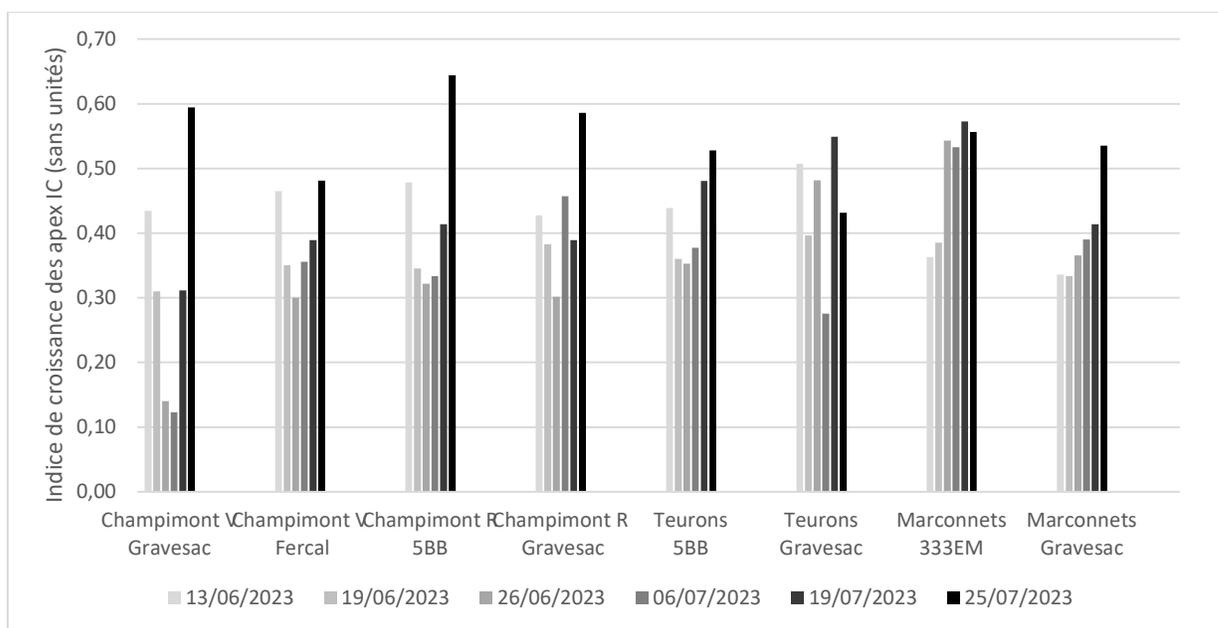


Figure 24 : Évolution de l'indice de croissance des apex au cours de la saison pour les modalités de Pinot Noir (production personnelle).

Toutes les parcelles ne présentent pas les mêmes contraintes hydriques (Figure 23 et 24). Les parcelles de Corton et des mouches semblent plus sensibles à la sécheresse. Ces résultats peuvent être expliqués par les types de sols qui sont peu profond et très caillouteux pour la parcelle de Corton. La dynamique générale de croissance des apex est identique pour la majorité des modalités. Durant environ un mois, entre le premier et le quatrième comptage, les disponibilités en eau baisse dans les sols malgré des petites précipitations. La croissance des apex est ralentie, voire stoppée dans les conditions extrêmes. Un fort épisode pluvieux le 11 juillet a permis de relancer la croissance des apex. Il y a eu 33 mm à Beaune, 38 mm à Pernand-Vergelesses et 43 mm à Corton. Les pieds dont l'apex avait chuté sont repartis à partir de la croissance des entre-cœurs.

Quelques exceptions sont pourtant à noter. Le porte-greffe 333EM sur la parcelle de Pernand-Vergelesses et celle de Beaune Clos des Marconnets présente une dynamique différente. Les indices de croissances augmentent au long de la saison. Elles ne semblent pas être touchées par la sécheresse. Sur la parcelle de Marconnets, le porte-greffe Gravesac a la même dynamique que le 333EM, les différences observées seraient peut-être liées à une contrainte hydrique moins importante. Le porte-greffe 1103P conserve tout au long de la saison des indices de croissance plus élevés que le 333EM. Ces résultats pourraient confirmer le fait que les porte-greffes 333EM et 1103P soient très résistants à la sécheresse. Ils semblent moins atteints par le déficit hydrique et garde une croissance plus importante tout au long de la saison.

Comme exprimé précédemment, la situation hydrique est très critique entre fin juin et début juillet (comptage 3 et 4). Les données ne peuvent pas être analysées statistiquement, mais, sur la parcelle de Mouches, le 3309C semble être plus contraint que le porte-greffe 333EM. Il en est de même pour la parcelle de Champimonts Verte où le Fercal se comporte mieux que Gravesac. Ces résultats confirment ce que l'on peut lire dans la bibliographie car dans des sols profonds Fercal peut avoir une bonne résistance à la sécheresse (Tableau 3). D'autres résultats semblent contradictoires. En effet, le porte-greffe 5BB connu pour être sensible à la sécheresse, ne présente pas de signe de fort déficit. Son indice de croissance est identique à celui du Gravesac. La vigueur importante du 5BB lui permettrait peut-être de moins exprimer les symptômes de la sécheresse.

Le déficit de l'ensemble des parcelles à l'échelle des jeunes plants est soit modéré, soit sévère. L'arrosage des jeunes plants face à la contrainte hydrique semble nécessaire. D'autant plus que les jeunes pieds sont plus sévèrement touchés que pour les pieds adultes. Actuellement, au sein de domaine, le matériel nécessaire n'est pas disponible et le manque de personnel au moment d'une période déjà chargée en travail ne permet pas d'accomplir ces tâches. Elles sont pourtant essentielles pour des parcelles comme le Clos des Mouches ou les Corton Vergennes où la contrainte hydrique est plus marquée. De plus, la viabilité des pieds est remise en question. Des symptômes d'échaudage sont visibles sur certains pieds, d'autres sont morts à cause du manque d'eau. Le BIVB a estimé le coût de replantation d'un complant à 7,70 € (BIVB, 2017). Le manque à gagner pour chaque pied mort est non négligeable.

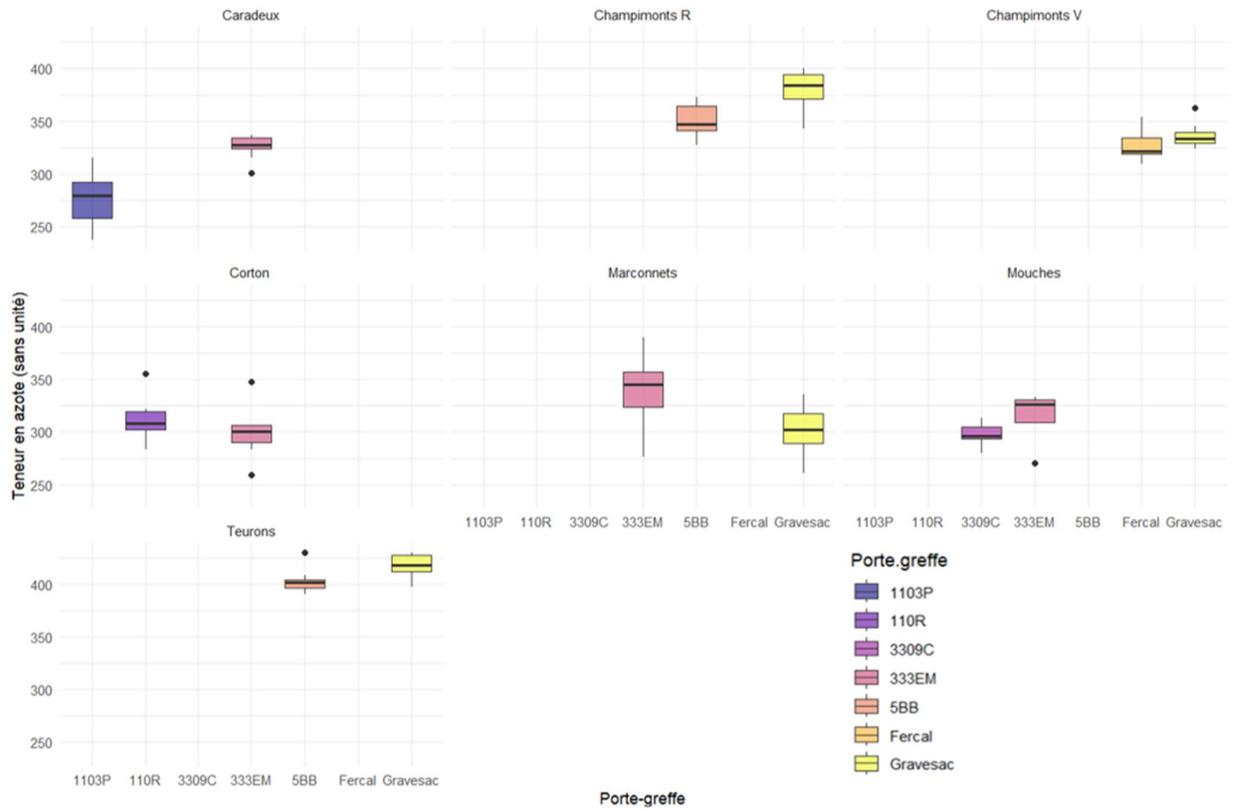


Figure 25 : Teneur en azote des pieds en fonction du porte-greffe pour chaque parcelle d'essai (production personnelle).

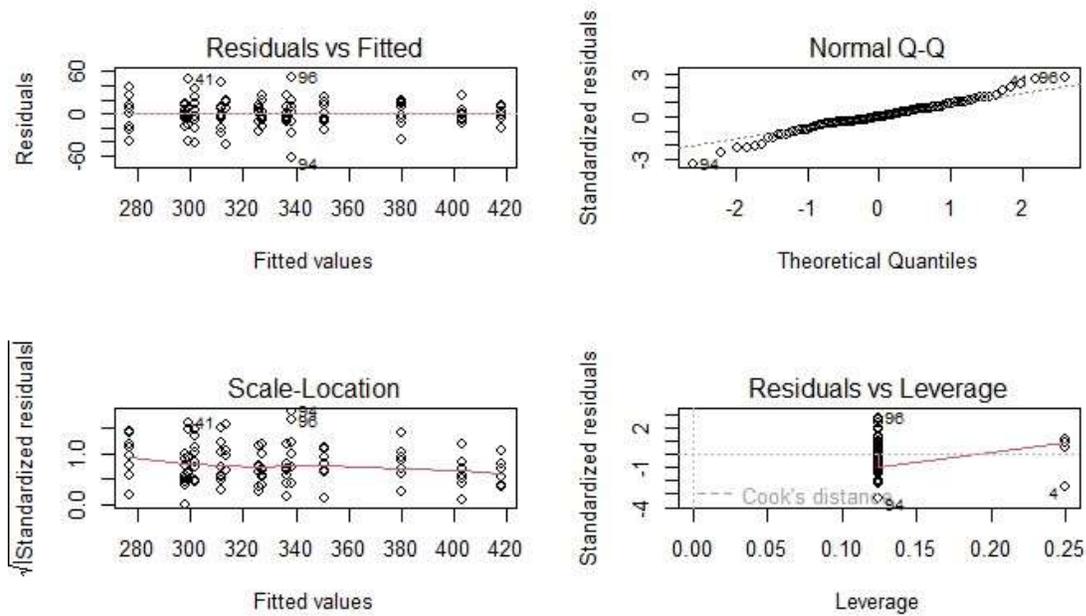


Figure 26 : Graphique permettant la validation du modèle Anova pour les mesures d'azote foliaire au N-tester (production personnelle).

3.7. La vigueur conférée au greffon

3.7.1. Mesure de la nutrition azotée au N-tester

Au vu des résultats de l'analyse mixte, cette méthode n'est pas appropriée pour définir la vigueur de nos pieds. De plus, elle demande beaucoup de temps pour être réalisée. Cette année, 25 heures ont été nécessaires pour la mettre en œuvre et réaliser une mesure pour chaque modalité. Une différence statistique a été identifiée sur la parcelle de Pernand-Vergelesses Caradeux. D'après la Figure 25, les pieds greffés sur 333EM auraient un statut azoté supérieur à ceux greffés sur 1103P. Le modèle de l'Anova a été validé, les résultats sont présentés dans la Figure 26. La p-value des tests de Shapiro et de Bartlett sont tous les deux supérieurs à 0.05. Les valeurs en dessous de 460 pour le Pinot Noir sont considérées comme une très faible alimentation azotée (Spring & Gelmini, 2002; Verdenal et al., 2023). Pourtant nos pieds ne présentent pas de signes de carences. Quelques biais pourraient expliquer l'écart observé par rapport à la littérature. La mesure n'a pas été effectuée à un stade phénologique plus précoce et les pieds sont très jeunes comparés à ce qui a été fait dans l'étude de *Spring et Gelmini* (2002).

La mesure de l'azote foliaire à l'aide d'un N-tester ne semble pas pertinente dans le cas de notre étude. De plus, par rapport aux résultats, cette méthode est très peu discriminative entre les porte-greffes. La mesure devra être faite de préférence à véraison. La variabilité de la mesure est faible pour chaque modalité comme on peut le voir sur le graphique boîte à moustache de la Figure 8. Le statut azoté de la plante semble davantage être lié à la parcelle qu'au porte-greffe. Renouveler cette mesure l'année prochaine ne semble pas nécessaire. Pour continuer à utiliser une méthode optique, la mesure du NDVI à l'aide d'un appareil Greenseeker est plus adapté et reflète mieux la vigueur (Goutouly et al., 2006).

1.1.1. Diamètre et longueur des rameaux

Le modèle de l'Anova avec les données brutes n'est pas validé. Il a fallu faire une modification des données en prenant le logarithme des mesures effectuées. Les modèles pour la longueur des rameaux et le diamètre sont alors validés. En prenant l'exemple de la longueur des rameaux, les résultats des tests de validation sont présentés dans l'annexe VII. Les représentations graphiques des données sont présentées dans les Figures 27 et 28.

Au test de comparaison deux à deux de Tuckey (Tableau 9), seule la parcelle des Teurons montre une différence significative au niveau de la longueur des rameaux. Deux porte-greffes sont présents sur cette parcelle, le 5BB et le Gravesac. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, le porte-greffe Gravesac présente une vigueur plus importante. D'après la littérature, le 5BB est un porte-greffe conférant une vigueur très importante au greffon notamment dans des sols profonds (*Pl@ntgrape*). Mais le porte-greffe Gravesac peut dans certaines conditions avoir également une vigueur importante. De plus, dans des sols non limitants comme la parcelle des Teurons, les porte-greffes influent peu sur la vigueur du greffon (Cordeau, 1998).

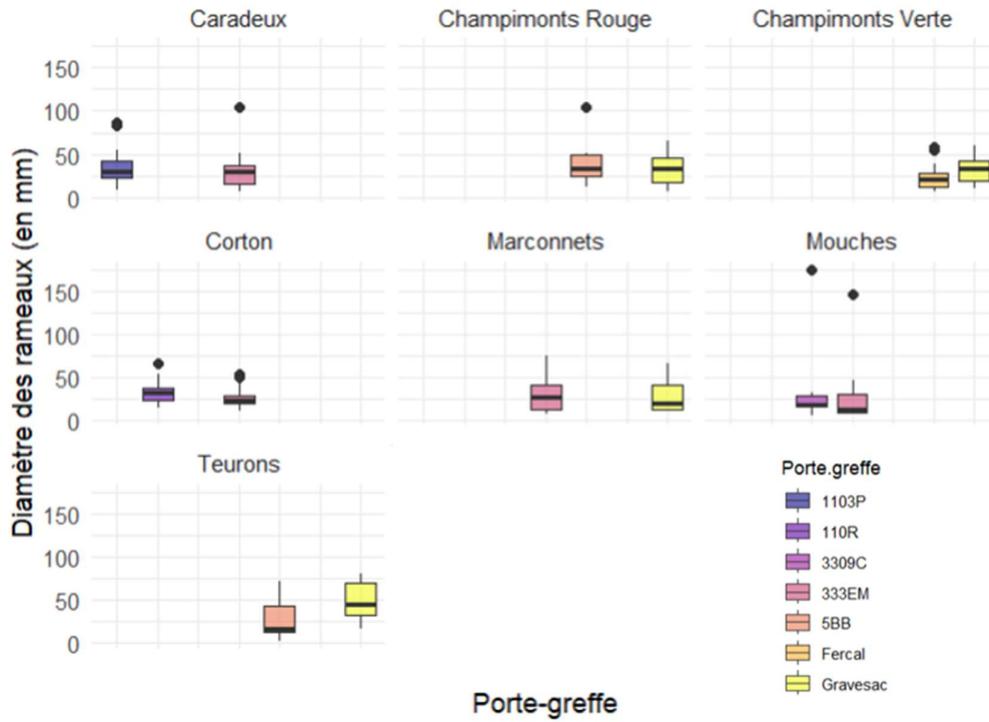


Figure 27 : Diamètre des rameaux en mm en fonction de la modalité de porte-greffe (production personnelle).

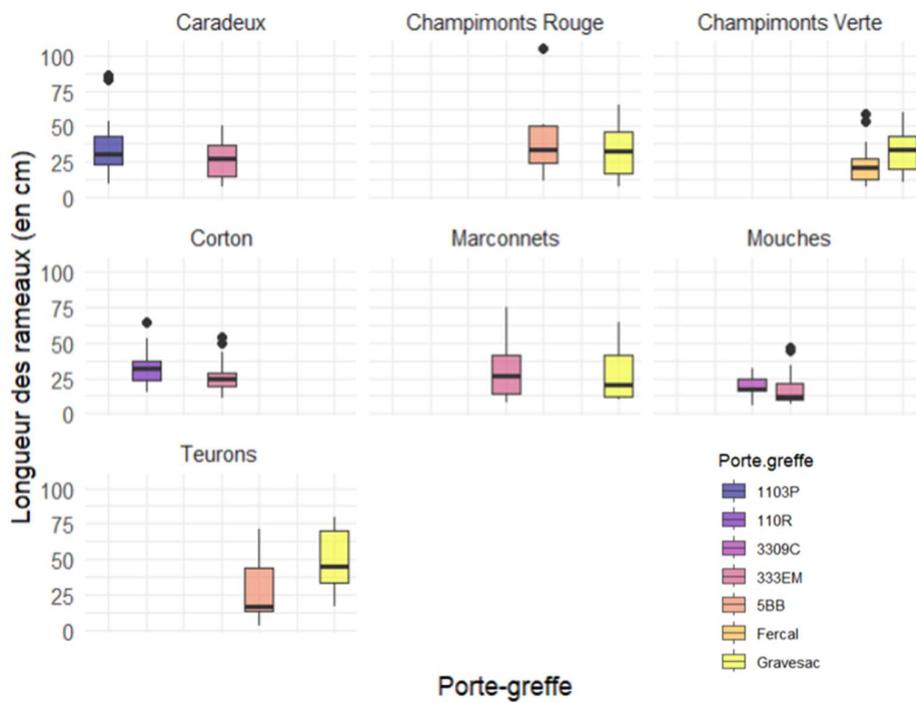


Figure 28 : Longueur des rameaux en cm par modalité de porte-greffe et de parcelle (production personnelle).

Le peu de différences mesurées est peut-être dû à l'âge des plants qui ne permettent peut-être pas encore au porte-greffe de s'exprimer. De plus, il y a très peu de variabilité au sein de chaque modalité. Cette mesure de longueur et de diamètre n'est peut-être pas adaptée aux jeunes plants même si elle a l'avantage d'être facile à mettre en œuvre. Il faudrait pouvoir tester l'année prochaine d'autres méthodes d'estimation de la vigueur comme la surface foliaire par exemple. A côté de cela, les mesures de poids de bois de taille qui seront réalisées cet hiver pourront aider à déterminer si le peu de différences observées est dû à la méthode utilisée ou reflète la réalité de vigueur des plants.

Parcelle	Caradeux	Corton	Mouches	Champimonts V	Champimonts R	Teurons	Marconnets
Longueur des rameaux	0.71	0.99	0.99	0.87	0.99	0.03*	1.00
Diamètre des rameaux	0.31	0.92	1.00	0.99	0.98	0.66	1.00

Tableau 9 : p-value de test post-hoc de Tuckey sur les données de longueur et de diamètre du rameau (production personnelle). * = **différence significative**.

1.2. Mortalité

Une faible mortalité des porte-greffes vigoureux tels que le 110R, le 1103P, le 333EM, est constatée (Figure 29). Le porte-greffe 333EM présente deux pieds morts de sécheresse sur la parcelle de Corton. Cette parcelle présente un très fort déficit hydrique. Comme la puissance de ce porte-greffe peut être plus faible les premières années, cela pourrait expliquer que la mortalité des pieds soit plus importante que pour la modalité 110R également présente sur la parcelle. L'entretien et le l'arrosage des jeunes plants semblent encore une fois être nécessaires pour maintenir la viabilité des jeunes plants et permettre leur implantation.

Les porte-greffes 3309C et Gravesac semblent présenter une mortalité plus importante. Des photographies des pieds touchés par la sécheresse sont présentées dans les annexes VIII et IX. Dans le cas du porte-greffe 3309C, les observations peuvent être expliquées par une mauvaise adaptation du porte-greffe aux conditions pédoclimatiques de la parcelle. Les résultats d'indice de croissance ont mis en évidence une contrainte hydrique importante sur cette parcelle de Beaune Clos des Mouches. Quatre plants de l'étude sont ainsi morts à la suite de la sécheresse. Le porte-greffe 3309C est plutôt sensible à la sécheresse, donc les résultats sont cohérents avec la littérature. C'est également sur cette modalité qu'une chlorose ferrique induite pour le stress hydrique a été observée. Ce porte-greffe n'est pas adapté et est à proscrire pour cette parcelle. Ce résultat remet en cause la pérennité du parcellaire du domaine face aux changements climatiques. Le 3309C est le deuxième porte-greffe planté en termes de surface au sein du domaine après le 161-49C. Il ne semble pas adapté à la situation sachant que plusieurs parcelles sont des parcelles fort coteaux avec des contraintes hydriques parfois importantes comme sur la parcelle de Corton.

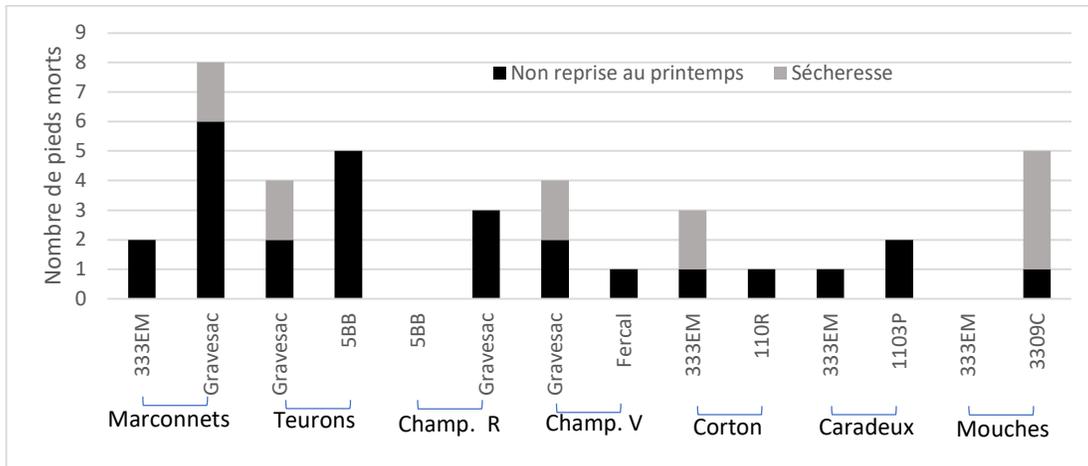


Figure 29 : Mortalité des complants sur l'année 2023 par parcelle et par porte-greffe (production personnelle).

Dans ce cas précis, pour la parcelle de Mouches, Il faudrait plutôt tester un porte-greffe plus résistant à la sécheresse comme le 110R. Ce porte-greffe présente cependant une vigueur importante qu'il faut pouvoir maîtriser pour continuer à produire des vins de qualité. Il est également sensible à l'humidité mais le sol sur cette parcelle ressuit rapidement. Une seconde option est de conserver le porte-greffe 333EM déjà planté dans le cas de la complantation et suivi dans le cadre de l'étude. Il permet, selon la littérature, de produire des vins qualitatifs. Une dernière solution serait de tester d'autres porte-greffes non utilisés actuellement par le domaine : 5C, 140 RU ou RSB1. Ils présentent chacun des avantages et des inconvénients et sont à choisir en fonction des paramètres de chaque parcelle.

Conclusion

Les porte-greffes sont une des solutions face aux changements climatiques qui pourraient permettre au vignoble bourguignon de s'adapter sans pour autant changer tout son système de culture et son encépagement si particulier qui lui font sa renommée. Les caractéristiques des porte-greffes peuvent être très variables en fonction des sols et des climats dans lesquels ils sont plantés. Pouvoir tester ces porte-greffes avant de replanter une parcelle paraît nécessaire afin de l'adapter au mieux aux conditions pédoclimatiques des parcelles du domaine.

En attendant les premiers résultats du programme régional Greff'Bourgogne, le domaine Chanson a voulu lui aussi tester au champ ces porte-greffes avant une grande campagne de replantation à partir de 2025. Le choix des 7 parcelles du domaine sur lesquelles est réalisée l'étude représente les différents types de sols et les différentes problématiques rencontrées. Les sept porte-greffes de l'étude possèdent des caractéristiques bien différentes en termes de vigueur, résistance à la chaleur ou résistance au calcaire par exemple. L'étude permet de tester les principaux attributs des couples de porte-greffe/greffon qui sont la phénologie, la vigueur conférée, la résistance à la sécheresse, l'assimilation des minéraux et la maturité des raisins.

Les porte-greffes 333EM et 1103P semblent bien se comporter face à des contraintes hydriques importantes. Le porte-greffe 3309C, au contraire, présente une sensibilité importante face à la sécheresse. Il n'est pas recommandé de continuer à l'utiliser sur des sols avec une faible réserve utile comme la parcelle de Mouches ou de Corton. Il est néanmoins difficile de tirer des conclusions précises et définitives pour les autres porte-greffes au vu des conditions de l'étude, sur des jeunes pieds et pour uniquement le millésime 2023. Ce millésime a été la première étape de mise en place d'un projet qui sera, je l'espère, poursuivi et étoffé les années suivantes. Certaines analyses comme les mesures de potentiel hydrique ou les mesures du $\delta^{13}C$ pourront être mises en place à partir de l'année suivante et permettront d'apporter davantage de réponses.

Bibliographie

- Agreste. (s. d.). *RA2020—Cultures détaillées par département*. Consulté 18 mai 2023.
https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/RA2020_1013/detail/
- Agreste. (2023). *Synthèses conjoncturelles Viticulture—Mars 2023*. Consulté le 25 juillet 2023.
<https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/SynVit23401/consyn401202303-ViticultureV2.pdf>
- ATVB. (2015). *Caractéristiques des porte-greffes et greffons utilisés en Côte-d'Or*. Association technique viticole de Bourgogne. Consulté le 13 septembre 2023.
[http://www.atvb-bourgogne.com/sites/default/files/catalogue%20ATVBsept2015%20\(2\).pdf](http://www.atvb-bourgogne.com/sites/default/files/catalogue%20ATVBsept2015%20(2).pdf)
- Aubert, I., Charlier, L., Mathé, H., Prêtet-Lataste, C., & Rocque, A. (2021). *Les Carnets du Plan—Résultats et perspectives*. Plan National Déperissement du Vignoble. Consulté le 25 septembre 2023.
<https://www.plan-deperissement-vigne.fr/webzine/fiche-technique-la-une/les-carnets-du-plan-nouvelle-edition-sont-en-ligne>
- Barrios-Masias, F. H., Knipfer, T., & McElrone, A. J. (2015). Differential responses of grapevine rootstocks to water stress are associated with adjustments in fine root hydraulic physiology and suberization. *Journal of Experimental Botany*, 66(19), 6069-6078.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erv324>
- Bécart, V. (2023). *Fiche technique : La méthode des apex*. Institut Rhodanien. Consulté le 8 juin 2023.
<https://www.institut-rhodanien.com/upload/article/file/fichetutoapex3-6299f6aa6232a.pdf>
- Benatiau, S. (2014). Le déperissement des vignes greffées sur le porte-greffe 161-49 C: Etude de la situation au sein du vignoble Français. *Le Progrès agricole et viticole*, 131(6), 11-16.
- BIVB. (s. d.). *Climatologie du vignoble de Bourgogne : Des conditions naturelles avantageuses*. Consulté 18 août 2023.
<https://www.vins-bourgogne.fr/vins-et-terroirs/nos-atouts-naturels/climatologie/une-climatologie-propice-a-la-production-de-vins-d-exception,2395,9188.html?>
- BIVB. (2017). *Complanter ou replanter sa parcelle : Ce qu'il faut savoir*. BIVB.
- BIVB. (2022). *Les chiffres clés de la Bourgogne viticole 2022*. Consulté le 13 mai 2023.
https://www.vins-bourgogne.fr/presse/gallery_files/site/289/1910/72660.pdf
- Boidron, R.-J. (2016). *Le livre du pinot noir*. Tec&Doc.
- Branas, J., & Vergnes, A. (1957). Morphologie du système racinaire. *Progrès Agricole et Viticole*, 29, 146-151.
- Brulebois, E., Castel, T., Richard, Y., Chateau-Smith, C., & Amiotte-Suchet, P. (2015). Hydrological response to an abrupt shift in surface air temperature over France in 1987/88. *Journal of Hydrology*, 531, 892-901.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.026>
- Cahurel, J.-Y., Chuzeville, N., Dumond, C., Julliard, S., Letessier, I., Simonit, M., Tavard, F., Deloire, A., Geny-Denis, L., & Pellegrino, A. (2023). *Petit précis de viticulture tome 1 : Terroirs, implantation et développement de la vigne*. Editions France Agricole.
- Carbonneau, A. (1976). Analyse de la croissance des feuilles du sarment de vigne : Estimation de sa surface foliaire par échantillonnage. *Connaissance vigne vin*, 10(2), 141-159.

- Carbonneau, A., & Torregrosa, L. (2020). *Traité de la vigne : Physiologie, terroir, culture Ed. 3*. Dunod.
- Castel, T., Lecomte, C., Richard, Y., Lejeune-Hénaut, I., & Larmure, A. (2014). Le réchauffement climatique diminue-t-il le risque de dégâts par le gel pour les cultures de climat tempéré ? In P. C. & Y. Richard (Éd.), *27ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie* (p. 271-277). Association Internationale de Climatologie.
- CFPPA. (2006). *Anatomie et physiologie de la vigne* (CFPPA Beaune).
- Champagnol, F. (1984). *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. François Champagnol.
- Cordeau, J. (1998). *Création d'un vignoble. Greffage de la vigne et porte-greffes, élimination des maladies à virus*.
- Crespy, A. (2015). *Manuel pratique de Plantation du vignoble* (Oenoplurimedia).
- Deloire, A., Ojeda, H., Zebic, O., Bernard, N., Hunter, J. J., & Carbonneau, A. (2006). *Influence de l'état hydrique de la vigne sur le style de vin*.
- DGCCRF. (2017). *Cahier des charges de l'appellation d'origine contrôlée « Bourgogne »*.
- Domaine Chanson Père et Fils. (2015). Domaine Chanson. Consulté le 8 août 2023. <https://www.domaine-chanson.com/fr/notre-vignoble>
- Dubrion, R.-P. (2010). *Les climats sur les vignobles de France* (Lavoisier).
- Ephytia. (s. d.). *Vigne—Désordres nutritionnels*. Ephytia. Consulté 12 septembre 2023. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/7070/Vigne-Desordres-nutritionnels>
- Equipe Vassal. (2016). *Unité Expérimentale du Domaine de Vassal—Description*. Centre de Ressources Biologique de la Vigne. Collection ampélographique de Vassal - Montpellier. Consulté le 28 août 2023 <https://www6.montpellier.inrae.fr/vassal/Collection/Description>
- France, B. (2017). *Grand atlas des vignobles de France—Nouvelle Edition* (Solar).
- FranceAgriMer. (s. d.). *Données interactives de la production de raisins en Côte d'Or par année*. Visionet. Consulté 27 septembre 2023. <https://visionet.franceagrimer.fr/Pages/DonneesInteractivesDocs.aspx?sousmenu=observatoire%20de%20la%20viticulture>
- FranceAgriMer. (2019). *Les chiffres de la filière viti-vinicole. Données statistiques 2008 à 2018*. Consulté le 27 septembre 2023. <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/62836/document/chiffres-septembre-fili%C3%A8re-viti-vinicole-2008-2018.pdf?version=9>
- Galet, P. (1988). *Cépages et vignobles de France Volume 1, Les Vignes américaines* (Ed. Dehan).
- Galet, P. (2000). *Précis de viticulture. 7ème édition*.
- Gambetta, G. A., Manuck, C. M., Drucker, S. T., Shaghasi, T., Fort, K., Matthews, M. A., Walker, M. A., & McElrone, A. J. (2012). The relationship between root hydraulics and scion vigour across Vitis rootstocks : What role do root aquaporins play? *Journal of Experimental Botany*, 63(18), 6445-6455. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers312>
- Garrier, G. (1989). *Le phylloxéra : Une guerre de trente ans, 1870-1900*.
- Gaudillère, J.-P., Van Leeuwen, C., & Ollat, N. (2002). Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*, 53(369), 757-763. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.369.757>
- Gontier, L., & Cahurel, J.-Y. (s. d.). *Fertilisations phosphatée (P), potassique (K) et magnésienne (Mg) de la vigne*. IFV Occitanie. Consulté 12 septembre 2023. <https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/fertilisations-phosphatee-p-potassique-ket-magnésienne-mg-de-la-vigne/>

- Goutouly, J.-P., Drissi, R., Forget, D., & Gaudillere, J.-P. (2006). *Caractérisation de la vigueur de la vigne par l'indice NDVI mesuré au sol*.
- Guillon, J. M. (1905). *Étude générale de la vigne : Historique les vignobles et les crus anatomie et physiologie, sol et climat*. Masson.
- IFV. (s. d.-a). *Estimation de l'état hydrique de la vigne*. IFV Occitanie. Consulté 22 septembre 2023.
<https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/estimation-de-letat-hydrique-de-la-vigne/>
- IFV. (s. d.-b). *Méthode des apex*. IFV Occitanie. Consulté 15 septembre 2023.
<https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/methode-des-apex/>
- Labarga, D., Mairata, A., Puellas, M., Martín, I., Albacete, A., García-Escudero, E., & Pou, A. (2023). The rootstock genotypes determine drought tolerance by regulating aquaporin expression at the transcript level and phytohormone balance. *Plants*, 12(4), Article 4.
<https://doi.org/10.3390/plants12040718>
- Lorenz, D. h., Eichhorn, K. w., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., & Weber, E. (1995). Growth Stages of the Grapevine : Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale†. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 100-103.
<https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00085.x>
- Madelin, M., Bois, B., & Chabin, J.-P. (2010). Modification des conditions de maturation du raisin en Bourgogne viticole liée au réchauffement climatique. *EchoGéo*, 14, Article 14.
<https://doi.org/10.4000/echogeo.12176>
- Meier, M., Fuhrer, J., & Holzkämper, A. (2018). Changing risk of spring frost damage in grapevines due to climate change? A case study in the Swiss Rhone Valley. *International Journal of Biometeorology*, 62(6), 991-1002.
<https://doi.org/10.1007/s00484-018-1501-y>
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F. M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Måge, F., ... Zust, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12(10), 1969-1976. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x>
- Millardet, A. (1876). *Etudes sur les vignes d'origine américaine qui résistent au phylloxera*. Impr. nationale.
- Mukherji, A., Thorne, P., Cheung, W. W. L., Connors, S. L., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Simpson, N. P., Totin, E., Blok, K., Eriksen, S., Fischer, E., Garner, G., Guivarch, C., Haasnoot, M., Hermans, T., Ley, D., Lewis, J., Nicholls, Z., ... Yassaa, N. (2023). *Synthesis report of the IPCC sixth assessment report (AR6)*.
- Néau, J.-M. (2023). *Communication personnelle par les pépinières Néau (Dennevy)* [Communication personnelle].
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., & Deloire, A. (2002). Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261-267.
- Ollat, N., & Bordenave, L. (s. d.). *Caractéristiques agronomiques générales des porte-greffes*.
- Pichon, L., Brunel, G., Payan, J. C., Taylor, J., Bellon-Maurel, V., & Tisseyre, B. (2021). ApeX-Vigne: Experiences in monitoring vine water status from within-field to regional scales

- using crowdsourcing data from a free mobile phone application. *Precision Agriculture*, 22(2), 608-626. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09797-9>
- Pl@ntgrape. (s. d.). Consulté 31 août 2023. <https://plantgrape.plantnet-project.org/fr/>
- Pouget, R. (1990). *Histoire de la lutte contre le phylloxera de la vigne en France*. Editions Quae.
- Pouget, R., & Ottenwaelter, M. (1978). Etude de l'adaptation de nouvelles variétés de porte-greffes à des sols très chlorosants. *Conn. Vigne Vin*, 12, 167-175.
- Prêtet-Lataste, C. (2021). *Quels porte-greffes en Bourgogne pour les 50 prochaines années ?* BIVB.
- Prinsi, B., Simeoni, F., Galbiati, M., Meggio, F., Tonelli, C., Scienza, A., & Espen, L. (2021). Grapevine rootstocks differently affect physiological and molecular responses of the scion under water deficit condition. *Agronomy*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020289>
- Probst, J.-L. (1992). Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 94(1), 0-0.
- Publication du 6e rapport de synthèse du GIEC. (2023). Ministères Écologie Énergie Territoires. Consulté le 8 août 2023. <https://www.ecologie.gouv.fr/publication-du-6e-rapport-synthese-du-giec>
- Richard, Y., Castel, T., Bois, B., Cuccia, C., Marteau, R., Rossi, A., Thevenin, D., & Toussaint, H. (2014). Évolution des températures observées en Bourgogne (1961-2011). *Bourgogne Nature*, 19, 110-117.
- Richard, Y., Petit, S., Vergote, M., & Castel, T. (2019). *Le changement climatique : Où en sommes-nous ?*
- Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A., & Hammel, H. T. (1965). Sap Pressure in Vascular Plants. *Science*, 148(3668), 339-346. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>
- Serra, I., Strever, A., Myburgh, P., Schmeisser, M., & Deloire, P. A. (2017). Grapevine (*Vitis vinifera* L. 'Pinotage') leaf stomatal size and density as modulated by different rootstocks and scion water status. *Acta Horticulturae*, 1157, 177-182. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1157.26>
- Simonneau, T., Lebon, E., Coupel-Ledru, A., Marguerit, E., Rossdeutsch, L., & Ollat, N. (2017). Adapting plant material to face water stress in vineyards : Which physiological targets for an optimal control of plant water status? *OENO One*, 51(2), 167. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1870>
- Smart, D. R., Schwass, E., Lakso, A., & Morano, L. (2006). Grapevine rooting patterns : A comprehensive analysis and a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(1), 89-104. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.1.89>
- Spilmont, A. S., Sereno, C., El Khoti, N., & Torregrosa, L. (2016). The decline of the young vines grafted onto 161-49 C. *Acta Horticulturae*, 1136, 251-264. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1136.35>
- Spring, J. L., & Gelmini, G. (2002). Nutrition azotée de la vigne : Intérêt de la détermination de l'indice chlorophyllien pour les cépages Chasselas, Pinot noir et Gamay. *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture*, 34(1), 27-30.
- Tardy, Y. (1986). Le cycle de l'eau : Climats, paléoclimats et géochimie globale.
- Tardy, Y., & Probst, J.-L. (1992). Sécheresses, crises climatiques et oscillations téléconnectées du climat depuis cent ans. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 3(1), 25-36.

- Tissot, A.-C., Amiotte-Suchet, P., Brulebois, E., Castel, T., Ponnou-Delaffon, V., Richard, Y., Brayer, J.-M., Ubertosi, M., Martin, E., Petit, S., Vergote, M.-H., Doney, C., Pinson, S., Stollsteiner, P., & Bertrand, F. (2016). *Hydrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau en Bourgogne : Rapport final du projet HYCCARE Bourgogne* (p. 1).
- Torregrosa, L., Carbonneau, A., & Kelner, J.-J. (2021). The shoot system architecture of *Vitis vinifera* ssp. *Sativa*. *Scientia Horticulturae*, *288*, 110404. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110404>
- Torregrosa, L., Viguier, D., Bernard, A. C., Bloy, P., Lopez, G., Cambournac, J.-R., Causse, C., Audeguin, L., & Boursiquot, J.-M. (2011). Le 161-49C et le dépérissement des jeunes vignes. Le 161-49C et le dépérissement des jeunes vignes, *247*, 123-128.
- UNESCO, U. C. du patrimoine. (s. d.). *Les Climats du vignoble de Bourgogne*. UNESCO Centre du patrimoine mondial. Consulté 18 août 2023. <https://whc.unesco.org/fr/list/1425/>
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Soyer, J.-P., Molot, Ch., Choné, X., & Dubourdieu, D. (2000). Measurement of total nitrogen and assimilable nitrogen in grape juice to assess vine nitrogen status. *OENO One*, *34*(2), 75. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2000.34.2.1010>
- van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., de Ressaiguier, L., & Ollat, N. (2019). An Update on the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations. *Agronomy*, *9*(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>
- Verdenal, T., Zufferey, V., Reynard, J.-S., & Spring, J.-L. (2023). Nitrogen nutrition status of the vine : Correlation between N-tester and SPAD chlorophyll indices: This is a translation of an article originally written in French. *IVES Technical Reviews, vine and wine*. <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2023.7649>
- Yıldırım, K., Yağcı, A., Sucu, S., & Tunç, S. (2018). Responses of grapevine rootstocks to drought through altered root system architecture and root transcriptomic regulations. *Plant Physiology and Biochemistry*, *127*, 256-268. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.034>

Annexe I : Synthèse de complantation sur le domaine Chanson entre 2019 et 2023 pour les parcelles de Chardonnay (production personnelle).

APPELLATION	PARCELLE	SURFACE	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
C Vergennes		0,6457	76 - 333EM	76 - Gravesac 76 - 110 Richter 96 - 5C	96 - 333EM 96 - 110 Richter	76 - 5BB 96 - 333EM 96 - 110 R
PV Caradeux	NORD	0,9688	76 - 3309C 76 - 333EM	76 - 3309C Paulsen 96 - 5C	96 - 333EM 96 - 1103 Paulsen	96 - 333EM 96 - 1103 Paulsen 96 - 5BB
PV Caradeux	SUD	0,9119	76 - 3309C	76 - 3309C 76 - 1103 Paulsen 76 - 110 Richter (2)	96 - 1103 Paulsen 96 - 110 Richter	96 - 1103 Paulsen
PV Village	DP 2016	0,5102	95 - 3309C	96 - 5C	76 -5BB	96 - 5BB
PV Village	DP 2011	0,2399	95 - 3309C	96 - 5C	76 -5BB	
S Hauts Marconnets	DP 89	0,5491	95 - 3309C	95 - 3309C	76 -5BB 96 - 333EM	76 - 1103 Paulsen 76 - 5BB
S Hauts Marconnets	DP 97 98 + 2006	0,8343	95 - 3309C	95 - 3309C 76 - 3309C	76 -5BB 76 - Gravesac (2)	76 - Gravesac 96 - 5C
S Hauts Marconnets	DP 91	0,8	95 - 3309C 95 - Gravesac	95 - 3309C	76 - Gravesac	76 - 1103 Paulsen 76 - 5BB(3)
B Clos des Marconnets	DP 2001	0,5128		76 - 3309C 76 - Fercal	76 - 3309C 76 - Fercal	76 - Fercal 76 - 5BB
B Clos du Roi	DP 95	0,2939	76 - Fercal	95 - 3309C	76 - Fercal 76 - 5BB 96 - 1103 Paulsen	76 - Gravesac
B Ecu blanc	DP 2014	0,5247	76 - Fercal	95 - 3309C	76 - 3309C 76 - Fercal 76 - Gravesac 76 - 5BB	76 - Gravesac
B Bressandes Blanc	CL 40	0,2365	76 - Fercal	76 - 3309C	76 - Fercal	95 - Fercal
B Bressandes Blanc	CL 95	0,4141	76 - 333 EM	76 - 3309C 96 - 5C	76 - Fercal	95 - Fercal
B Clos des Mouches Blanc	DP 97	0,515	95 - 3309C	76 - 3309C	95 - 3309C	76 - 1103 Paulsen
B Clos des Mouches Blanc	DP 2016	0,5147	95 - 3309C	76 - 333EM	76 - 5BB	76 - 1103 Paulsen
B Clos des Mouches Blanc	Travers	0,3468	95 - 3309C	76 - 3309C 76 - 333EM	95 - 3309C	96 - 5C
B Clos des Mouches Blanc	DP 86	0,233	95 - 3309C	76 - 3309C	96 - 333EM	

B Clos des Mouches Blanc	DM	0,6062	95 - 3309C	76 - 3309C	96 - 3309C	76 - 333EM
P Folatières		0,3291	76 - 3309C (2) 76 - 333EM	76 - 110 Richter 76 - 5BB	96 - 3309C 76 - 110 Richter	76 - 333EM
Bourgogne Blanc		0,2019	95 - 3309C	95 - Gravesac	76 - Gravesac	76 - Gravesac
Chassagne	Meix Goubard	0,3335	95 - 3309C	95 - 5BB	76 - 5BB 96 - 5C	76 - Gravesac 76 - 5BB
Chassagne	Voillemots	0,2889	95 - 3309C	95 - 5BB 95 - Gravesac	76 - Gravesac	76 - Gravesac 76 - 5BB
Chassagne	Plantes	0,6427	76 - 3309C	76 - Gravesac 95 - Gravesac	76 - Gravesac 96 - 3309C	76 - Gravesac
Ch Chenevottes	AD 275	0,3282	95 - 3309C	95 - 5BB	76 - Fercal 76 - 5BB	76 - 1103 Paulsen
Ch Chenevottes	Travers 6 RGS	0,2682	95 - 3309C	76 - Gravesac 95 - Gravesac	96 - 3309C 76 - Fercal 95 - 3309C	76 - Gravesac 95 - Fercal 96 - 5C
Ch Chenevottes	BAS	0,592	95 - 3309C	76 - Gravesac 95 - Gravesac	96 - 333EM	76 - 333EM 76 - 1103 Paulsen
Ch Chenevottes	GRANDS RGS	0,1349	95 - 3309C	76 - 1103 Paulsen	95 - 3309C 76 - 1103 Paulsen	76 - 5BB
Ch Chenevottes	DP 2019	0,6636	76 - 3309C	76 - Gravesac 95 - 5BB (2) 76 - 1103 Paulsen	76 - Fercal 76 - 1103 Paulsen	76 - 1103 Paulsen

Légendes :

-  Parcelles avec un intérêt moyen, ayant un suivi des mêmes porte-greffes sur plusieurs années
-  Parcelles avec un intérêt élevés pour l'étude
-  Parcelles sélectionnées pour réaliser l'étude

Annexe II : Synthèse de comptation sur le domaine Chanson entre 2019 et 2023 pour les parcelles de Pinot Noir (production personnelle).

APPELLATION	PARCELLE	SURFACE	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
PV Vergelesses	DP 89 94	1,59		PN sup - Gravesac 667 - gravesac	PN sup - Gravesac 777 - 333EM 667 - Fercal	
	DP 67 78	2,5327		PN sup - Gravesac 667 - gravesac PN fin - 333EM	667 - Gravesac 667 - Fercal	
	DP 80	0,678		PN fin - 333EM 777 - Gravesac 777 - 5C	777 - 333EM 667 - Gravesac 667 - 5BB	
	DP 2015	0,51		777 - 5C	667 - 5BB	
S Dominode	DP 51	0,8831	PN sup - 3309C 667 - 3309C	667 - 3309C	667 - Gravesac	
	DP 80 94	0,786	PN sup - 3309C 777 - 3309C	667 - 3309C 667 - Gravesac	667 - Gravesac	
B Clos des Marconnets	DP 88	1,58	PN sup - 3309C	667 - 3309C	667 - 3309C	667 - Gravesac
	DP 79 83	1,326	PN sup - 3309C	667 - 3309C	667 - 3309C 667 - Gravesac 667 - 333EM	667 - Gravesac 667 - 333EM
	DP 99	0,36	PN sup - 3309C	667 - 3309C	667 - 333EM	777 - Fercal
B Clos du Roi	DP 71 72	0,5682	667 - Gravesac 828 - 5BB PN sup - 3309C(8) PN sup - Gravesac (4) 777 - 3309C (2)	PN fin - 333EM	PN sup - Gravesac PN fin - 333EM	
	DP 77 79	0,552	667 - Gravesac 828 - 5BB	667 - Gravesac PN sup - Gravesac	PN sup - Gravesac	667 - Gravesac
	DP 85 91	1,0785	667 - Gravesac	667 - Gravesac 777 - Gravesac	PN sup - Gravesac	667 - Gravesac 667 - 5BB
	DP 2000	0,2225	667 - Gravesac	777 - Gravesac	PN sup - Gravesac 667 - 5BB	667 - 5BB
B Clos des Fèves	DP 90 92 87	1,8505	667 - Gravesac	777 - Gravesac	667 - 3309C 667 - Gravesac	667 - Gravesac
	DP 45 71	0,7744	PN sup - 3309C 667 - Gravesac (2)	667 - 3309C	667 - 3309C	777 - Fercal
	DP 79 83	1,1656	667 - 3309C	667 - 3309C	667 - 3309C	667 - 333EM 777 - Fercal
	CH8	0,334	667 - 3309C	667 - 3309C	777 - 333EM	667 - 333EM

B Ecu Rouge	DP 63	0,2612	PN sup - 3309C 828 - Fercal	667 - Gravesac	667 - 3309C	777 - Fercal
B Bressandes	DP 92	0,9742	667 - Gravesac 828 - Fercal 828 - 5BB	PN fin - 333EM 777 - Fercal 777 - 5C	777 - 333EM 777 - Fercal	777 - 333EM 777 - Fercal
	CN5	0,1262	667 - Gravesac	777 - 5C	777 - Fercal	777 - Fercal
B Grèves	DELOBEL	0,7143	828 - Fercal 828 - 5BB	PN - fin 333EM 777 - Fercal	777 - Fercal 777 - 333EM	777 - 333EM 777 - Fercal
	DP 55	0,777	PN sup - Gravesac 667 - Gravesac	667 - Gravesac	PN sup - Gravesac 777 - 333EM	777 - 333EM 777 - Gravesac
	DP 62	0,5372	667 - Gravesac	777 - Gravesac	PN sup - Gravesac	
B Teurons	DP79 64	0,9626	PN sup - Gravesac	667 - Gravesac 777 - 5BB	PN sup - Gravesac 667 - Gravesac	667 - Gravesac 777 - Gravesac
	DP 86 82	1,4278	PN sup - Gravesac 667 - Gravesac	PN fin - 333EM 777 - Fercal 777 - 5BB	667 - Gravesac 667 - 5BB	667 - Gravesac 667 - 5BB
	CR27	1,0395	667 - Gravesac	667 - Gravesac	PN sup - Gravesac	777 - Gravesac 943 - Gravesac
	CR30	0,4312	667 - Gravesac	PN fin - 333EM	PN fin - 333EM	943 - Gravesac
B Champimonts	DP 80-89	0,665	667 - Gravesac 667 - 3309C	667 - Gravesac	667 - 5BB 667 - Gravesac	
	DP 2010	0,2325	667 - Gravesac			
	DP 51 69	1,1566	667 - Gravesac	PN sup - Gravesac 777 - Fercal	667 - Gravesac 667 - Fercal	667 - Gravesac 777 - Fercal
B Clos des Mouches	DP66	1,4858	667 - Gravesac	PN sup - Gravesac PN fin - 333EM 667 - Gravesac	PN sup - Gravesac 777 - 333EM	777 - 333EM 777 - Gravesac
	DP 65 72	0,5414	667 - Gravesac	PN sup - Gravesac	PN sup - Gravesac	777 - Gravesac 777 - Fercal
B Vignes Franches	DP 50 51	0,103	667 - Gravesac	PN sup - Gravesac	667 - Gravesac	

Légendes :



Parcelles avec un intérêt moyen, ayant un suivi des mêmes porte-greffes sur plusieurs années



Parcelles avec un intérêt élevés pour l'étude



Parcelles sélectionnées pour réaliser l'étude

Annexe III : Organisation du déroulé de l'étude sur les porte-greffes sur une année à destination des futurs stagiaires. Planning comprenant les mesures à réalisées et l'entretien des pieds (production personnelle).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Stade	Taille		Débourre ment		Floraison	Nouaison		Maturité et vendanges			Taille	

Protocoles à mettre en place	Débourrement												
	Floraison												
	Chlorose												
	Apex												
	Chambre à pression												
	N-tester												
	Nombre de grappes												
	Carences												
	Poids et taille des grappes (estimation)												
	Diamètre et élongation des rameaux												
	Véraison												
	Analyses maturité												
	Poids de la vendanges (réel)												
	C13 des moûts												
	Mortalité												
	Diamètre du tronc et des bois												

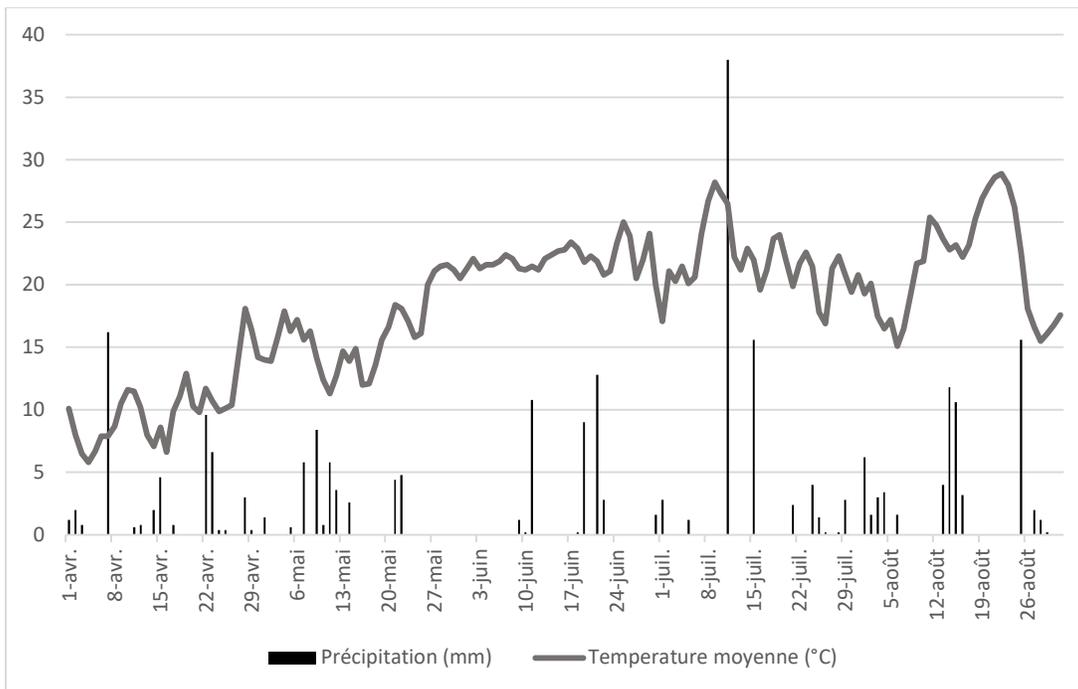
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Stade	Taille		Débourrement		Floraison	Nouaison		Maturité et vendanges			Taille	

Entretien des pieds	Taille													
	Désherbage manuel													
	Ebourgeonnage													
	Pallissage et attache des jeunes pieds													
	Vendanges													

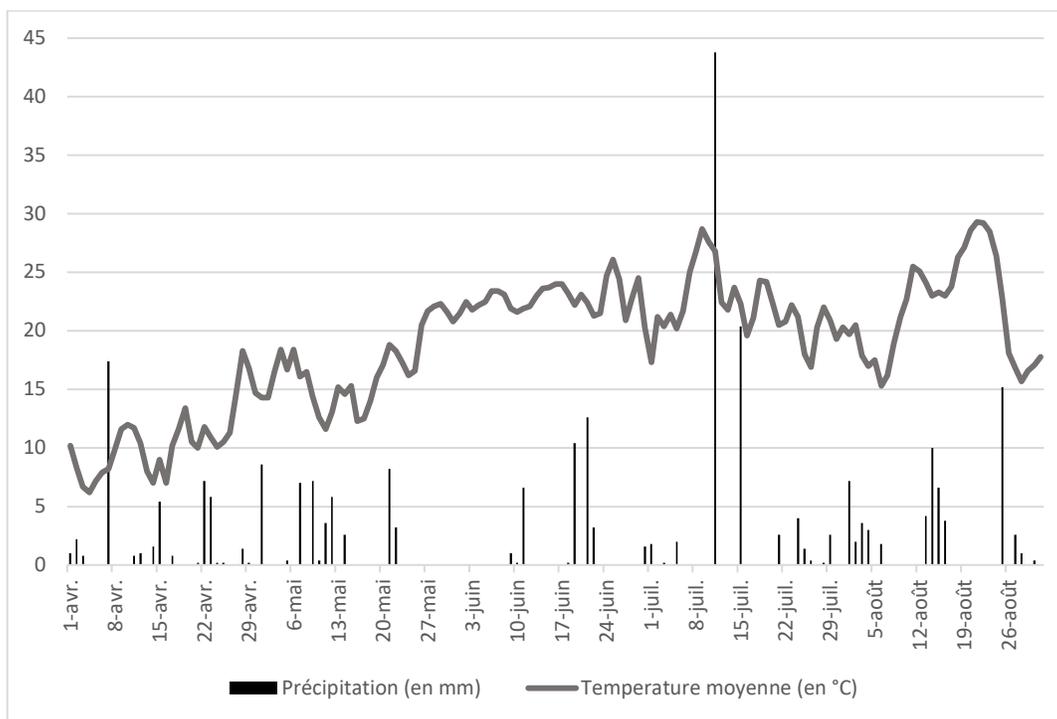
Annexe IV : Tableau récapitulatif des analyses à réaliser chaque année dans le cadre de l'étude (production personnelle)

Paramètre suivi	Protocole	A0 - 2023	A1 - 2024	A2 - 2025	A3 - 2026	A4 - 2027	A5 - 2028	A6 - 2029	A7 - 2030
Phénologie	Débourrement	X	X	X	X	X	X	X	X
Phénologie	Floraison		Peut-être	X	X	X	X	X	X
Phénologie	Véraison			X	X	X	X	X	X
Phénologie	Maturité			X	X	X	X	X	X
Phénologie	Vendanges			X	X	X	X	X	X
Etat hydrique de la plante	Méthode apex	X	X	X	X	X	X	X	X
Etat hydrique de la plante	Chambre à pression		X	X	X	X	X	X	X
Etat hydrique de la plante	Carbone C13		Peut-être	X	X	X	X	X	X
Vigueur	NDVI ou N-tester	X	X	X	X	X	X	X	X
Vigueur	Diamètre et élongation rameaux	X	X	X	X	X	X	X	X
Vigueur	Poids des bois de taille	X	X	X	X	X	X	X	X
Rendement	Nombre de grappes		Peut-être	X	X	X	X	X	X
Rendement	Poids et taille des grappes			X	X	X	X	X	X
Rendement	Réel aux vendanges		X	X	X	X	X	X	X
Intéraction	Chlorose et carence	X	X	X	X	X	X	X	X
Intéraction	Mortalité	X	X	X	X	X	X	X	X
Arrachage						Clos des mouches	Champimonts rouge		Pernand Caradeux Nord

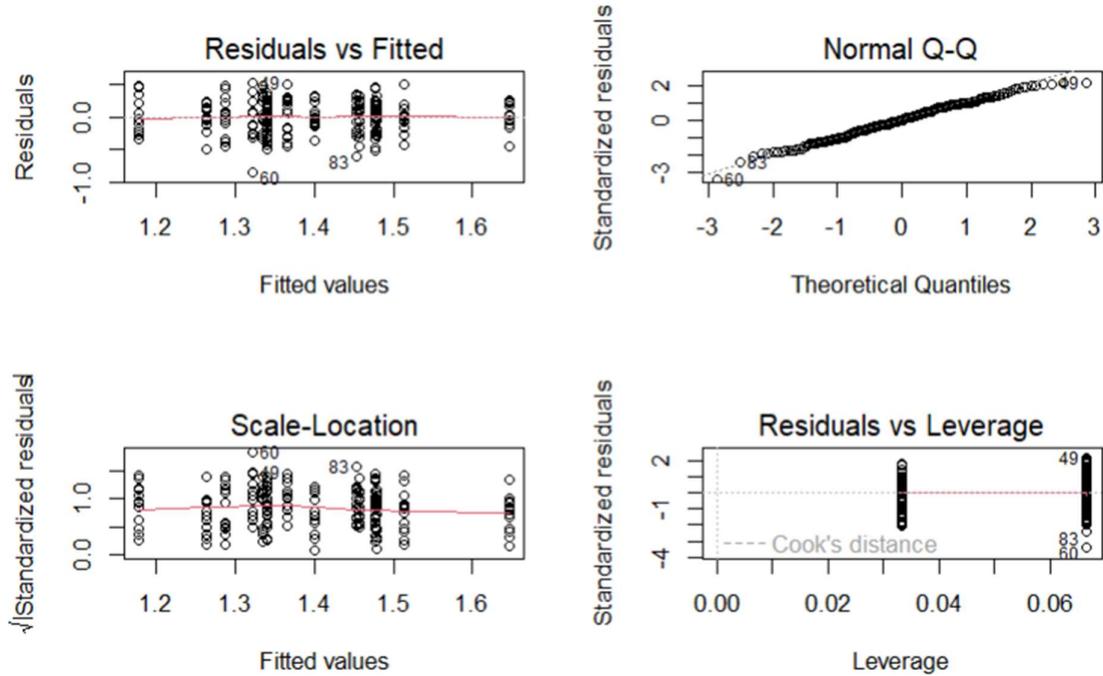
Annexe V : Diagramme ombrothermique reprenant la température moyenne et la pluviométrie de la ville de Pernand-Vergelesses entre avril et août 2023. Données de la station météo de la Coopérative Bourgogne du Sud sur Beaune (production personnelle).



Annexe VI : Diagramme ombrothermique reprenant la température moyenne et la pluviométrie de la ville de Ladoix entre avril et août 2023. Données de la station météo de la Coopérative Bourgogne du Sud sur Beaune (production personnelle).



Annexe VII : Graphique de vérification des hypothèses du modèle de l'Anova pour la longueur des rameaux complété par les résultats au test de Shapiro et de Bartlett.



Shapiro-wilk normality test

```
data: residuals(anova4)
w = 0.99156, p-value = 0.1826
```

Bartlett test of homogeneity of variances

```
data: residuals(anova4) and Data2$Modalite
Bartlett's K-squared = 16.457, df = 13, p-value = 0.2253
```


Annexe VIII : Photographie d'un pied greffé sur le porte-greffe 333EM présentant des symptômes d'échaudage. (Corton, production personnelle).



Annexe IX : Photographie d'un pied greffé sur le porte-greffe Gravesac mort à la suite d'un déficit hydrique trop important (Beaune, production personnelle).



Titre : Etude comportementale des porte-greffes en Bourgogne

Résumé

Face aux changements climatiques, les pratiques culturales des vignobles français sont bouleversées. L'augmentation des températures et les épisodes de sécheresse de plus en plus fréquents, ne sont pas sans conséquences sur la viticulture. De nombreuses adaptations au vignoble sont possibles comme le système de conduite, la densité de plantation ou l'irrigation, mais aussi le matériel végétal et surtout les porte-greffes. Utilisés depuis la crise phylloxérique, il en existe une grande variabilité, mais souvent, comme dans le vignoble bourguignon, une faible diversité est utilisée. L'objectif de cette étude est de tester un panel de porte-greffes composé du 3309C, 5BB, Gravesac, Fercal, 1103P, 110R et 333EM dans les conditions du domaine. La mise en place de l'étude s'est faite pour cette première année sur des complants âgés d'un an. Les résultats de l'étude ont permis de mettre en évidence des porte-greffes intéressants face à la sécheresse, comme le 333EM ou le 1103P. Cependant, le porte-greffe 3309C semble peu adapté à la sécheresse et ne semble pas recommandé sur des terroirs sensibles. La majorité des parcelles et des porte-greffes n'ont pas montré de différences significatives. L'âge des pieds peut être la raison expliquant ses résultats. La suite de l'étude dans les années à venir permettra d'approfondir ceux observés cette année.

Mots clés : changement climatique, porte-greffe, sécheresse, terroirs de Bourgogne

Pour citer ce document : Christ, Carole. (2023). Etude comportementale des porte-greffes en Bourgogne. Mémoire d'Ingénieur Agronome, option Viticulture-Œnologie, L'Institut Agro Montpellier, 108 p.