



**HAL**  
open science

# La diversité variétale comme levier d'adaptation au changement climatique : aptitudes agronomiques et oenologiques de 14 cépages étrangers dans le Languedoc

Éric Cheylus

## ► To cite this version:

Éric Cheylus. La diversité variétale comme levier d'adaptation au changement climatique : aptitudes agronomiques et oenologiques de 14 cépages étrangers dans le Languedoc. *Agronomie*. 2021. dumas-03719861

**HAL Id: dumas-03719861**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03719861>**

Submitted on 24 Jul 2022

**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 d'agronome  
Option/Parcours : Viticulture-Oenologie**

**La diversité variétale comme levier d'adaptation au  
changement climatique : aptitudes agronomiques et  
œnologiques de 14 cépages étrangers dans le Languedoc**



**par Eric CHEYLUS**

**Année de soutenance : 2021**

**Organisme d'accueil : Groupe ICV**



# **Mémoire de fin d'études**

**présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'agronome  
Option/Parcours : Viticulture-Oenologie**

**L'innovation variétale comme levier d'adaptation au  
changement climatique : Potentiel agronomique et œnologique  
de 14 cépages étrangers dans le Languedoc**



Grillure sur Morrastel (03/09, Aniane, Eric Cheylus)

**par Eric CHEYLUS**

**Année de soutenance : 2021**

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

**Organisme d'accueil : Groupe ICV  
Maître de stage : Jacques Rousseau**

**Présenté le : 09/11/2021**

**devant le jury :**

**[Thierry Lacombe]**

**[Didier Ollé]**



« la connaissance et le choix judicieux du cépage, voilà la base du progrès viticole, le principe des bons vins, la source de la richesse de nos crus, la puissance colonisatrice de nos déserts »  
Guyot J. 1860. *Culture de la vigne et vinification*.



## RESUME

Les effets du changement climatique prévus dans le Languedoc sont une augmentation des températures, une augmentation de l'évapotranspiration ainsi que des aléas climatiques plus fréquents et intenses comme le gel, la sécheresse et les vagues de chaleurs. Le rendement de la vigne et la qualité de la vendange sont impactés, produisant au final des vins plus fréquemment déséquilibrés. Des travaux sont nécessaires sur les leviers d'adaptations au changement climatique afin d'améliorer la résilience des agrosystèmes viticoles. La diversité variétale en est un. Cette étude s'intéresse au potentiel agronomique et œnologique de 14 variétés étrangères cultivées dans le Languedoc.

Quatorze variétés ont été suivies au cours du millésime 2021, de juin à la vendange, sur huit sites et 21 modalités : 7 variétés blanches Alvarinho B, Assyrtiko B (2), Malvasia Istriana B, Parellada B, Verdejo B, Verdelho B, Xarello B, et 7 variétés noires Saperavi N (2), Touriga nacional N, Baga N, Aléatico N, Montepulciano N (2), Primitivo N (3), Calabrese N (3). Leur phénologie a été comparée à partir des informations disponibles dans la Base de données du Réseau Français des Conservatoires de Vigne, © INRA-IFV-SupAgro 2005-2015. Le nombre de grappes par rameaux issus des contre-bourgeons, bourillons et bourgeons du vieux bois a été compté pour évaluer leur résilience potentielle à un épisode de gel post-débourrement. L'état hydrique de la vigne a été suivi par le potentiel de tige, l'observation de symptômes foliaires de sécheresse et par  $\delta^{13}\text{C}$  sur moût. La sensibilité au mildiou, au black rot, et à l'oïdium ont été évaluées par calcul des fréquences et intensités d'attaques sur feuilles et sur grappes ainsi que la pourriture grise sur grappes. La composition des baies a été suivie entre la fin véraison et la vendange. Le rendement moyen par souche et le poids moyen d'une grappe ont été calculés.

Une ACP sur 42 stations climatiques à partir des indices de la classification climatique multicritères (indices de Huglin, fraîcheur des nuits, sécheresse) a été réalisée afin de confronter les données récoltées pendant le millésime 2021, sur la base de l'hypothèse que les plantes en provenance de régions chaudes et sèches ont des adaptations génétiques leur permettant de mieux supporter ces conditions climatiques.

### Mots clés

Changement climatique, Cépage étranger, Languedoc, Classification climatique multicritères

[Cheylus, Eric, 2021. La diversité variétale comme levier d'adaptation au changement climatique : potentiel agronomique et œnologique de 14 cépages étrangers dans le Languedoc. Mémoire de fin d'étude ingénieur agronome option viticulture-œnologie, Montpellier SupAgro. 97p.]





## ABSTRACT

Climate change effects in Languedoc include an expected rise in temperatures, increased evapotranspiration as well as more severe and frequent climatic hazards, such as frost, drought periods and heat waves. For winegrowers these phenomena impact both yield and quality, resulting in more frequent unbalanced wines. Research on identified mitigation tools for vineyard management is necessary to improve resilience of grapevine agrosystems. Varietal assortment is one of them. This study focuses on agronomic and oenologic potential of 14 foreign varieties grown in Languedoc French region.

Fourteen grapevine varieties were monitored during 2021 from June until harvest on eight different sites, some of which occurring on more than one site adding up to 21 different modalities: 7 white varieties Alvarinho B, Assyrtiko B (2), Malvasia Istriana B, Parellada B, Verdejo B, Verdelho B, Xarello B, and 7 black varieties Saperavi N (2), Touriga nacional N, Baga N, Aléatico N, Montepulciano N (2), Primitivo N (3), Calabrese N (3). Varietals were compared through the following parameters: phenology was assessed by using the information collected in the Database Network of French Vine Conservatories. The number of inflorescences for shoots from secondary buds and bourrillons and suckers were observed to assess post-bud break frost tolerance potential. Grapevine water status was studied through stem water potential measurement, observation of foliage symptoms of drought, and  $\delta^{13}\text{C}$  on must. Frequencies and intensities of downy mildew, powdery mildew, and black rot attacks were estimated before harvest on leaves and clusters and botrytis at harvest to assess disease susceptibilities. Berry composition was monitored from end of veraison until harvest. Yield and mean bunch weight were also calculated.

Forty two stations of the Mediterranean basin were compared by PCA with the Multicriteria Climatic Classification indicators (Huglin index, Cool night index, Dryness index) in order to confront the collected information during 2021 campaign to the hypothesis that plants coming from dry and hot regions are genetically adapted to such climatic conditions.

### Key words

Climate change, foreign varieties, Languedoc, Multicriteria climate classification



## REMERCIEMENTS

Je remercie mon maître de stage M. Jacques Rousseau de m'avoir proposé ce sujet d'étude passionnant, ainsi que pour sa confiance et ses suggestions avisées.

Je remercie l'ensemble des sondés M. D. Viguier, Mme. V. Didier, Mme. Fortin, M. L. Audeguin, M. O. Yobregat, M. T. Dufourcq, M. T. Grimal, M. H. Ojeda, Mme. A. Pellegrino, M. L. Hilaire pour leur disponibilité et leur générosité dans le transfert d'informations.

Cette étude n'aurait évidemment pu avoir lieu sans le concours de domaines ayant acceptés de mettre leurs parcelles à disposition dont je salue le sens du partage.

Je ne manque pas non plus de remercier Flora, Violette, Capucine, Josselin, Arthur qui m'ont accompagné plein de bonne volonté lors de longues journées de terrain et pour tout ce qu'ils m'ont appris au travers de leurs expériences respectives.

Enfin, je remercie sincèrement mon tuteur de stage M. Thierry Lacombe pour sa bienveillance et ses recommandations.



## TABLE DES MATIERES

Resumé.....	7
Abstract.....	9
Remerciement.....	11
Tables des Matières.....	13
Glossaire.....	15
Sigles et acronymes .....	19
Introduction .....	21
1 Conséquences du changement climatique sur la vigne et le vin et adaptation de <i>Vitis vinifera</i> aux contraintes abiotiques.....	23
1.1 Effets du changement climatique : conséquences sur la vigne et le vin .....	23
1.1.1 Augmentation de la température atmosphérique .....	23
1.1.2 Augmentation de la sécheresse .....	25
1.1.3 Augmentation de l'ensoleillement.....	27
1.1.4 Amplification des aléas climatiques .....	27
1.2 Stratégies d'adaptations de <i>Vitis vinifera</i> aux contraintes abiotiques:.....	29
1.2.1 Adaptation à la chaleur .....	29
1.2.2 Adaptation à la sécheresse .....	29
1.2.3 Adaptation à la lumière.....	33
1.2.4 Adaptation au gel.....	33
2 Matériel et méthodes.....	35
2.1 Méthodologie d'enquête et recensement parcellaire.....	35
2.1.1 Enquête .....	35
2.1.2 Recensement parcellaire .....	35
2.2 Méthodes d'évaluations du potentiel agronomique .....	37
2.2.1 Caractéristiques agronomiques générales.....	39
2.2.2 Sensibilité au gel.....	41
2.2.3 Sensibilité à la sécheresse.....	41
2.2.4 Sensibilité à la chaleur .....	45
2.2.5 Compléments pour l'interprétation des résultats .....	47
2.3 Méthodes de mesures des caractéristiques des baies .....	47
3 Résultats et discussion .....	49
3.1 Enquête et recensement.....	49
3.1.1 Conclusions de l'enquête.....	49
3.1.2 Bilan du recensement.....	51
3.2 Potentiel agronomique des cépages étrangers.....	55
3.2.1 Caractéristiques agronomiques générales.....	55
3.2.2 Sensibilité au gel.....	65
3.2.3 Sensibilité à la sécheresse .....	67
3.2.4 Sensibilité à la chaleur .....	73
3.2.5 Compléments pour l'interprétation des résultats .....	73
3.3 Caractéristiques du raisin .....	75
3.4 Discussion .....	79
3.4.1 Bilan sur les cépages étrangers: confrontation avec la bibliographie existante	79
3.4.1 Lien entre le climat de la zone de production d'origine et le comportement observé en Languedoc .....	81



Conclusion.....	85
Bibliographie.....	87





## GLOSSAIRE

Adaptation (génétique) : processus de constitution de nouvelles combinaisons alléliques, au cours des générations, aboutissant à un génotype plus adapté.

Stratégie de tolérance (exemple par rapport à la sécheresse : anisohydrie) consiste à maintenir des niveaux de transpiration et de photosynthèse significatifs indépendamment des conditions hydriques environnantes. En situation de sécheresse, le contrôle stomatique est plus faible et les organes présentent une diminution du potentiel hydrique (Schultz, 2003)

Stratégie d'évitement (exemple par rapport à la sécheresse : isohydrie) : capacité d'une plante à maintenir à des niveaux élevés le potentiel hydrique dans ses tissus. Ce comportement face à la sécheresse nécessite la mise en place de mécanismes permettant d'augmenter l'absorption en eau et/ou d'en réduire les pertes. Cela implique également une fermeture rapide des stomates afin de limiter les pertes en eau et donc de maintenir le potentiel hydrique de la plante à des valeurs élevées (Schultz, 2003).



## SIGLES ET ACRONYMES

BEI/BES : Barre d'erreur inférieure/Barre d'erreur supérieure

CCM : Classification climatique multicritère ; elle est basée sur trois indices : l'indice de huglin, l'indice de fraîcheur des nuits, et l'indice de sécheresse

F : Fréquence de symptômes de sécheresse. A l'échelle d'un cep, est égale au rapport entre le nombre de feuilles présentant du jaunissement et le nombre de rameaux observés. Elle s'exprime donc en nombre de feuilles/rameau.

FIIG : Fertilité de « deuxième génération » : somme du nombre de grappes issu d'un bourgeon du vieux-bois, d'un bourillon et d'un contre-bourgeon ; évalue la résilience d'un cépage à un épisode de gel post-débourrement, à travers son potentiel de remise à fruits.

ACP : Analyse en Composantes Principales; méthode de représentation graphique dans un plan (à deux dimensions) de N individus décrits par un nombre k (>2) de variables.

$\langle X \rangle_Y$  = moyenne de la variable X observée sur Y individus

ApH<sub>x</sub> : ApH<sub>1</sub> : teneur totale en anthocyanes des raisins. Ce paramètre donne une idée de la maturation du raisin. Il évolue avec une croissance, un plateau et une chute finale parfois observée en fin de maturation. ApH<sub>3,2</sub> : teneur en anthocyanes facilement extractibles. Ce paramètre correspond à une extraction dans un moût (pH 3,2). En plus du stade de maturation du raisin, il fournit une prédiction de l'extraction de la couleur dans la cuve [13]

IPT : teneur totale en polyphénols. Ce paramètre fournit une valeur du potentiel tanins + anthocyanes. Il évolue peu au cours de la maturation car la teneur en tanins, qui est fixée dès la véraison, représente la majeure partie de l'indice [13]



## INTRODUCTION

Les effets du changement climatique se ressentent déjà dans l'ensemble des vignobles français, et plus particulièrement en Languedoc-Roussillon où les aléas climatiques des dernières années ont marqués les esprits : les vagues de chaleur et de sécheresse en 2017 et 2019, de 2018 associée à une attaque de mildiou sans précédent, la gelée noire du printemps 2021, concourent à un contexte de niveau de production et de qualité toujours plus incertain.

Les acteurs de la filière sont mobilisés pour améliorer la résilience du vignoble en étudiant l'ensemble des leviers d'adaptations, qu'ils soient agronomiques ou œnologiques. Parmi les leviers agronomiques figurent à la fois les pratiques culturales et le matériel végétal au sens large (porte-greffes, cépages, clones).

Le groupe ICV, sensibilisé depuis longtemps aux attentes sociétales a contribué activement au développement des cépages résistants aux maladies cryptogamiques. Le groupe souhaite étendre son champs d'expertise sur l'intérêt de la diversité variétale comme levier d'adaptation au changement climatique, axe important identifié par le projet Lacavve (INRAE) notamment dans le cadre de la stratégie d'adaptation « conservatrice » privilégiée par les professionnels de la filière vitivinicole [1].

Existe-t-il des cépages plus tolérants aux contraintes abiotiques ? Sur quels caractères s'appuyer et comment les observer ? Quelles sont les caractéristiques agronomiques et œnologiques des cépages étrangers classés afin de mieux les conseiller ?

L'étude se focalise sur les cépages étrangers et laisse de côté les cépages patrimoniaux pour des raisons de disponibilité en temps et en moyens. Elle a consisté à recenser les effets connus du changement climatique dans une première partie bibliographique puis à organiser des observations agronomiques en fonction des critères retenus et à caractériser les aptitudes œnologiques par des vinifications à la cave expérimentale. Ce rapport présente les données bibliographiques et les observations au vignoble.



# **1 Conséquences du changement climatique sur la vigne et le vin et adaptation de *Vitis vinifera* aux contraintes abiotiques**

## ***1.1 Effets du changement climatique : conséquences sur la vigne et le vin***

### ***1.1.1 Augmentation de la température atmosphérique***

Le changement climatique est caractérisé par une augmentation de la température atmosphérique à l'échelle de la planète. Selon les scénarios du GIEC et des émissions de gaz à effet de serre, cette augmentation pourrait atteindre + 6°C en 2050 [2]. Sur le bassin méditerranéen, une augmentation importante des températures du mois de janvier et de juillet sont à prévoir, et donc de l'indice de Huglin (Moriondo et al. 2013). L'étude citée confirme les résultats obtenus par Malheiro et al, 2010.

Les conséquences de cette élévation des températures sont multiples, et varient selon le stade de développement de la vigne :

On observe une avancée de tous les stades phénologiques, qui débute par un débourrement plus précoce, du fait d'une levée de l'écodormance plus rapide (Fraga et al., 2016; Moriondo et al., 2013). L'augmentation des températures pendant la période hivernale peut également entraîner une perturbation de la levée de l'endodormance, aux conséquences multiples : hétérogénéité de débourrement, impact sur la fertilité, la maturation des baies et in fine la qualité des vins [3]

Des phénomènes de grillure sur feuilles et sur baies peuvent avoir lieu lors des périodes de fortes chaleurs ainsi que de flétrissement des baies par perte d'eau par évaporation (Bonada et al., 2013). Ces phénomènes entraînent donc principalement des pertes de rendement.

L'avancée des stades phénologiques se rajoute à l'augmentation des températures moyennes estivales et entraînent des conditions de maturation des baies sous un climat plus chaud, ce qui peut altérer leur composition:

Au niveau des métabolites primaires, des températures élevées pendant la phase de maturation entraînent une accélération de la dégradation de l'acide malique (Buttrose et al., 1971; Ruffner et al., 1976) et une diminution de l'acidité totale (Barnuud et al., 2014). La performance de la photosynthèse étant par ailleurs améliorée, la maturité technologique du raisin est obtenue plus rapidement (Kizildeniz et al., 2018). Au final, une augmentation modérée des températures favorise la concentration en sucres, ce qui peut entraîner des vins excessivement alcooleux et masquant les arômes variétaux (Mira de Orduña, 2010).

La synthèse des précurseurs aromatiques est également affectée : Blancquaert et al., 2019; Šuklje et al., 2017, 2012 constatent une diminution des teneurs en IBMP, rotundone, et thiols. Des températures élevées en phase de maturation peuvent





également avoir un effet favorable sur le potentiel qualitatif de la vendange, comme la réduction de la concentration en pyrazines (Šuklje et al. 2012)

Sur les anthocyanes, une diminution de leur concentration peut être observée (Kliwer et Torres, 1972; Mira de Orduña, 2010; Mori et al., 2005). Une étude récente a montré que l'effet cumulé d'une augmentation des températures et de la concentration en CO<sub>2</sub> entraîne un découplage de l'accumulation des sucres et des anthocyanes pendant la maturation (Kizildeniz et al., 2018).

L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dont découle l'augmentation de la température atmosphérique, a elle-même un effet sur la vigne et le vin. Une étude a par exemple montré qu'il entraîne une baisse du pH du vin ainsi qu'une augmentation de la concentration en acide tartrique (Kizildeniz et al., 2018). L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique a donc un effet contraire à celui de la hausse des températures (baisse de l'acidité).

### ***1.1.2 Augmentation de la sécheresse***

L'augmentation de la température atmosphérique entraîne une augmentation de l'évapotranspiration par augmentation de la pression de vapeur saturante, et donc une augmentation de la contrainte hydrique. Ainsi, les calculs basés sur les prévisions météorologiques sur le bassin méditerranéen prévoient une augmentation du déficit hydrique (Moriondo et al. 2013 ; Malheiro et al, 2010).

Lors des premiers stades de développement de la vigne, une contrainte hydrique modérée entraîne un ralentissement de la croissance végétative. La surface externe de couverture végétale diminue et en conséquence la photosynthèse également. En cas de contrainte hydrique forte, les stomates se ferment et la photosynthèse est arrêtée. Lors de la maturation des baies, le chargement en sucres dans la baie est arrêté, entraînant un blocage de maturité. La mise en réserve peut également être impactée.

Des conditions de sécheresse en année N peuvent avoir des conséquences sur le cycle végétatif de la vigne en année N+1. En effet, un stress hydrique pendant la maturation des baies peut altérer la dormance par diminution de la durée d'endodormance, augmentation de la durée de l'écodormance, résultant en un débourrement plus précoce (Shellie et al., 2018).

Les effets d'une contrainte hydrique sur les baies varient selon son intensité et le stade de développement végétatif de la vigne :

La sécheresse affecte le rendement de la vigne. Lors d'une contrainte hydrique à la floraison, la diminution de la photosynthèse entraîne une diminution de la taille des baies et des inflorescences (Guilpart et al., 2014). Une baisse de rendement peut également avoir lieu si elle intervient entre floraison et véraison (Shellie, 2006) à cause d'une baisse de croissance cellulaire (Khan, 2011; Lovisolo et al., 2010). Lors de la maturation des baies, des pertes d'eau par flétrissement peuvent également entraîner une diminution du rendement. Un déficit hydrique entre floraison et véraison entraîne une baisse de fertilité en année N+1 par une diminution du nombre et de la taille des inflorescences (Carbonneau et al., 2020).



Le déficit hydrique modifie également la composition des baies: Tregoat et al., 2002 a montré qu' une contrainte hydrique modérée à forte entraîne des baies riches en sucres, en anthocyanes et en composés phénoliques et pauvres en acide malique. Dans cette étude, les teneurs les plus élevées en anthocyanes et en composés phénoliques ont été obtenues dans la modalité ayant subi une très forte contrainte hydrique. Ces résultats sont confirmés par les travaux de Hochberg et al., 2015. Ainsi, il existe un effet important du déficit hydrique sur la composition des baies à maturité.

Sur Cabernet-Sauvignon, un stress hydrique entraînant un flétrissement modéré des baies, a même amélioré la qualité des baies du point de vue de leurs teneurs en polyphénols et en activité antioxydante. Néanmoins, en cas de flétrissement important, l'impact est alors défavorable (Fang et al. 2011). Ces conclusions ne sont pas partagées sur la Syrah où le flétrissement a entraîné une baisse des concentrations en anthocyanes, éthanol et esters défavorable à la qualité dans une autre étude (Sulkje et al. 2016).

### ***1.1.3 Augmentation de l'ensoleillement***

La conséquence de l'avancée des stades phénologiques est une maturation des baies à une période de l'année pendant laquelle l'intensité lumineuse est plus élevée et la durée d'ensoleillement supérieure. L'augmentation de l'intensité lumineuse a des effets directs sur la vigne et la composition des baies : Les cellules du mésophylle peuvent être détériorées par photo-oxydation (Kocsis et al., 2017), ce qui affecte la photosynthèse. La lumière stimule néanmoins la synthèse des flavanols, caroténoïdes, norisoprénoïdes, monoterpènes et thiols (Blancquaert et al., 2019; Šuklje et al., 2012) et par la même améliore le potentiel qualitatif de la vendange.

### ***1.1.4 Amplification des aléas climatiques***

A l'échelle mondiale, il apparaît que les périodes de canicule sont plus fréquentes et plus longues (Alexander et al., 2006). En méditerranée, on observe une augmentation des périodes de sécheresses extrêmes (Raymond et al., 2019). A l'inverse, les froids intenses ainsi que le risque de gels précoces (Walsh et al., 2001) sont moins fréquents lors des dernières décennies (Alexander et al., 2006). Aux Etats Unis, même si on observe une augmentation des températures moyennes, il n'y a pas de diminution de la fréquence des phénomènes extrêmes (Walsh et al., 2001, Kunkel et al. 2004).

Les conséquences sur la vigne varient selon le type d'aléa climatique :

Concernant le gel, malgré des risques de gels précoces plus faibles, les dégâts occasionnés sont susceptibles d'être plus importants (Augspurger 2013, Inouye 2008) du fait d'un débourrement plus précoce. En effet, après débourrement, les feuilles de la vigne sont très sensibles aux températures négatives (détruites à -2°C) contrairement aux bourgeons pendant la période de dormance (détruits à -20°C). La destruction des rameaux principaux peut entraîner le débourrement des bourgeons secondaires beaucoup moins fertiles (Carbonneau et al, 2015) impactant fortement



le rendement.

A l'inverse, des températures très élevées et/ou cumulées à des périodes sèches peuvent entraîner des embolies allant jusqu'à la mort du cep (Zufferey et al. 2011). Concernant les baies, des phénomènes de grillure et de flétrissement extrême peuvent avoir lieu (Kizildeniz et al 2018). Une période caniculaire altère le chargement en sucre et la maturation des baies (Greer and Weston, 2010). Finalement, des périodes caniculaires entraînent une augmentation de la concentration en sucres, une baisse significative du rendement et de l'acidité totale, ce qui entraîne des vins déséquilibrés. (Bucur and Babes, 2016).

## **1.2 Stratégies d'adaptations de *Vitis vinifera* aux contraintes abiotiques:**

### **1.2.1 Adaptation à la chaleur**

L'adaptation à la chaleur chez *Vitis vinifera* passe principalement par la phénologie. Si les différences sont peu marquées au débourrement et à la floraison elles sont davantage marquées au niveau de la maturité (McIntyre et al., 1982). En effet, au sein de la diversité variétale de *Vitis vinifera*, les besoins en degré-jours pour atteindre la maturité des baies varient de 1300°C à plus de 2900°C.

Egalement, des différences de sensibilité variétale à la grillure s'expliquent par les caractéristiques des grappes, à savoir leur couleur et leur compacité.

La composition en acides à la vendange qui est cépage-dépendant, peut donc aussi être un critère pertinent pour sélectionner une variété (Kliewer et al. 1987).

### **1.2.2 Adaptation à la sécheresse**

L'adaptation à la sécheresse chez *Vitis vinifera* se traduit de plusieurs manières :

Premièrement par des caractéristiques anatomiques divergentes :

Il se pourrait que l'anatomie des vaisseaux du xylème, plus grand chez le Grenache (cépage isohydrique) que la Syrah (cépage anisohydrique) soit un déterminant du caractère (an)isohydrique (Gerzon et al., 2015).

Une autre étude montre que le transport de l'eau par la plante dépend de la surface du xylem par rapport à la section totale de la tige, et est cépage dépendant. Le Cabernet-Sauvignon par exemple, dispose d'un ratio supérieur à celui du Merlot, ce qui affecte la conductance stomatique (Tramontini et al., 2013).

Des différences au niveau de la composition des feuilles entre cépages ont déjà été observées, à savoir la composition des cires épicuticulaires et des lipides et l'épaisseur du parenchyme palissadique pourraient jouer un rôle dans l'adaptation à la sécheresse (Chaves et al. 2010).

La phénologie, qui est cépage-dépendant, peut également être considérée comme un trait d'adaptation à la sécheresse ; En effet, un cépage à cycle très court peut alors mûrir avant même l'arrivée des périodes de sécheresse (stratégie d'évitement). L'efficacité de l'utilisation de l'eau et la conductance stomatique varient selon les



cépages, contrairement à l'efficacité de la photosynthèse. Cela suggère que les divergences variétales dans l'efficacité de l'utilisation de l'eau sont liées aux mécanismes de régulation stomatique (Chaves et al., 2010).

On définit le comportement isohydrique d'un cépage comme le maintien d'un potentiel hydrique élevé par la réduction des pertes en eau par fermeture stomatique rapide (Coupel-Ledru et al., 2014; Soar et al., 2006). L'absorption de l'eau est également meilleure chez les cépages isohydrique puisqu'on observe une augmentation de la profondeur, de la densité et de l'efficacité de l'enracinement (Shao et al., 2008).

Une étude a cherché à étudier la contribution des facteurs hydrauliques et chimiques dans la régulation stomatique entre deux cépages, l'un considéré comme sensible à la sécheresse, le Mavrodafni, et l'autre plus tolérant (le Sabatiano). Il en ressort que ces deux cépages présentent des mécanismes de régulation stomatique divergents : pour le Mavrodafni, la régulation stomatique est basée principalement sur un signal chimique (l'acide abscissique), alors que pour le Sabatiano, la régulation stomatique n'est pas seulement liée à l'acide abscissique. En effet, en réponse au stress hydrique, la conductance stomatique de ce cépage baisse plus précocement que celle du Mavrodafni et en l'absence d'une augmentation de la concentration en acide abscissique. Un effet de la conductance hydraulique de la plante est cité comme hypothèse (Beis and Patakas, 2010).

Une étude récente a montré que le gène *VyPYL9*, présent chez la vigne, incorporé chez *Arabidopsis*, lui confère une hypersensibilité à l'acide abscissique et une meilleure tolérance à la sécheresse. Ainsi, ce gène pourrait être impliqué dans la tolérance à la sécheresse chez la vigne (Liu et al. 2019). Il convient de noter que cette étude a porté sur un gène présent chez *Vitis yeshanensis* et non *Vitis vinifera*.

Il existe des différences de sensibilité à la cavitation entre cépages : une étude portant sur le lien entre les mécanismes de tolérance à la sécheresse au niveau foliaire et la sensibilité à la cavitation a montré que le Parellada, le Tempranillo et le Grenache noir sont plus vulnérables à la cavitation que le Chardonnay et le Sauvignon blanc. Par ailleurs, il n'existe pas de lien entre la sensibilité à la cavitation et les mécanismes de tolérance à la sécheresse à l'échelle de la feuille. Ainsi le Grenache noir, cépage isohydrique utilisé comme « modèle » de cépage tolérant à la sécheresse est plus sensible que le Chardonnay à l'embolie (Alsina et al., 2007).

L'angulation de la feuille par rapport au rameau est un indicateur clé de la sensibilité à la sécheresse de la vigne puisque qu'il varie selon la contrainte hydrique et l'état de turgescence (Smart. 1974). Cette observation est confirmée par une étude récente, qui indique que l'angle foliaire est fortement corrélé (coefficient de détermination de 0,73 et 0,86 selon la méthode de mesure de l'angle) avec le potentiel foliaire chez la vigne (Briglia et al., 2020). Ce phénomène est également impliqué dans la tolérance au stress hydrique puisque la variation de l'angle entraîne une baisse de la charge radiative sur la feuille, et donc de sa température, de la conductance stomatique et de sa transpiration, minimisant l'inhibition du photosystème II et contribuant à la préservation de l'eau dans la feuille (Gamon et Pearcy, 1989; Palliotti et al., 2008).





Les paramètres cépage-dépendants affectant la sensibilité au flétrissement sont l'épaisseur des baies (Riva et Peri, 1986), leur couleur et la compacité des grappes. Ces deux derniers paramètres affectent la température des grappes, et donc également le vitesse de flétrissement (Riva et Peri, 1986).

Par ailleurs, il y aurait deux stratégies présentes chez la vigne dans les derniers stades de développement des baies : soit la mort programmée des cellules péricarpiques avec perte de membranes osmotiquement compétentes (comme pour le Chardonnay et la Syrah) ou maintien de la vitalité cellulaire (comme pour le Thompson seedless) (Tilbrook et Tyerman, 2008): Il y aurait donc des variétés prédisposées au flétrissement contrairement à d'autres.

Néanmoins, ces deux stratégies ne suffisent pas pour expliquer toutes les différences de sensibilité au flétrissement des baies entre cépages. En effet, dans une autre étude, le Chardonnay ne flétrit pas contrairement à la Syrah (Bonada et al., 2013).

### ***1.2.3 Adaptation à la lumière***

Des différences de sensibilité à l'intensité lumineuse peuvent également s'observer entre variétés. Il a été montré qu'en réponse à un stress lumineux, la vigne peut répondre par un épaississement du parenchyme palissadique ainsi qu'un renforcement de la réponse par voie métabolique (Kocsis et al., 2017). D'autres cépages se protègent par une augmentation de la synthèse d'acide caftarique et de polyphénols totaux sans réponse anatomique. Les variétés les plus tolérantes utilisent les deux mécanisme de défense (Kocsis et al., 2017).

La couleur du feuillage, qui est cépage-dépendant, pourrait être impliquée également dans l'adaptation à la lumière: une étude menée sur le Touriga nacional, le Tinta roriz et le Tinto cao indique que la couleur vert pâle du feuillage du Tinto cao pourrait être une stratégie adaptative envers l'intensité lumineuse, la chaleur et la sécheresse (Moutinho et al., 2007)

### ***1.2.4 Adaptation au gel***

Le nombre de degrés-jour pour déclencher le débourrement varie considérablement d'un cépage à l'autre, une amplitude de 290°C à 640°C est indiquée par Anderson, et al 1980. L'augmentation de la température atmosphérique, qui entraîne une précocité de débourrement, pourrait ainsi être compensée par la plantation de cépages à forts besoins en chaleur pour lever l'endodormance.

Il existerait également entre les cépages une variabilité au niveau de traits anatomiques pouvant induire des degrés de sensibilité variable face au gel.

En effet, des différences de morphologie/texture des feuilles entraineraient des conditions plus ou moins favorables à la nucléation des cristaux de glace (Fuller et al., 2003; Johnson and Howell, 1981). Cette stratégie de tolérance au gel n'a semble-t-il pas fait l'objet de travaux approfondis. Des essais en conditions contrôlées, par exemple, pourraient apporter un éclairage à cette hypothèse.



## **2 Matériel et méthodes**

### **2.1 Méthodologie d'enquête et recensement parcellaire**

#### **2.1.1 Enquête**

Une enquête a été réalisée auprès de 9 professionnels de la filière viti-vinicole, sur recommandation du maître de stage et de l'enseignant référent. Ont ainsi été sondés Didier Viguié (CA 11), Valérie Didier (CA66), Nathalie Fortin (CA34), Laurent Audeguin (IFV), Olivier Yobregat (IFV Gaillac), Thierry Dufourcq (IFV Domaine de Mons 32), Thierry Grimal (CA 11 -Domaine de Caze), Hernan Ojeda (INRA - Pech Rouge), Anne Pellegrino (Montpellier SupAgro), Laurent Hilaire (Pépinière Mercier).

L'enquête a été réalisée selon les principes de l'entretien semi-directif : des questions générales ont été posées à l'ensemble des sondés. La discussion s'orientait ensuite selon les champs d'expertises individuels. Un exemplaire du guide d'entretien est présenté en annexe 1. Le recensement parcellaire (présenté au 2.1.2) a également permis d'interroger les vignerons (au nombre de 17) sur leurs motivations de façon plus informelle.

Les objectifs de l'enquête étaient de :

- recueillir leur perception du changement climatique ;
- identifier la pertinence des cépages étrangers comme levier d'adaptation au changement climatique ;
- identifier les motivations principales des vignerons ;
- évaluer l'engouement pour les cépages étrangers dans la région ;

#### **2.1.2 Recensement parcellaire**

##### *2.1.2.1 Stratégie*

-Dans un premier temps : établissement d'un état des lieux de l'ampleur des plantations de cépages étrangers en Occitanie

Les plantations nouvelles sont recensées sur VISIONet (FAM) entre 2017 et 2020, à l'échelle régionale, départementale, communale. Les données aux différentes échelles ont été récoltées. Pour accéder aux données, se rendre sur <https://visionet.franceagrimer.fr/> puis « accès sans connexion » et suivre les rubriques « Données interactives /Observatoire de la viticulture/superficies plantées en vigne/données annuelles ». Il suffit alors de sélectionner l'échelle étudiée : « données par région », « données par département », etc.

-Dans un deuxième temps : identification des parcelles de cépages étrangers

Certaines parcelles de vignerons médiatiques m'étaient déjà connues et/ou ont très facilement été trouvées par recherche internet. Certaines parcelles étaient également

*Tableau 1 Observations réalisées par sites ("3 dates": stade petits pois, stade*

*fermeture de la grappe, stade véraison; 1 date: stade véraison*

Parcelle	Cépages étudiés	Témoins	fertilité	maladies	symptômes sécheresse grillure	potentiel de tige	estimation de rendement	contrôles maturité	vendange
<b>Abeilhan</b>	Primitivo Calabrese	/	X						
<b>Pouzolles</b>	Primitivo	/	X						
<b>Agde</b>	Touriga nacional	Merlot	X	X	X		X	X	X
<b>Aniane2</b>	Assyrtiko Montepulciano Calabrese	Carignan + Grenache	X	CA 34	X	CA 34	CA 34	X	
<b>aniane1</b>	Baga,Saperavi Calabrese Primitivo	Cabernet- Sauvignon	X	X	X	3 dates	X	X	Baga Saperavi
<b>fontanes</b>	Assyrtiko Aléatico Malvoisie	Mourvèdre	X	X	X	3 dates	X	X	Assyrtiko Aléatico
<b>lezan</b>	Xarello, Parellada Alvarinho Saperavi	Grenache blanc	X	X		1 date	X	X	Alvarinho Parellada Xarello
<b>beaucaire</b>	Montepulciano Verdejo Verdelho	Muscat à petit grains	X	X				X	X

connues de l'ICV.

Le nombre de ces parcelles et de cépages présents étant relativement limité, il était nécessaire d'en identifier de nouvelles. Plusieurs stratégies ont alors été mise en place.

D'abord en demandant aux sondés, puis en prenant contact par mail avec les fédérations interprofessionnelles majeures (CIVL, CIVR).

Enfin, un démarchage téléphonique « semi-ciblé » a été effectué directement auprès de vigneron à partir des informations recueillies dans la rubrique « données par commune » de la plateforme VISIONet : Ensuite, une liste de domaines est constituée pour chaque commune, en ciblant prioritairement celles où un grand nombre de cépages sont présents pour les raisons évoquées au 2.1.2.2. Les domaines sont appelés et questionnés sur la présence éventuelle de cépages étrangers sur leur propriété. Une fois identifié, si l'accord du vigneron est obtenu, une visite était organisée.

Bien que les sites du réseau de suivi représentent l'aboutissement du recensement parcellaire, ils constituent également les supports des observations de terrain. Ils sont donc présentés dans cette partie « 2. Matériels et méthodes » dans un souci de clarté pour le lecteur.

#### *2.1.2.2 Sites retenus*

Les parcelles destinées au suivi agronomique et œnologique de l'ICV doivent répondre, idéalement, à plusieurs contraintes de nature technique et pratique :

- Parcelles suffisamment âgées (i.e. avec un système de conduite établi, en production), le comportement d'un plantier n'étant pas représentatif compte tenu du niveau de charge faible (voire inexistant) et du volume d'exploration racinaire ;
- l'absence d'irrigation, pour évaluer au mieux le comportement d'un cépage face à la sécheresse notamment ;
- L'homogénéité intra-site : la réserve utile du sol et le porte-greffe jouent un rôle important dans l'alimentation hydrique et induisent des biais. Des parcelles/rangs côte-à-côte permettent également de gagner du temps lors des séances d'observations ;
- La « proximité » (rayon d'1h30) au centre ICV de Lattes et un nombre important de cépages plantés sur un même site permettent de rentabiliser au maximum les durées de déplacements. Egalement, des sites proches permettent de diminuer l'hétérogénéité climatique inter-sites.

Malheureusement, l'ensemble de critères n'ont rarement pu être remplis sur chaque site. Leurs caractéristiques sont rassemblées dans le tableau 1. Chaque site est présenté dans les annexes 2 et 3.

## **2.2 Méthodes d'évaluations du potentiel agronomique**

Toutes les observations n'ont pu être réalisées sur chaque site pour les raisons exposées dans chaque protocole expérimental. Par soucis de clarté, le récapitulatif



des différentes observations réalisées sur les différents sites est présenté dans le tableau 1. Dans la description des méthodes qui suit, la dénomination « chaque site » se réfère donc implicitement aux sites sur lesquelles elles ont été employées.

## 2.2.1 Caractéristiques agronomiques générales

### 2.2.1.1 Phénologie : date de débourrement et date de vendange

Les stades phénologiques clés, en particulier la date de débourrement et de vendange sont comparées à celle du Chasselas B à partir des informations recueillies dans la Base de données du Réseau Français des Conservatoires de Vigne, © INRA-IFV-SupAgro 2005-2015

### 2.2.1.2 Fertilité des yeux de la base

La fertilité des yeux de la base participant grandement au choix type de taille (courte ou longue), c'est un caractère qu'il convient donc de noter. Pour chaque cépage, la fertilité des bourgeons de la base (critère de description OIV 256 [3]) est observée sur 30 rameaux primaires.

### 2.2.1.3 Poids des grappes

Le poids des grappes est calculé de la façon suivante:

Pour les cépages vendangés, le nombre de grappes est compté et le poids des grappes mesuré avec un peson (auquel la tare du seau est retirée) sur 30 ceps.

On a donc  $P_{grappe} = \langle \frac{P_{grappes,souche}}{N_{grappes,souche}} \rangle_{N_{souches\ vendangés}}$

Pour les cépages non-vendangés, le poids moyen d'une grappe est calculé sur la moyenne de 10 grappes prélevées aléatoirement, et le nombre de grappes compté sur 20 ceps.

On donc  $P_{grappe} = \langle P_{grappe} \rangle_{10\ grappes}$

Les barres d'erreurs inférieures et supérieures correspondent à l'écart-type.

### 2.2.1.4 Sensibilité aux maladies cryptogamiques

#### Mildiou, Oïdium, Black-Rot

Les observations sont effectuées sur 100 feuilles et 100 grappes fin véraison, sur chaque site sur une placette de 25 ceps située au milieu d'un rang pour chaque cépage. Le protocole d'observation est le suivant :

- Sélectionner sur chaque cep une feuille dans la partie basse du feuillage et une dans la partie haute du feuillage, de façon aléatoire;
- Noter l'intensité des symptômes sur les feuilles sélectionnées ;
- Répéter l'opération sur l'autre face ;

L'observation des grappes porte sur les cent premières grappes de chaque placette.

On note l'intensité des symptômes pour chaque organe.

On calcule pour chaque maladie :

La fréquence d'attaque  $F_a = \frac{\text{Nombre de feuilles avec symptômes}}{\text{Nombre de feuilles observées}}$

L'intensité d'attaque  $I_a = \frac{\text{intensité totale des symptômes}}{\text{Nombre de feuilles observées}}$





### Pourriture grise

Pour les cépages non-vendangés, l'observation est effectuée sur 100 grappes environ une semaine avant vendange.

En raison de contraintes de temps, les cépages vendangés font l'objet d'une observation selon le protocole ICV :

-Prélever 5 grappes aléatoirement par caisse de vendange de 20kg ;

-Noter la présence et, le cas échéant, l'intensité des dégâts observée sur chaque grappe ;

Lors des vendanges la compacité des grappes est attestée par la prise de photos.

La comparaison entre cépages est effectuée par site compte tenu des différences potentielles de traitements (agriculture biologique, biodynamique ou conventionnelle)

#### 2.2.1.5 Particularités

Des photos sont prises en cas de particularités observées sur un cépage étranger, au cours de la campagne 2021.

## 2.2.2 Sensibilité au gel

La résilience d'un cépage à cet aléa climatique peut être appréhendée via la remise à fruit post-gel. Suite à un épisode de gel, les contre-bourgeons, bourillons, bourgeons du vieux bois étant les plus susceptibles de débousser après la destruction des rameaux primaires. On peut donc évaluer les cépages par «  $F_{IG}$  » défini comme le nombre de grappes observé en moyenne pour un contre-bourgeon, un bourillon et un bourgeon du vieux du bois. On qualifiera  $F_{IG}$  comme la fertilité de deuxième génération.

La fertilité des contre-bourgeons, bourillons et bourgeon du vieux bois est observée sur 10 rameaux issus desdits bourgeons. On a ainsi

$$F_{IG} = \frac{\langle N_{grappes, contre-bourgeons} \rangle_{10 \text{ rameaux}} + \langle N_{grappes, bourillons} \rangle_{10 \text{ rameaux}} + \langle N_{grappes, vieux bois} \rangle_{10 \text{ rameaux}}}{3}$$

25 à 40 minutes sont nécessaires par cépage pour effectuer cette observation.

## 2.2.3 Sensibilité à la sécheresse

### 2.2.3.1 Potentiel de tige

Pour évaluer l'état hydrique de variétés étrangères, la méthode du potentiel de tige est privilégiée au potentiel de base pour des contraintes pratiques et de sécurité afin d'éviter des déplacements et l'utilisation de matériel sous pression de nuit.

Les trois sites (Aniane1, Fontanès, Lezan) ont été retenus compte-tenu du nombre de cépages étrangers disponibles et l'homogénéité des conditions pédoclimatiques entre les variétés étrangères et le témoin.

-Site Aniane1: 8 pieds sont marqués par cépage sur lesquels sont réalisés les mesures de potentiel de tige à trois dates (25/06, 22/07, 12/08) ;

-Site Fontanès : 10 pieds sont marqués par cépage sur lesquels sont réalisés les mesures de potentiel de tige à trois dates (24/06, 23/07, 13/08) ;



Figure 1: Echelle d'intensité de symptômes de sécheresse (de gauche à droite: 5%-30%-50%-70%-90%-100%)

Tableau 2: dates d'observations symptômes de sécheresse sur feuilles

Site	Date stade petits pois	Date stade véraison
Agde	12/07	19/08
Aniane1	24/06	13/08
Aniane2	12/07	20/08
Fontanès	25/06	12/08

-Parcelle de Lézan : Alvarinho B, Parellada B, Xarello B, Saperavi N sont comparés au Grenache blanc B. Les mesures sont réalisées sur 8 feuilles à une date (15/08). Le potentiel de tige est une mesure si courante qu'il n'est pas jugée utile de la décrire ici. Pour information, le protocole peut être consulté sur le site de l'IFV à l'adresse [4]. L'ensemble des opérations, de l'ensachage à l'observation des valeurs prend environ 3 heures pour chaque site et chaque date.

Les mesures sont traitées par ANOVA à un facteur, sur Rstudio en utilisant la librairie « Rcmdr ». Une fois la fonction Rcmdr lancée par la commande `library(Rcmdr)` faire « Données/importer un jeu de donnée/sélectionner la table » puis « Statistiques/résumés/Test de normalité/Shapiro-Wilk ». Ensuite si la p value le permet, aller dans « Statistiques/Variances/Test de Batlett ». Si la p value le permet aller dans « Statistiques/Moyennes/Anova à un facteur »

### 2.2.3.2 Observation des symptômes de sécheresse sur feuille

Une évaluation visuelle de la sensibilité à la sécheresse est également effectuée, via l'observation du jaunissement des feuilles. Le jaunissement des feuilles est apprécié sur 10 souches, réparties de façon équivalente entre cépages d'un même site. Sur chaque souche, le protocole est le suivant :

A) Noter l'intensité des symptômes pour chaque feuille présentant des symptômes de sécheresse (se référer à la figure 1 pour l'échelle d'intensité) en distinguant les feuilles de la base du rameau (nœud 1-5) de celles du haut (>6<sup>ème</sup> nœud). Un cas particulier est possible: les nœuds où les feuilles sont tombées pour cause de défoliation (due à la sécheresse) sont considérés comme des feuilles avec une intensité de symptôme de 100% ;

B) Compter le nombre de rameaux par cep. Il est indispensable de rapporter les observations faites sur le feuillage d'un cep à son nombre de rameaux, pour pouvoir comparer des cépages entre eux.

A partir de ces notations, cinq indices sont créés :

$$\text{Intensité de symptômes } I = \frac{\sum_{k=1}^N I_{\text{totale},k}}{\sum_{k=1}^N R_k} = \frac{\text{Intensité totale des symptômes}}{\text{Nombre de rameaux observés}}$$

Avec

$I_{\text{totale},k}$  : somme des intensités de symptômes des feuilles de la souche k

$R_k$  : nombre de rameaux sur la souche k

$$\text{Fréquence de symptômes } F = \frac{\sum_{k=1}^N N_{\text{feuilles},k}}{\sum_{k=1}^N R_k} = \frac{\text{Nombre total de feuilles avec symptômes}}{\text{Nombre de rameaux observés}}$$

Avec  $N_{\text{feuilles},k}$  : nombre de feuilles présentant des symptômes sur la souche k

De même, on construit :

Fréquence de symptômes de classe J :

$$F_{\text{CJ}} = \frac{\sum_{k=1}^N N_{\text{feuilles CJ},k}}{\sum_{k=1}^N R_k} = \frac{\text{Nombre de feuilles avec symptômes de classe J}}{\text{Nombre de rameaux observés}}$$

Avec  $N_{\text{feuilles CJ},k}$  : nombre de feuille présentant des symptômes de classe J (J variant de 1 à 3) sur la souche k. La classe 1 correspond aux feuilles présentant des symptômes d'intensité de 5 à 30%, la classe 2 de 35 à 65% et la classe 3 de 70 à 100%.



Le fréquence correspond donc ici à une nombre de feuilles avec symptômes par rameau.

Ce protocole est mis en place à deux stades phénologiques (cf Tableau 2) :

-stade 1 : petit pois

-stade 2 : fin véraison

Le traitement des données est effectué par ACP. Elle est réalisée aux deux stades sur les données recueillies sur l'ensemble des sites. L'objectif premier de l'ACP est de déterminer sur quel(s) indice(s) s'appuyer pour discriminer les cépages entre eux, par étude du coefficient de corrélation entre les axes et les indices, afin de simplifier le protocole pour une future utilisation. Les cépages sont ensuite classés selon l'indice retenu.

L'ACP est réalisée avec le script suivant :

```
library(readxl)
```

```
nom_fichier <- read_excel(« chemin_d'accès »)
```

```
view(nom_fichier)
```

```
library(Factoshiny)
```

```
Factoshiny(nom_fichier)
```

Onglet « valeurs »: valeurs propres: accès à la décomposition de l'inertie

Onglet « description automatique des axes » : Dimension 1 et Dimension 2

### 2.2.3.3 $\delta^{13}C$

Principe du  $\delta^{13}C$ : le dioxyde de carbone atmosphérique est constitué de l'isotope  $^{13}C$  à hauteur de seulement 1%. Par ailleurs, la photosynthèse utilise préférentiellement l'isotope  $^{12}C$ , lorsque ses stomates sont ouverts. En cas de contrainte hydrique, les stomates se ferment, et la discrimination isotopique est de facto moins importante. Ainsi le rapport entre les isotopes du carbone peut servir d'indicateur du stress hydrique subit lors de la période estivale (Gaudillère et al., 2002).

Les prélèvements pour le  $\delta^{13}C$  ont été effectués sur moût après foulage/éraflage sur cépages noirs et après pressurage sur cépages blancs vendangés. Pour les cépages non-vendangés, un prélèvement supplémentaire de 200 baies a été effectué lors du dernier contrôle maturité sur chaque site. Les résultats n'ont pas été obtenus avant la date de remise de ce rapport. Ils ne sont donc pas présentés.

### 2.2.3.4 *Sensibilité au flétrissement*

Lors des vendanges des cépages étrangers, la sensibilité au flétrissement des baies est attestée par la prise de photos.

## 2.2.4 *Sensibilité à la chaleur*

La sensibilité à la chaleur est évaluée par l'observation de symptômes de grillure sur feuilles et sur grappes. Cette observation est réalisée selon le même protocole que l'observation des symptômes de sécheresse, à l'exception qu'il n'y pas de différenciation selon la position de la feuille sur le rameau. On note ainsi les indices :

Intensité des symptômes de grillure sur feuille



$$IG_f = \frac{\sum_{k=1}^N I_{totale,k}}{\sum_{k=1}^N R_k} = \frac{\text{Intensité totale des symptômes}}{\text{Nombre de rameaux observés}}$$

Fréquence des symptômes de grillure sur feuille

$$FG_f = \frac{\sum_{k=1}^N N_{feuilles,k}}{\sum_{k=1}^N R_k} = \frac{\text{Nombre de feuilles avec symptômes}}{\text{Nombre de rameaux observés}}$$

L'observation portera également sur les grappes des dix souches, et on notera

Intensité des symptômes de grillure sur grappe

$$IG_g = \frac{\sum_{k=1}^N I_{totale,k}}{\sum_{k=1}^N G_k} = \frac{\text{Intensité totale des symptômes}}{\text{Nombre de grappes observés}} \text{ où } G_k = \text{nombre de grappes sur la souche } k$$

Fréquence des symptômes de grillure sur grappe

$$FG_g = \frac{\sum_{k=1}^N N_{feuilles,k}}{\sum_{k=1}^N G_k} = \frac{\text{Nombre de grappes avec symptômes}}{\text{Nombre de grappes observées}}$$

## 2.2.5 Compléments pour l'interprétation des résultats

### 2.2.5.1 Hétérogénéité inter-sites et caractérisation du millésime 2021

Les caractéristiques climatiques du millésime 2021 sont comparées à celles des onze précédents à partir des indices utilisés pour la CCM (Tonietto et al, 2004) : IH, IF, et DI en prenant Montpellier comme station de référence. L'hétérogénéité méso-climatique inter-sites sur la campagne 2021 est évaluée à partir des mêmes indices. Le calcul des indices est présenté en annexe 4 et l'ETP en annexe 5 et 6.

### 2.2.5.2 Rendement moyen par souche

Pour les cépages vendangés, le poids de vendange étant mesuré pour chaque souche (cf 2.2.1.3) on a donc  $P_{cep} = \langle P_{cep} \rangle_{N_{ceps\ vendangés}}$

Pour les cépages non-vendangés, le nombre de grappes est comptés sur 20 ceps. A partir du poids d'une grappe (décrit au 2.2.1.3) on a donc

$$P_{cep} = P_{grappe} \times \langle N_{grappes} \rangle_{20\ souches}$$

Les barres d'erreurs inférieures et supérieures correspondent à l'écart-type.

## 2.3 Méthodes de mesures des caractéristiques des baies

### 2.3.1.1 Mesure du poids des baies

Le poids des baies est mesuré à partir d'un échantillon de 200 baies, pesé avec une balance Terailon® (incertitude 1g). on a donc  $P_{baie} = \frac{P_{200\ baies}}{200}$

### 2.3.1.2 Quantité de polyphénols

ApH<sub>1</sub> ApH<sub>3,2</sub> et IPT Glories sont calculés par la méthode de référence (IRTF) par le laboratoire de l'ICV.

### 2.3.1.3 Acide malique

L'acide malique est mesuré par dosage enzymatique (OIV 2021) par le laboratoire de l'ICV. Le choix d'étude de cet acide est lié à son intérêt en terme de métabolisme





(dégradation par la chaleur) et pour la fixation de la date de récolte.

## **3 Résultats et discussion**

### ***3.1 Enquête et recensement***

#### ***3.1.1 Conclusions de l'enquête***

##### *3.1.1.1 Perception du changement climatique par les sondés*

L'enquête a permis de révéler, dans un premier temps, auprès des sondés, les effets du changement climatique perçus comme les plus impactants pour la filière vitivinicole et leurs conséquences. Sont mentionnés principalement l'augmentation des températures et de la sécheresse, ainsi que l'augmentation des aléas climatiques (risque accru de gel, grêle, nombre de jour avec des températures très élevées ( $T > 35^{\circ}\text{C}$ )). A ce titre, il est intéressant de remarquer que l'augmentation de la concentration en  $\text{CO}_2$  atmosphérique n'est pas mentionnée, alors qu'elle a des impacts importants sur la photosynthèse et le rendement.

Les impacts du changement climatique cités spontanément sont une chute de l'acidité et une augmentation des degrés alcooliques dans les vins. A Pech Rouge, le degré alcoolique augmente d'une unité tous les dix ans depuis 1980. Les conséquences agronomiques sont finalement peu citées : échaudage (1 fois) pérennité du vignoble (2 fois). Les phénomènes de flétrissement, de remontée de ravageurs, de pertes de rendement éventuelles sont très rarement cités. En l'absence de stress hydrique, l'augmentation des températures et de la concentration  $\text{CO}_2$  atmosphérique peut entraîner une augmentation des rendements. Cet impact positif sur le rendement n'est mentionné qu'une fois.

##### *3.1.1.2 La place du cépage parmi les leviers d'adaptations*

Les xérophytes sont des plantes adaptées à la sécheresse, à savoir capable de survivre avec très peu d'eau. Une adaptation majeure à la sécheresse est la faible/très faible hydratation du fruit ; ce qui rentre forcément en conflit avec l'activité de production des vigneron. M. H. Ojeda et Mme. A. Pellegrino rappelle qu'immuablement 250 et 350 litres d'eau sont consommés par la vigne pour produire un litre de moût. L'irrigation et d'autres pratiques agronomiques (espacement des rang, hauteur du feuillage) ont dès lors un rôle prépondérant pour l'adaptation à la sécheresse. L'intérêt du cépage se base alors sur son aptitude à compenser les effets du changement climatique, comme par exemple ceux produisant des vins à petits degrés. Sur la sécheresse, en particulier, l'importance du porte-greffe est soulignée par l'ensemble des sondés, et plus particulièrement M. Viguier qui préconise en conditions stressantes les porte-greffes vigoureux présentant un système racinaire pivotant, comme le 333EM, le 196-17 C et le Rupestris du Lot. Il insiste également sur les pratiques à adopter lors d'une plantation nouvelle, déconseillant la formation trop précoce du cep.

Sur le gel, les différences phénologiques au niveau du débourrement offrent une marge de manœuvre. Néanmoins, des différences de sensibilité au gel après débournement restent à identifier.

Tableau 3: Cépages étrangers classés en France entre 2006 et 2021

Couleur	Grèce	Italie	Espagne	Portugal	Autre
Blancs	Assyrtiko	Carricante	Airen	Verdelho	Furmint
		Codivarta	Alvarinho		
		Fiano	Parellada		
			Verdejo		
			Xarello		
Noirs	Agiorgitiko	Calabrese		Touriga nacional	Kadarka
	Xinomavro	Montepulciano	Primitivo	Tinta barroca	Saperavi
		Nebbiolo			Mavrud
		Dolcetto			Pinotage
Rose	Moschofilero				
	Roditis				
Sous-total	5	8	5	3	5

La majorité des sondés insistent également sur la sélection de cépages aussi bien pour leur caractéristiques agronomiques que leurs profils organoleptiques, soucieux de leur acceptabilité par le marché.

#### *3.1.1.3 Motivations et expériences des vignerons*

Le changement climatique est rarement la motivation unique ou principale de la plantation de cépages étrangers par les vignerons rencontrés : un profil organoleptique plaisant est cité systématiquement ; la découverte inopinée d'un cépage dans un cadre informelle, au détour d'un voyage ou d'une dégustation lors d'un salon ou entre amis, via des vins issus de leur région d'origine ou de France initie souvent la démarche de plantation. Un intérêt prononcé pour l'ampélographie est aussi une des motivations rencontrées. La plantation d'un cépage étranger peut également découler d'une relation commerciale avec un importateur étranger. La perspective de communication et de marketing engendrée par une cuvée issue d'un cépage étranger est également un moteur constaté. A ce titre, il faut remarquer que la majeure partie des vignerons rencontrés privilégient les cuvées monocépages en Vin de France facilitant ainsi leur communication.

Les vignerons plantent donc des cépages étrangers en raison d'au moins deux considérations parmi lesquelles : l'intérêt organoleptique, le changement climatique, les réseaux de distribution, , une passion pour l'ampélographie, le fait de se démarquer.

#### *3.1.1.4 Engouement pour les cépages étrangers*

Pour les sondés (non producteurs) l'engouement perçu pour les variétés étrangères reste modéré par rapport aux cépages résistants aux maladies ou aux cépages traditionnels par exemple. Par contre, pour M. Bousquet, vigneron, l'engouement pour les cépages étrangers est réel et indique recevoir un appel par semaine de vignerons souhaitant obtenir des informations sur les cépages étrangers. Les données annuelles VISIONet FAM présentées au 3.1.1. permettent de mieux cerner l'ampleur des plantations réalisées en Occitanie.

### **3.1.2 Bilan du recensement**

L'analyse des données libres d'accès sur VISIONet FAM a permis d'établir un état des lieux des plantations des cépages étrangers en France et plus précisément sur la région Occitanie.

Les cépages étrangers classés en France depuis 2006 sont présentés dans le tableau 3 d'après l'arrêté du 2 février 2021 modifiant l'arrêté du 7 juillet 2015 établissant la liste des variétés classées de vigne à raisins de cuve. On constate que la grande majorité des cépages étrangers proviennent de seulement de quatre pays européens : l'Italie, l'Espagne, le Portugal et la Grèce.

D'après les données VISIONet FAM 2020, 88 parcelles de cépages étrangers classés sont plantés en Occitanie dont plus de 80% se trouvent dans les départements de l'Aude, de l'Hérault et du Gard. Cette proportion est cohérente avec la place qu'occupent ces départements dans la viticulture régionale puisqu'ils représentent 70% de la superficie plantée totale en Occitanie.

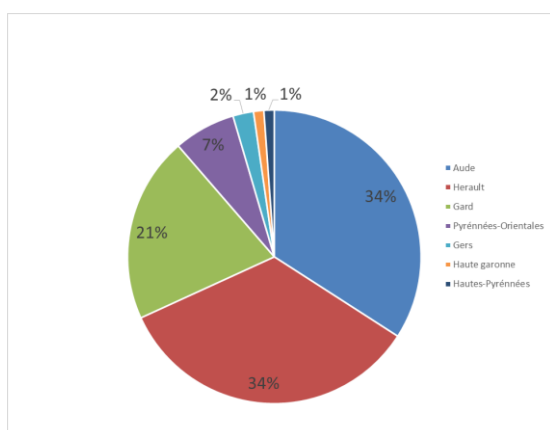


Figure 2 : Proportion de parcelles de cépages étrangers par département (Occitanie, 2020, FAM VISIONet)

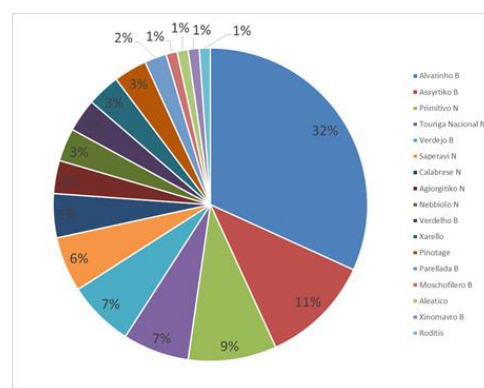


Figure 3 : Proportion de parcelles par cépage étranger (Occitanie, 2020, FAM VISIONet)

Tableau 4 : Bilan des parcelles recensées au cours du mois de juin 2021

Classé	Cépage	Couleur	Nombre de parcelles identifiées	Nombre de parcelles totales (occitanie 2020)	Pourcentage de parcelles identifiées (Occitanie)
oui	Agioorgitiko	N	2	3	67%
	Aleatico	N	1	1	100%
	Alvarinho	B	3	28	11%
	Assyrtiko	B	7	10	70%
	Calabrese	N	4	4	100%
	Dolcetto	N	1	/	/
	Montepulciano	N	2	/	/
	Moschofileiro	B	1	1	100%
	Nebbiolo	N	2	3	67%
	Parellada	B	2	2	100%
	Pinotage	N	1	3	33%
	Primitivo	N	4	8	50%
	Roditis	R	1	1	100%
	Saperavi	N	5	5	100%
	Touriga nacional	N	5	6	83%
	Verdejo	B	2	6	33%
	Verdelho	B	2	3	67%
	Xarello	B	2	3	67%
	Xinomavro	N	1	1	100%
	<b>Total</b>		<b>48</b>	<b>88</b>	<b>51%</b>
	<b>Total (hors Alvarinho)</b>		<b>45</b>	<b>60</b>	<b>65%</b>
non	Baga	N	1		
	Godello	B	1		
	Grk	B	1		
	Prc	B	1		
	Malvoisie d'Istrie	B	1		

Le nombre de parcelles plantées est passé de 42 en 2017, à 88 en 2021 et a donc doublé en quatre ans. Il convient de remarquer que ces chiffres ne représentent néanmoins pas complètement la réalité car certains cépages étrangers, non classés (et non inscrit) ont été trouvés lors du recensement. Egalement, le Montepulciano N, inscrit en 2018 [7] mais seulement classé en 2020 [8] n'apparaît pas dans les statistiques.

On remarque également d'après la figure 3 que les cépages étrangers ne sont pas tous plantés dans les mêmes proportions. Parmi les vingt-six, l'Alvarinho B représente à lui seul 32% des plantations. Ainsi, deux cépages représentent à eux seuls 43% des plantations en Occitanie. La surreprésentation de l'Alvarinho peut s'expliquer par l'antériorité de son classement (2010) [9] mais ne peut être le seul facteur explicatif : l'Assyrtiko B, est le deuxième cépage étranger le plus planté (11%) alors qu'il est classé seulement depuis 2015 [10]. Un des facteurs explicatifs de l'engouement pour l'Alvarinho B peut être l'ouverture réglementaire à son égard, puisqu'il est le seul cépage étranger autorisé en IGP Pays d' Oc, depuis 2016 [11].

A l'inverse, l'absence de plantations recensées en Occitanie pour certains cépages étrangers, peut s'expliquer aussi bien par contemporanéité de leur classement (Carricante B, Fiano B en 2021) que par un réel déficit de notoriété (Kadarka N, Mavrud N classé en 2013 et 2015 respectivement).

L'ensemble des stratégies ont contribué au recensement de terrain avec plus ou moins de réussite. Premièrement, avant le début du stage, les sites d'Aniane1, Aniane2, Fontanès étaient déjà connus à la fois par l'ICV et par moi-même. L'ICV avait également connaissance de quelques autres parcelles en Languedoc. L'enquête a permis de prendre connaissance des sites expérimentaux de la CA66 et de la CA11. La fédération interprofessionnelle du Roussillon ne connaissait pas les propriétaires de cépages étrangers et celle du Languedoc n'a pas répondu à ma sollicitation. La récolte des informations de plantation à l'échelle communale sur VISIONet est estimée à une vingtaine d'heure. Associé au démarchage téléphonique ce type de recensement a permis d'identifier entre autres les sites d'Agde et de Lézan.

Globalement, le recensement a permis d'identifier au moins une parcelle de chaque cépage étranger planté dans la région. Par ailleurs, d'autres cépages étrangers, non inscrit et non classés ont également été identifiés lors de visites chez les vignerons. Les cépages recensés sont présentés dans le tableau 4.

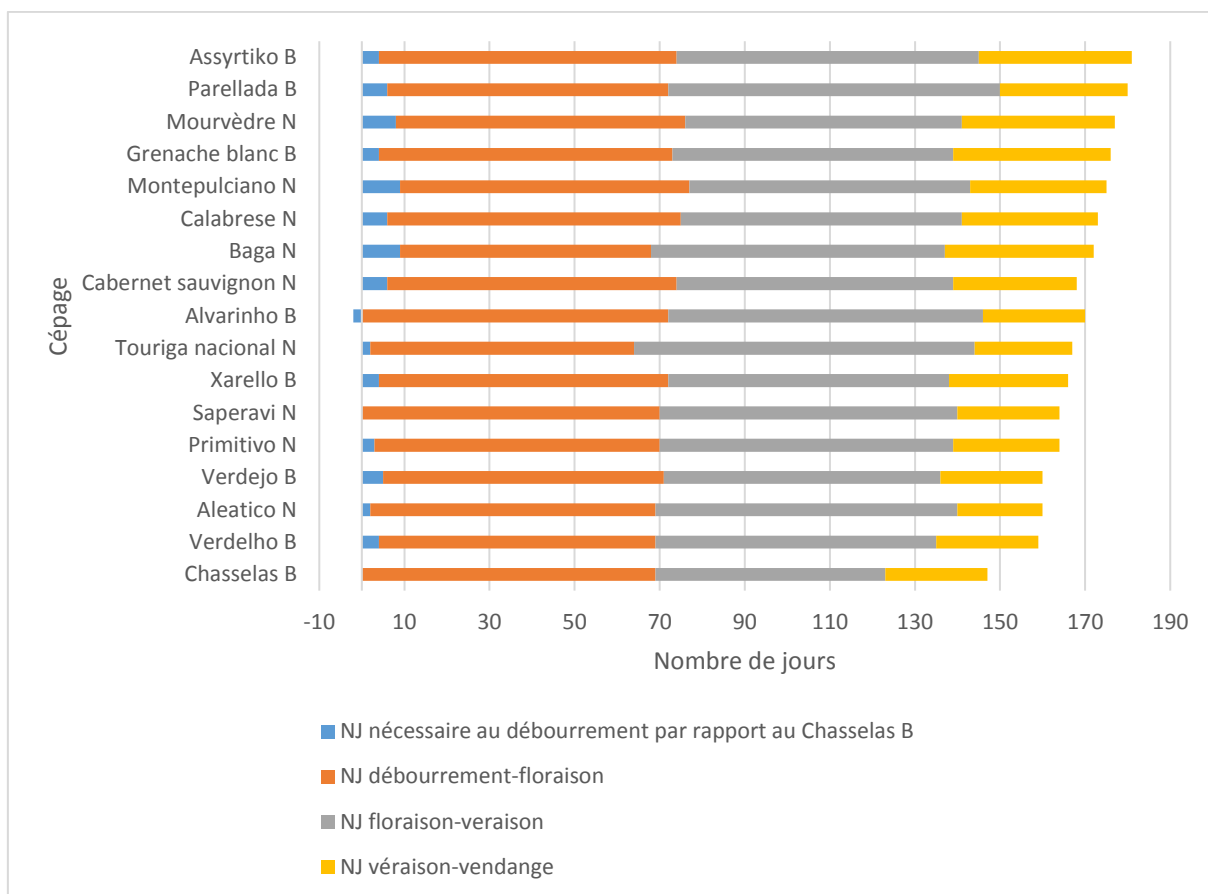


Figure 4 : Principaux stades phénologiques de 13 variétés étrangères comparés à ceux du Grenache blanc, Mourvèdre, Cabernet-Sauvignon et Chasselas

Tableau 5 : Fertilité des yeux de la base (descripteur OIV 254

Cépage	Nombre de grappes /10 rameaux
Nebbiolo N	1
Saperavi N Aniane1	5
Saperavi N Lezan	6
Assyrtiko B Fontanes	8
Alvarinho B	8
Assyrtiko B Aniane2	9
Calabrese N Abeilhan	10
Primitivo N Pouzolle	10
Calabrese N Aniane2	11
Parellada B	11
Primitivo N Abeilhan	11
Calabrese N Aniane 1	11

Tableau 5 : suite

Cépage	Nombre de grappes /10 rameaux
Cabernet sauvignon N	12
Xarello B	13
Verdejo B	14
Dolcetto N	14
Montepulciano N Aniane2	14
Baga N	14
Touriga Nacional N	15
Montepulciano N Beaucaire	15
Malvoisie d'Istrie B	16
Carignan N	16
Aleatico N	16
Verdelho B	16
Primitivo N Aniane1	17

## **3.2 Potentiel agronomique des cépages étrangers**

### **3.2.1 Caractéristiques agronomiques générales**

#### *3.2.1.1 Phénologie*

Les différents stades phénologiques des cépages étrangers étudiés sont comparés à ceux du Chasselas B et présentés dans la figure 4.

S'il y a peu de variabilité au niveau de la date de floraison, on remarque que l'amplitude au niveau des dates de débourrement varie dans une plage d'environ 10 jours. L'Alvarinho se distingue par une date de débourrement très précoce (2 jours avant le Chasselas), tandis que le Baga et le Montepulciano sont deux à trois jours plus tardifs que le Mourvèdre. Le Parellada est le cépage le plus tardif concernant la véraison, puisqu'elle intervient 150 jours après le débourrement du Chasselas. La plus nette plage de variabilité se situe au niveau des dates de vendanges, variant de 160 jours pour le Verdelho à 159 jours pour le Parellada et l'Assyrtiko.

Le nombre de jours supplémentaires par rapport au Chasselas pour être vendangé varie de 12 à 34, leur époque de maturité varie donc de la deuxième époque à la quatrième époque d'après la classification de Pulliat : la deuxième époque allant de 7 à 15 jours, la troisième époque de 16 à 25 jours, la quatrième époque de 26 à 35 jours. Le Verdelho, l'Aléatico et le Verdejo sont de deuxième époque, les cépages du Primitivo au Baga (figure 3) sont de troisième époque, enfin les cépages du Calabrese à l'Assyrtiko (figure 3) sont de quatrième époque.

#### *3.2.1.2 Fertilité des yeux de la base*

Globalement, la fertilité varie de 1 à 17 grappes pour 10 rameaux, ce qui est assez représentatif de la diversité variétale chez *Vitis vinifera*, qui varie globalement de 1 à 22 (J.M. Boursiquot et al, 1995). Compte tenu de la plage de distribution de ce caractère, on peut classer les cépages en 4 classes : Classe 1 : peu fertile : <5 inflorescences, Classe 2 moyennement fertile : 6-10 inflorescences, Classe 3 : fertile : 11-15 inflorescences, Classe 4 : très fertile >15 inflorescences. Pour les cépages suivis sur plusieurs sites, on les classe à partir de la valeur moyenne des observations. Ainsi le Saperavi N (5,5) et l'Assyrtiko B (8,5) sont moyennement fertiles, le Calabrese N (10,3) et le Primitivo N (12,6) fertile.

#### *3.2.1.3 Poids des grappes*

La très grande distribution du poids des grappes entre les cépages d'un même site laisse penser que ce caractère est davantage influencé par le cépage que par son environnement, Le poids des grappes est présenté dans la figure 5.

Globalement, on peut classer les cépages selon trois catégories :

-Petites grappes (100g ou moins) : concerne le Saperavi N, le Touriga nacional N, et l'Aléatico N ainsi que l'Alvarinho B et l'Assyrtiko B. Comme point de référence, le Cabernet-Sauvignon N par exemple fait partie de cette catégorie.

-Grappes de taille moyenne (100-200g) : On retrouve le Calabrese N, le Baga N et



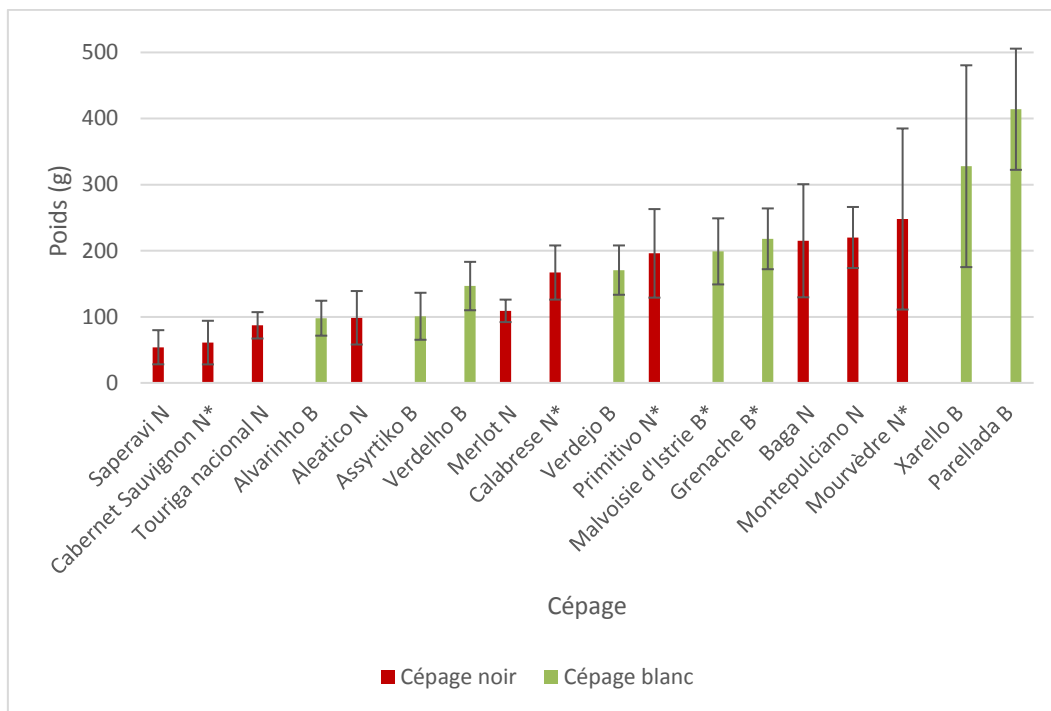


Figure 5 : Poids moyen d'une grappe à la vendange ("\*"mesuré à la parcelle)

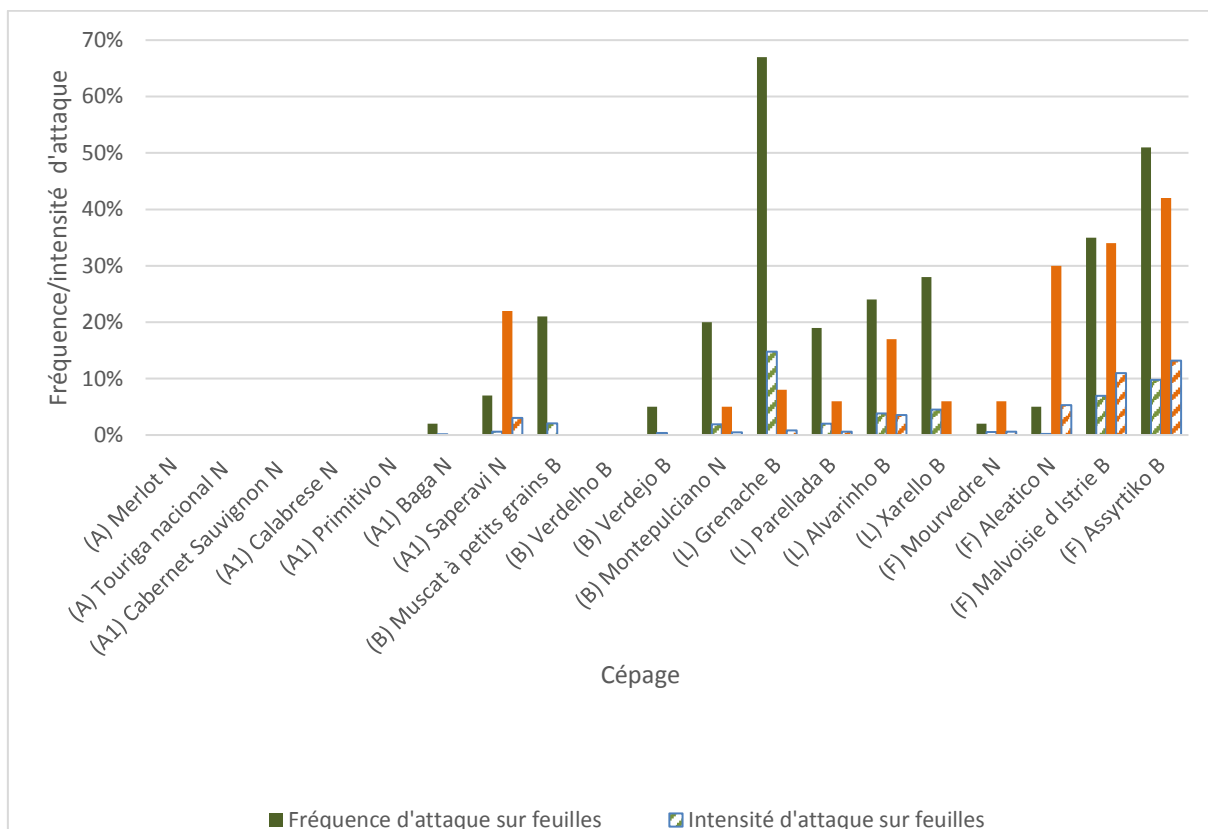


Figure 6 : Fréquence et intensité d'attaque du mildiou sur feuille et sur grappe (A : Agde A1 ; Aniane1, F : Fontanès ; L : Lézan ; B : Beaucaire)

Le Montepulciano N ainsi que le Verdejo B, le Verdelho B et la Malvoisie d'Istrie B. Le Mourvèdre N fait partie de cette catégorie. Pour ce dernier, la très grande variabilité dans des poids de grappes mesurée peut s'expliquer par le faible effectif de l'échantillon (10 grappes).

-Grappes de grandes tailles (>200g) : Le Xarello B et le Parellada B produisent des grappes de très grandes tailles. Le Xarello B présente des grappes de tailles particulièrement hétérogènes compte-tenu de l'écart-type.

Description par site :

Sur Lezan, l'Alvarinho B produit des grappes trois et quatre fois plus petites que le Xarello B et le Parellada B respectivement.

Sur Aniane I, le Saperavi N, le Cabernet-Sauvignon N présentent des grappes trois fois plus petites que le Calabrese N et quatre fois plus petite que le Primitivo N et le Baga N.

Sur le site de Fontanès, l'Assyrtiko B possède des grappes deux fois plus petites que la Malvoisie d'Istrie et le Mourvèdre N.

Sur Beaucaire, les trois cépages étrangers produisent des grappes de tailles moyennes. Malheureusement le poids des grappes du Muscat à petits grains n'a pas pu être mesuré avant qu'il ne soit vendangé. Un biais existe aussi sur site, compte tenu de l'irrigation qui y est pratiquée.

#### *3.2.1.4 Sensibilité aux maladies cryptogamiques*

L'observation réalisée sur l'ensemble des sites, à la mi-août, témoigne de niveau de sensibilité très différents selon les cépages. Compte tenu des itinéraires de traitement qui peuvent être différents, il est préférable dans un premier temps d'étudier la sensibilité aux maladies sur chaque site indépendamment sachant que sur chaque site, les traitements ont été les mêmes entre les cépages observés.

#### Sensibilité au mildiou (figure 6)

Sur Fontanès : l'Assyrtiko B et la Malvoisie d'Istrie B semblent être très sensibles, puisqu'ils présentent des intensités d'attaques sur feuille et sur grappe supérieures à 30%, et des intensités d'attaques supérieures à 10%. L'Aléatico N quant à lui, présentait peu de symptômes sur feuilles contrairement aux grappes où la fréquence d'attaque atteint 30%. Néanmoins, l'intensité d'attaque reste modérée et n'atteint que 4%. Le Mourvèdre N, est lui très peu touché par le mildiou aussi bien sur feuilles que sur grappes. Ce domaine pratiquant une agriculture biologique/biodynamique, le fait que ce site présente les cépages les plus touchés par le mildiou peut s'expliquer par le faible nombre de traitements par produit de contact (cuivre).

Sur Aniane I : Sur ce site, les symptômes de mildiou se font très rares. Seul le Baga N présente quelque symptômes sur feuille. Le Saperavi est un peu plus touché en particulier sur grappe avec un intensité d'attaque légèrement supérieure à 20%. L'intensité d'attaque reste très faible de l'ordre de 2%. On peut donc dire que le Saperavi N est significativement plus sensible que le Cabernet-Sauvignon N, le Baga N légèrement plus sensible. Le Primitivo N et le Calabrese N ne présentent

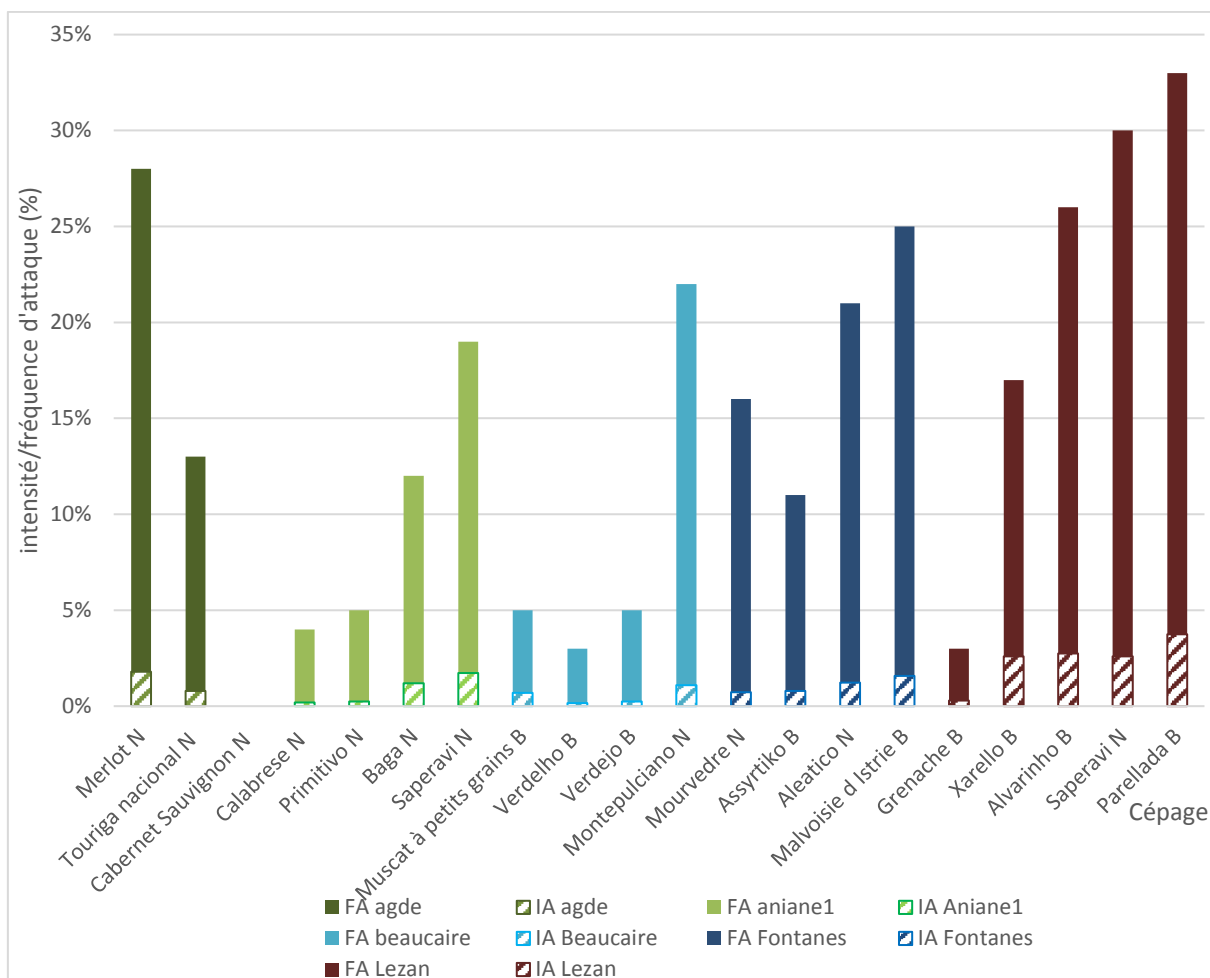


Figure 7: Fréquence et intensité d'attaque du black rot sur feuille (A : Agde A1 ; Aniane1, F :Fontanès ; L : Lézan ;B : Beaucaire)

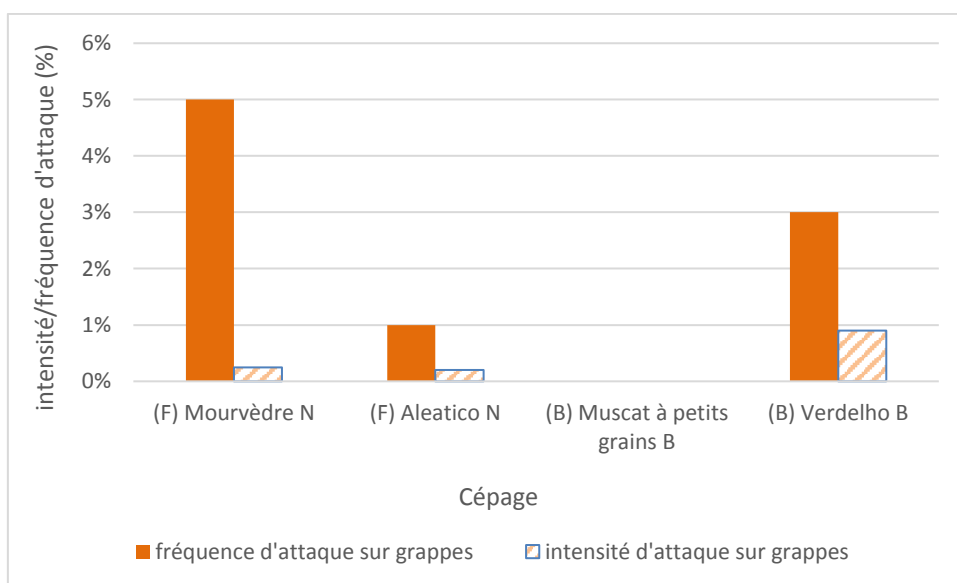


Figure 8: Fréquence et intensité d'attaque de l'oidium sur grappes( F :Fontanès ; B : Beaucaire)

pas de sensibilité particulière par rapport au Cabernet-Sauvignon N.

Sur Lezan : Le Grenache B semble très sensible au mildiou sur feuille (intensité d'attaque supérieure 65%) mais moins sur grappes, puisque la fréquence d'attaque n'y est seulement de 8%. Globalement le Xarello B, le Parellada B et l'Alvarinho B sont moins sensibles au mildiou sur feuille, puisqu'ils présentent des fréquences d'attaques deux à trois fois inférieures. Sur grappes, l'Alvarinho B se distingue puisqu'il présente une fréquence d'attaque de 17% soit presque trois fois supérieure aux trois autres cépages.

Sur Beaucaire : le Verdelho B est exempt de symptômes. Sur feuilles, le Montepulciano N et le Muscat à petits grains B présentent globalement la même sensibilité. Le Montepulciano N se distingue surtout par une plus grande sensibilité sur grappes.

Sur Agde : aucun symptôme n'a été observé ni sur le Merlot N ni sur le Touriga nacional N.

#### Sensibilité au black-rot (figure 7)

Sur l'ensemble des sites, seuls des symptômes foliaires ont été identifiés.

Sur Fontanès : l'Assyrtiko B présente une sensibilité environ deux fois inférieure à l'Aléatico, si l'on se base sur la fréquence d'attaque.

Sur Aniane1 : Sur ce site, les symptômes de black rot sont les moins fréquents sur le Primitivo N et le Calabrese N. Le бага N présente quant à lui des symptômes deux fois plus fréquents et le Saperavi N trois fois plus fréquents. Dans l'ensemble l'intensité d'attaque reste très modérée et ne dépasse pas 3%. Le Cabernet-Sauvignon N lui ne présente pas de symptômes.

Sur Lezan : Le Parellada B, le Saperavi N et l'Alvarinho B sont touchés de façon importante puisque les fréquences d'attaques sont supérieures à 25%. Le Xarello B est touché dans une moindre mesure mais la fréquence d'attaque atteint tout de même 15%. Le Grenache B est quant à lui très peu touché. L'ensemble des cépages sur ce site présentent des fréquences d'attaques élevées. Notamment le Saperavi N où la fréquence d'attaque est deux fois supérieure à celle de Lézan. Le nombre de et le type de traitements pourraient expliquer cette différence.

Sur Beaucaire : le Verdelho B est exempt de symptômes. Sur feuilles, le Montepulciano N et le Muscat à petits grains B présente globalement la même sensibilité. Le Montepulciano N se distingue surtout par une plus grande sensibilité sur grappes.

#### Sensibilité à l'oïdium (figure 8)

Très peu de symptômes d'oïdium ont été observés au cours de la campagne, seulement sur grappes, et sur trois cépages, dont deux sur le site de Fontanès. Le Mourvèdre N est plus sensible que la Malvoisie d'Istrie B, l'Assyrtiko B et l'Aléatico N. L'Aléatico N est légèrement plus sensible que les deux cépages blancs mentionnés.

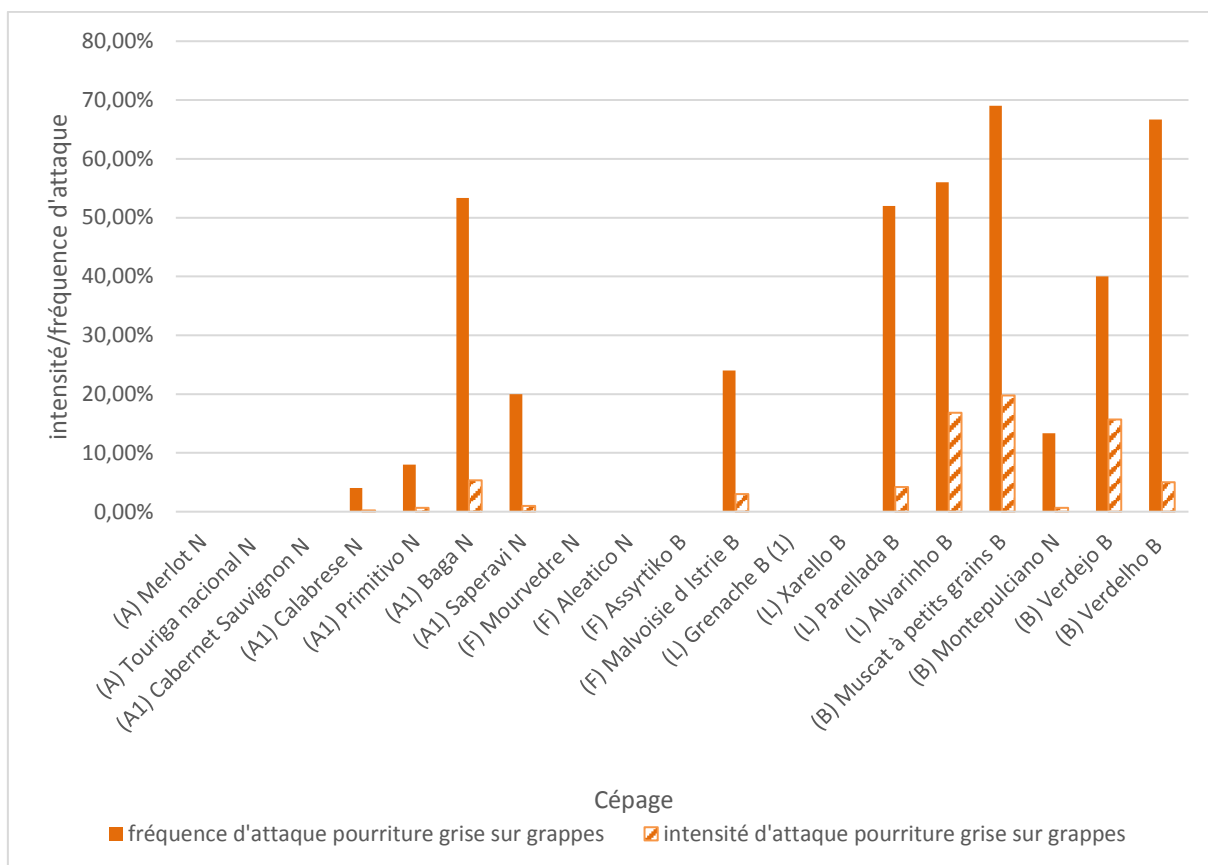


Figure 9: Fréquence et intensité d'attaque de pourriture grise observées à la vendange ( « (1) » =données absentes ; A : Agde A1 : Aniane1, F :Fontanès ; L : Lézan ;B : Beaucaire)

Pour les cépages « sensibles », les dégâts restent très modérés compte tenu des intensités d'attaques respectives. Sur le site de Beaucaire, le Verdelho B semble légèrement plus sensible que les autres cépages présents sur ce site (Muscat à petits grains, Montepulciano N, Verdejo B). La fréquence d'attaque reste très faible (3%) ainsi que l'intensité d'attaque (<1%).

Une explication possible pour le très faible nombre d'observations réalisées, peut être simplement un manque d'expertise dans la reconnaissance des symptômes.

#### Sensibilité à la pourriture grise (figure 9)

Sur Fontanès : Le Mourvèdre N, l'Assyrtiko B, et l'Aléatico N ne présentent pas de symptômes de pourriture grise, contrairement à la Malvoisie d'Istrie qui présente une fréquence d'attaque de plus de 20%. L'intensité d'attaque reste très faible (<3%).

Sur Aniane1 : les grappes de Cabernet-Sauvignon N sont restées parfaitement saines quand celles du Primitivo N et du Calabrese N présentent quelques symptômes, la fréquence d'attaque étant entre 5 et 8%. Le Baga N quant à lui présente une certaine sensibilité par rapport à la pourriture grise, puisque la fréquence d'attaque atteint plus 50%. L'intensité d'attaque reste faible, les grappes présentant simplement de petits foyers de pourriture grise. Afin d'éviter une plus forte dégradation de l'état sanitaire, il a été décidé de le vendangé à une maturité technologique faible, aux alentours de TAVP=10°.

Sur Lezan : le Xarello B ne présente pas de symptômes quand le Parellada B et l'Alvarinho B sont très nettement touchés. La fréquence d'attaque dépasse 50% pour les deux cépages et l'intensité d'attaque atteint plus de 15% sur l'Alvarinho B, soit presque trois fois plus que le Parellada B. Egalement, Malheureusement, le Grenache B a été vendangé avant que l'observation ait pu avoir lieu.

Sur Beaucaire : Une très forte sensibilité à la pourriture grise est constatée sur le Muscat à petits grains. La fréquence d'attaque atteint 69% pour une intensité d'attaque de 20%. Le Verdelho B est également touché avec le même ordre de grandeur de fréquence d'attaque, mais une intensité d'attaque quatre fois inférieure. Le Verdejo B à l'inverse, présente une moindre fréquence d'attaque (40%) mais une intensité d'attaque relativement importante de l'ordre de 15%. Le Montepulciano N fait l'objet de quelques symptômes ponctuels et est donc nettement moins sensible que le Muscat à petits grains.



*Figure 10 : Galles phylloxériques sur Verdejo (Beaucaire, 10/08, Eric Cheylus)*



*Figure 11 : flétrissement des baies et dessèchement de la rafle sur Saperavi (Aniane1, 25/08, Eric Cheylus)*



*Figure 12 : Grappe de Primitivo aux baies hétérogènes (Abeilhan, 15/06, Eric Cheylus) \**



*Figure 13 : Grappe de Primitivo aux baies homogènes (Pouzolles, 05/07, Eric Cheylus)*

### 3.2.1.5 Particularités

#### Verdejo B : Sensible au phylloxera (figure 10)

Des galles phylloxériques sont présentes en très grands nombres au niveau des jeunes feuilles des rameaux principaux. Ces galles ne sont pas observées sur le Muscat à petits grains B, le Montepulciano N, et le Verdelho B.

#### Saperavi N : sensible au flétrissement des grappes/déssèchement de la rafle (Figure 11)

Sur les deux Saperavi N du réseau, un phénomène de flétrissement extrême des baies et de déssèchement des rafles est observé. On observe parfois une inflexion de l'axe primaire de la rafle très fine, qui cède sous le poids des baies, bloquant l'afflux d'eau et concourant ainsi au flétrissement. Néanmoins, ce n'est pas le cas sur toutes les grappes. Le clone utilisé à Lézan est le 1187. Sur Aniane1, le matériel végétal a été planté par le père du propriétaire actuel dans les années 80, et n'a pas pu être identifié.

Interpellé par ce phénomène, un des domaines recensé ayant du Saperavi N a été sollicité pour évaluer l'étendue de ce caractère sur ce cépage. Ce vigneron n'a pas observé ce phénomène ; il faut noter que contrairement aux deux autres parcelles, la sienne est irriguée.

#### Primitivo N : Hétérogénéité de la taille des baies (Figure 12 et 13)

Sur le Primitivo N, le caractère connu d'hétérogénéité de la taille des baies au sein des grappes (Plantgrape) est plus ou moins marqué selon les sites. Sur Abeilhan, l'hétérogénéité de la taille des baies au sein des grappes est extrêmement marqué, en témoigne la figure 12. Sur Pouzolles au contraire, la taille des baies est beaucoup plus homogène (figure 13).

Le matériel végétal pourrait expliquer cette diversité phénotypique, le clone utilisé à Abeilhan n'est pas connu et le clone utilisé à Pouzolles est le 55A.

#### Parellada B/Alvarinho B : sensibles aux hyménoptères

Lors des chantiers de vendange de ces deux cépages, de très nombreux hyménoptères étaient présents sur et autour des grappes, et certaines baies percées. Ce ne fut pas le cas du Xarello B. Ces deux cépages font peut-être l'objet d'une sensibilité particulière aux hyménoptères, une vigilance devrait être apportée lors de la prochaine campagne.



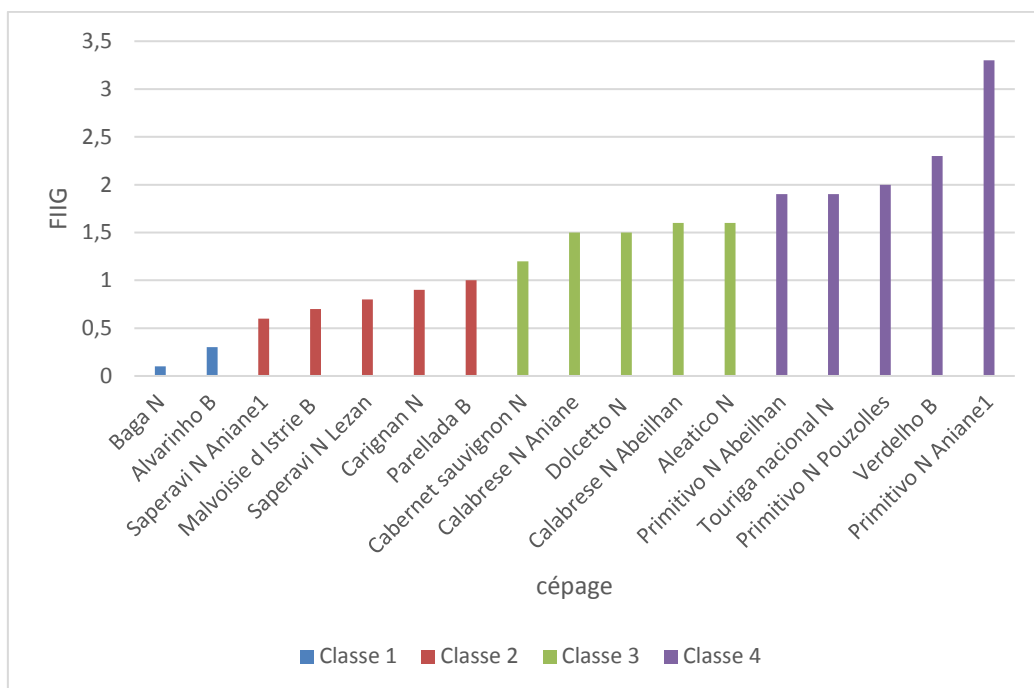


Figure 14 : Fertilité de deuxième génération (nombre de grappes issu d'un contre-bourgeon , un bourillon et un bourgeon du vieux bois)

Tableau 6 : Nombre de grappes sur 10 contre-bourgeons

Cépage	nombre de grappes sur 10 contre bourgeons
Saperavi N Lezan	0
Baga N	0
Alvarinho B	1
Malvoisie d Istrie B	4
Saperavi N Aniane1	4
Cabernet-Sauvignon N	5
Carignan N	6
Calabrese N Aniane1	7,5
Parellada B	8
Aléatico N	9
Dolcetto N	9
Calabrese N Abeilhan	10
Primitivo N Pouzolles	10
Xarello B	9
Primitivo N Abeilhan	11
Verdelho B	12
Touriga nacional N	13
Primitivo N Aniane1	13

-

## 3.2.2 Sensibilité au gel

### 3.2.2.1 Observation de la fertilité des contre-bourgeons, bourillons, bourgeons du vieux bois (figure 8)

On constate que l'effet site impacte peu la fertilité de deuxième génération puisque les deux Calabrese N présente FIIG= 1,5 et 1,6 grappes et les deux Saperavi N FIIG =0,6 et 0,7. Le Primitivo N est une exception, puisque FIIG varie de 2 à 3,3 même si les valeurs sont élevées toutes les deux.

Sur certains cépages, FIIG n'a pu être calculée à cause de données manquantes (absence de bourillons ou de bourgeons cryptiques observés par exemple). En l'absence de référence sur cet indice dans la bibliographie, les cépages sont classés dans les catégories définies comme suit :

Classe 1 (FIIG <0,5, dite « faible ») : Baga N, Alvarinho B ;

Classe 2 (FIIG entre 0,6-1,1, dite « moyenne »): Saperavi N, Parellada B, Carignan N ;

Classe 3 (FIIG entre 1,2-1,7 dite « bonne ») : Calabrese N, Dolcetto N, Aléatico N, Cabernet-Sauvignon N ;

Classe 4 (FIIG >1,8 dite « élevée ») : Primitivo N, Touriga nacional N, Verdelho B

L'indice FIIG peut-être remis en question car les conditions d'initiations des bourgeons cryptiques sont mal connues. Noter la fertilité des bourgeons du vieux bois sur plusieurs campagnes successives permettra d'évaluer si un effet cépage existe bel et bien et donc s'il est pertinent de l'incorporer à FIIG

En se basant exclusivement sur la fertilité des contre-bourgeons (Tableau 6), on aurait :

Classe 1 (0-3 grappes/10rameaux) : Saperavi N Baga N, Alvarinho B

Classe 2 (4-7 grappes/10 rameaux) : Cabernet-Sauvignon N, Carignan N, Malvoisie d'Istrie B

Classe 3 (8-11 grappes/10 rameaux) : Parellada B, Aléatico N, Dolcetto N, Calabrese N, Primitivo N

Classe 4 (>12 grappes/10 rameaux) : Touriga nacional N, Verdelho B

Seulement trois cépages changent de classe : le Saperavi N et le Primitivo N sont « déclassés » seulement d'une classe et le Parellada « promu » en classe 3.

Ceci s'explique par la part de contribution de la fertilité des contre-bourgeons à FIIG qui est de 50%, et qui se répartie de façon relativement équivalente entre les bourillons (27%) et les bourgeons cryptiques (23%) , même si une variabilité très forte peut exister selon les cépages en témoigne les barres d'erreurs. (cf annexe 7)

Une confrontation avec les données bibliographiques est donnée en annexe 8.

Tableau 7: Potentiel de tige et groupe associé après ANOVA (PT1: stade petit pois; PT2: fermeture de la grappe; PT3: mi-véraison, groupes avec différences significatives à 5%)

Cépage	PT1		PT2		PT3	
fontanes						
	moyenne	groupe	moyenne	groupe	moyenne	groupe
Aléatico N	-0,61	b	-1,03	a	-1,19	a
Assyrtiko B	-0,92	a	-0,75	b	-0,92	b
Malvoisie d Istrie B	-0,4	c	-0,52	c	-0,9	b
Mourvedre N	-0,79	a	-0,94	a	-1,13	a
gassac						
Baga N	-0,75	ab	-1,08	ab	-1,1	bc
Cabernet-Sauvignon N	-0,87	a	-1,19	a	-1,39	a
Calabrese N	-0,63	b	-0,94	b	-0,95	c
Primitivo N	-0,73	ab	-1,1	ab	-1,29	ab
Saperavi N	-0,67	b	-1,11	a	-1,18	ab
lezan						
Grenache B					-0,64	c
Alvarinho B					-0,78	bc
Parellada B					-0,97	ab
Xarello B					-0,71	c
Saperavi N					-1,08	a

### 3.2.3 Sensibilité à la sécheresse

#### 3.2.3.1 Potentiel de tige :

Les résultats de cette méthode sont résumés dans le tableau 7 (Ils sont présentés en box-plot en annexe 12 pour les trois sites) ; On constate que :

-Sur Aniane, le Calabrese N, est tout au long de la campagne le cépage qui présente la contrainte hydrique la plus faible et le Cabernet-Sauvignon N la plus élevée. Le Primitivo N et le Saperavi N présentent tous les deux une contrainte hydrique plus élevée que le Calabrese N à la troisième date et non significativement plus faible que le Cabernet-Sauvignon N. Le Baga N quant à lui présente une contrainte hydrique modérée tout au long du cycle. Il est important de se référer au niveau de charge par pied : Le Cabernet présente environ 1kg/souche comme le Calabrese N, alors que le Baga N 2,5 kg/souche, le Primitivo N 3,2 kg/souche. Le Saperavi N moins de 500g par souche. D'après la bibliographie, la charge par souche entraîne un potentiel de tige plus élevée. Ainsi, cela peut expliquer les valeurs observées, plus que l'effet cépage en lui-même. Il semble néanmoins que le Primitivo N est plus sensible que le Baga N, alors que d'après la bibliographie, ce devrait être le contraire. Un double effet charge et cépage pourrait donc expliquer les résultats.

Sur Fontanès globalement le Mourvèdre N et l'Aléatico N sont les plus sensibles à la sécheresse contrairement à la Malvoisie d'Istrie B et l'Assyrtiko B moins sensibles. Pour ces deux cépages, même en fin de saison, la contrainte hydrique est faible. Les niveaux de charge sont de 600 g pour l'Assyrtiko, 1,8 kg pour le Mourvèdre et 2 kg pour la Malvoisie d'Istrie. L'hétérogénéité inter-sites pourrait expliquer la faible contrainte hydrique pour ce cépage. Egalement, la haute densité de plantation sur l'Aléatico pourrait expliquer sa plus grande sensibilité à la sécheresse. Enfin, il existe une grande diversité de porte-greffes employés sur ce site et pourrait également influencer les résultats.

Sur Lézan, le Grenache blanc B et l'Alvarinho B présentent les contraintes hydriques les plus faibles suivi de l'Alvarinho et du Parellada et enfin du Saperavi. Sur ce site, la charge par souche varie drastiquement de 0,9 kg pour l'Alvarinho à 1,2 kg pour le Xarello et 3,8 kg pour le Parellada. Quant au Saperavi N, les grappes ayant complètement flétries, la charge n'a pas été calculée.

On utilise les valeurs obtenues sur la troisième date, recueillies sur les trois sites, pour comparer l'ensemble des cépages entre eux. Compte tenu des distances entre les sites, d'une potentielle variabilité pédo-climatique importante, des informations complémentaires sont nécessaires pour l'interprétation des résultats (cf 3.2.5). Les sites d'Aniane et Lézan sont proches climatiquement par contre Fontanès est significativement plus frais. Le classement suivant doit donc être pris avec prudence.

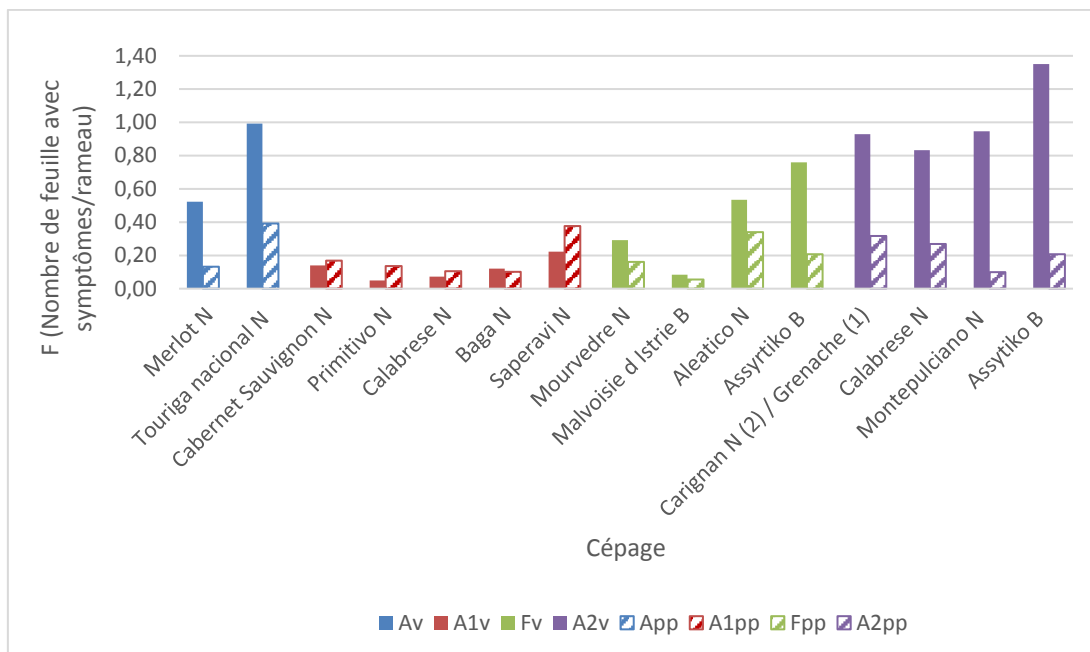


Figure 15 : Fréquence de symptômes foliaires de sécheresse (pp: stade petits poids; v: stade véraison)

A partir des gammes classiques de potentiel de tige on peut alors classer l'ensemble des cépages entre-eux,

Classe 1 (<-0,6 MPa contrainte hydrique absente) : /

Classe 2 :(-0,9 MPa - -0,6 MPa contrainte hydrique faible) : Grenache blanc, Alvarinho, Xarello ;

Classe 3 (-1,1 MPa - -0,9 MPa contrainte hydrique faible à modérée) : Parellada, Calabrese, Baga, Assyrtiko, Malvoisie d'Istrie ;

Classe 4 (-1,4 MPa - -1,1 MPa contrainte hydrique modérée à sévère) : Saperavi N, Primitivo N, Aléatico N, Mourvèdre ;

Classe 5 (< -1,4 MPa contrainte hydrique sévère) : aucun ;

### 3.2.3.2 Observation des symptômes de sécheresse sur feuille (figure 15)

Pour chaque date, l'observation des symptômes de sécheresse a permis de réaliser une ACP, dans l'objectif de déterminer les indices les plus pertinents à calculer. (annexe 9). La dimension 1 représente plus de 85% de la variabilité des données à la première date et à la deuxième date 74%. L'axe 1 est très bien défini à la fois par l'indice de fréquence de symptômes de sécheresse (coefficient de corrélation = 0,99/0,98) et d'intensité de symptômes de sécheresse (coefficient de corrélation = 0,96/0,93). Afin de simplifier ce protocole d'observation, tout en conservant le plus d'informations possibles, un bon compromis serait donc de ne calculer que l'indice de fréquence de symptômes. Ceci permettra à la fois de diminuer le temps d'observation, de traitement et d'interprétation des données.

L'observation de symptômes de sécheresse est largement supérieur à la deuxième période d'observation (stade véraison) qu'à la première (stade petit pois): F varie de 0,05 à plus de 1 feuille/rameau alors qu'il varie seulement jusqu'à 0,34 feuille/rameau au stade petit pois. A partir de cette expérience terrain, ce protocole semble beaucoup plus pertinent en fin de campagne qu'en début. En début de campagne (mai-juin), il est préférable de suivre le stress hydrique précoce par observation des apex. Pour rappel, ce protocole ne pouvait être mis en place car le réseau de parcelles de suivi n'était à ce moment pas encore établi.

Afin de déterminer des classes pour comparer les cépages entre eux, en l'absence de référence bibliographique pour cet indicateur, intéressons nous à la distribution de l'indice de fréquence sur les observations de l'ensemble de cépages à la deuxième date à la travers les quartiles :  $Q_1=0,14$ ,  $Q_2=0,47$  ( $\mu=0,52$ ) et  $Q_3=0,86$ . On choisira :  $Q_1$ ,  $Q_2$ , et  $Q_3$  comme borne pour classer les cépages

Classe 1 (<0,15) : Malvoisie d'Istrie B, Primitivo N, Cabernet-Sauvignon N, Baga N, Calabrese N

Classe 2 (0,15-0,47) : Saperavi N, Mourvèdre N, Grenache B,

Classe 3 (0,48-0,86) : Merlot N, Aléatico N,

Classe 4 (>0,86) : Touriga nacional N, Assyrtiko B, Carignan N, Montepulciano N

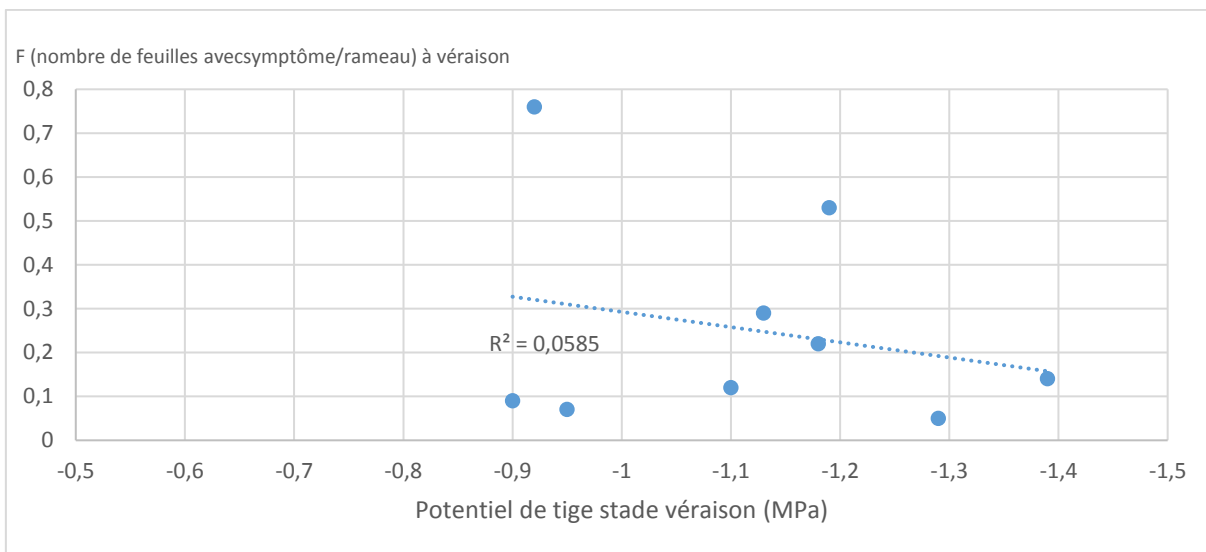


Figure 16 : lien entre potentiel de tige et fréquence de défoliation au stade véraison (9 cépages)



Figure 17 : Touriga Nacional (Agde le 17/09 - Eric Cheylus)



Figure 18 : Alático (Fontanès le 09/09 - Eric Cheylus)

L'avantage principal de ce protocole repose sur l'absence de matériel requis. L'opérateur n'a besoin que d'une fiche de notation. Cette observation est ainsi beaucoup moins contraignante à mettre en place que les mesures de potentiel de tige, par exemple.

Ce protocole présente néanmoins quelques inconvénients qui méritent d'être présentés :

- le nombre de rameaux par cep: le protocole tel qu'il est conçu peut rapidement être trop fastidieux si le nombre de rameaux à observer par souche est très élevé. Ce protocole doit être réservé à des souches dont le nombre de rameaux est inférieur à quinze, idéalement sur des ceps soigneusement ébourgeonnés.

- la durée d'observation, il faut compter environ 15 et 30 minutes par cépage selon le nombre moyen de rameaux par souches (variant de 6 à 15);

- les erreurs de diagnostic : sénescence de la première feuille du rameau, tâche de mildiou âgée

Les sites non-retenus sont les suivants : Lézan car 20 à 35 rameaux pouvaient être présents sur chaque cep. Beaucaire, car ces cépages sont irrigués.

Une alternative à l'observation pour un nombre de souches peut-être l'observation des rameaux par mètre linéaire, sauf si le système de plantation est discontinu (gobelet, nombre important de manquants).

### *3.2.3.3 Comparaison potentiel de tige / symptômes foliaires (figure 16)*

Il est également intéressant d'étudier si un lien peut être établi entre le potentiel de tige et F grâce aux cépages sur lesquels les deux méthodes ont été employées. Pour cela, une régression linéaire est réalisée.

Le coefficient de détermination étant très faible  $R^2=0,06 \ll 1$  ; il n'y a pas de lien entre ces deux indicateurs de sensibilité à la sécheresse sur ce millésime.

Le lien entre symptômes foliaires et de  $\delta^{13}C$ , une fois les données obtenues, pourrait être déterminé. Néanmoins, compte tenu de la très bonne corrélation entre le potentiel de tige et le  $\delta^{13}C$ , on peut s'attendre à ce que la corrélation soit faible également.

### *3.2.3.4 Sensibilité au flétrissement*

Lors des vendanges, une vigilance particulière a été portée sur la présence de symptômes de flétrissement. Deux cépages ont présenté des symptômes de flétrissement, phénomène attesté par les figures 17 et 18.



Tableau 8: Indices climatiques de Montpellier de 2010 à 2021 et sur les principaux sites expérimentaux (NJE : nombre de jour d'échaudage =  $T_{moy} > 35^{\circ}C$  ; DI= indice de sécheresse; IF : indice de fraîcheur des nuits ; IH : indice de Huglin)

site	année	IH (°C)	IF (°C)	DI(mm)	P (mm)	NJE
Montpellier	2010	2495	13,5	-5	201	3
Montpellier	2011	2602	16,6	-5	205	1
Montpellier	2012	2524	15,7	10	232	3
Montpellier	2013	2417	15,1	-12	188	1
Montpellier	2014	2550	15,6	146	426	2
Montpellier	2015	2668	14,3	108	443	10
Montpellier	2016	2580	16,5	8	246	4
Montpellier	2017	2625	13,7	-67	116	9
Montpellier	2018	2819	16,2	17	341	11
Montpellier	2019	2717	15,8	-53	171	13
Montpellier	2020	2689	15,5	-12	239	5
Montpellier	2021	2514	16,2	31	278	4
agde	2021	2435	17,2	-39	118	2
aniane	2021	2641	15,6	5	273	13
lezan	2021	2552	15,9	20	281	13
beaucaire	2021	2554	16,2	28	276	7
fontanes	2021	2353	13,8	50	251	4

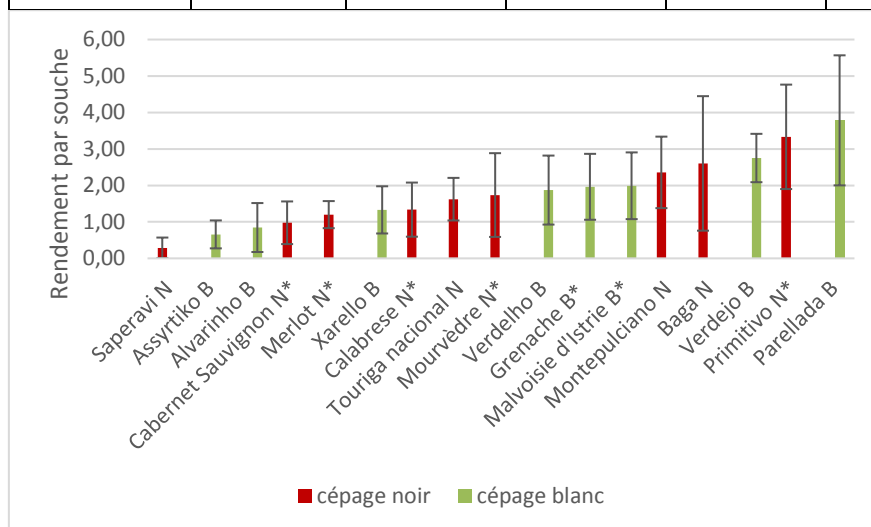


Figure 19 : rendement par souche (BEI=BEF=écart-type; \*:mesuré à la parcelle)

### **3.2.4 Sensibilité à la chaleur**

Les symptômes de grillure n'ont pas été observés sur la campagne 2021. Les caractéristiques du millésime n'ont en effet pas été propices, 2021 étant l'année la plus fraîche des onze dernières années après 2012 et 2013, si l'on prend Montpellier comme station de référence.

### **3.2.5 Compléments pour l'interprétation des résultats**

#### *3.2.5.1 Caractéristiques du millésime 2021 et hétérogénéité climatique entre sites d'observations*

Afin de prendre du recul par rapport aux comportements agronomiques observés sur la campagne 2021, il est nécessaire de caractériser son climat et de le comparer à celui des précédents millésimes. La caractérisation du climat passe par trois critères, IF, DI, IH, présentés en 2.2.5.

Un traitement par ACP ne permet pas de représenter fidèlement l'information présente dans les données, puisque la dimension 1 ne présente que 35,01% de variance, et la dimension 2 33,3%. La somme du pourcentage de variances des deux axes est égale à 68,3% ce qui est faible. Les indices calculés sont donc présentés dans le tableau 8.

On constate premièrement, en terme de températures, que 2021 est très proche de 2012 et 2013, soit l'un des millésimes les plus frais depuis 2010. Par contre les nuits au mois de septembre sont restées tempérées, l'IF étant le plus élevé avec 2018, 2016 et 2011. Enfin 2021 est un millésime avec un déficit hydrique faible par rapport aux douzes derniers millésimes. Seuls 2014 et 2015 ont un déficit hydrique plus faible, en raison de très fortes précipitations au mois de septembre. Dans l'ensemble, on ne peut pas dire que 2021 ai été une campagne « idéale » pour évaluer la sensibilité à la chaleur et à la sécheresse.

Entre les sites, on constate en premier lieu que les indices de Huglin mesurés sont globalement proches à l'exception de Fontanès, station particulièrement fraîche. Ainsi l'amplitude d'IH entre Fontanès et Aniane (288°C) est quasiment équivalente à celle entre les millésimes 2021 et 2018 à Montpellier (305°C). De même, 3,4°C sépare Agde et Fontanès en terme de température moyenne minimale au mois de septembre. 89mm de précipitations sépare Agde de Fontanès. Globalement, les sites d'Aniane, Lezan, et Beaucaire sont proches, Agde est la station la plus chaude et sèche et Fontanès la plus fraîche et la moins sèche.

Il est important de rappeler que la RU est définie de façon standard à 200mm au premier avril pour l'ensemble des site d'observation. Or, compte tenu de leurs différentes natures géologiques, il est probable que des différences significatives de réserves en eau disponible existent entre eux. L'évaluation de l'hétérogénéité inter/intra-site mérite d'être approfondie sur le volet pédologique. Ainsi il serait souhaitable, lors de la prochaine campagne, de caractériser de façon plus précise chaque site au niveau de la RU afin de calculer des déficits hydriques plus précis.

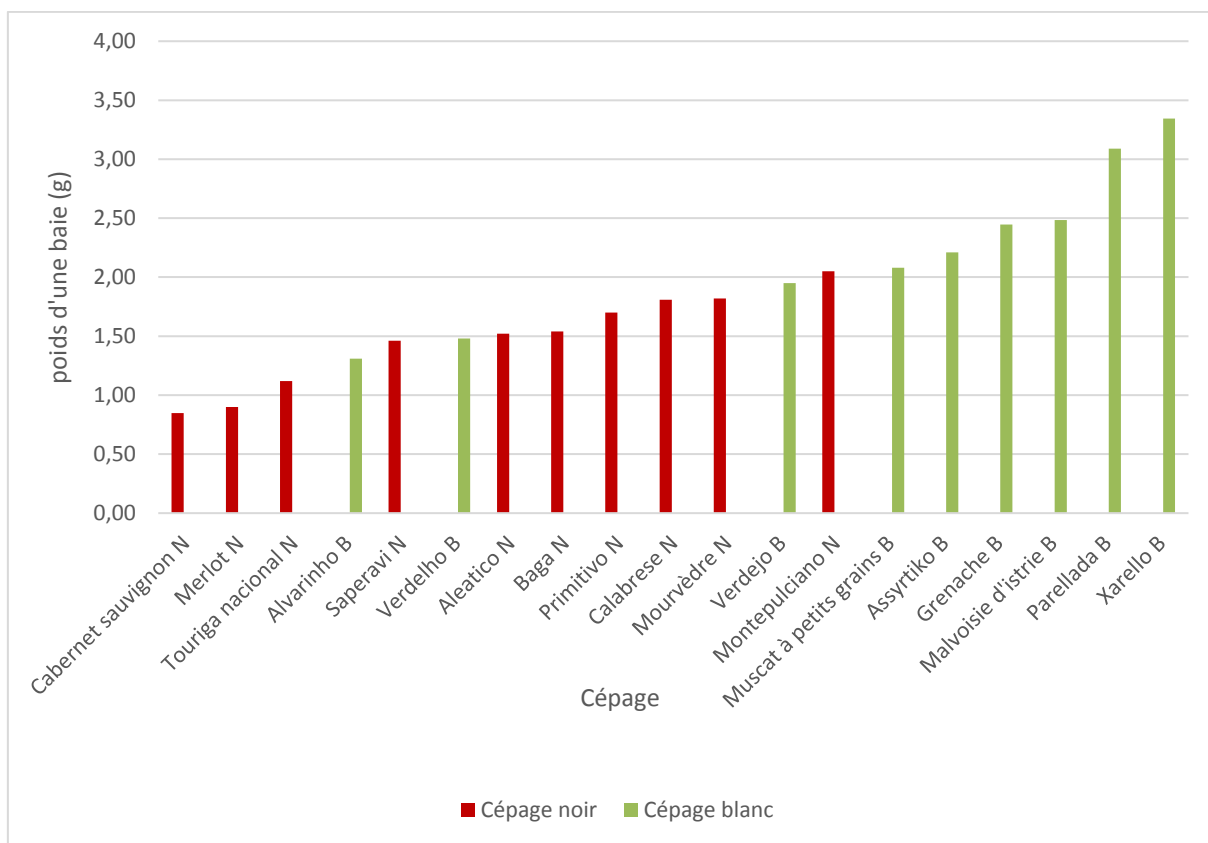


Figure 20 : poids d'une baie 5-7 jours avant vendange

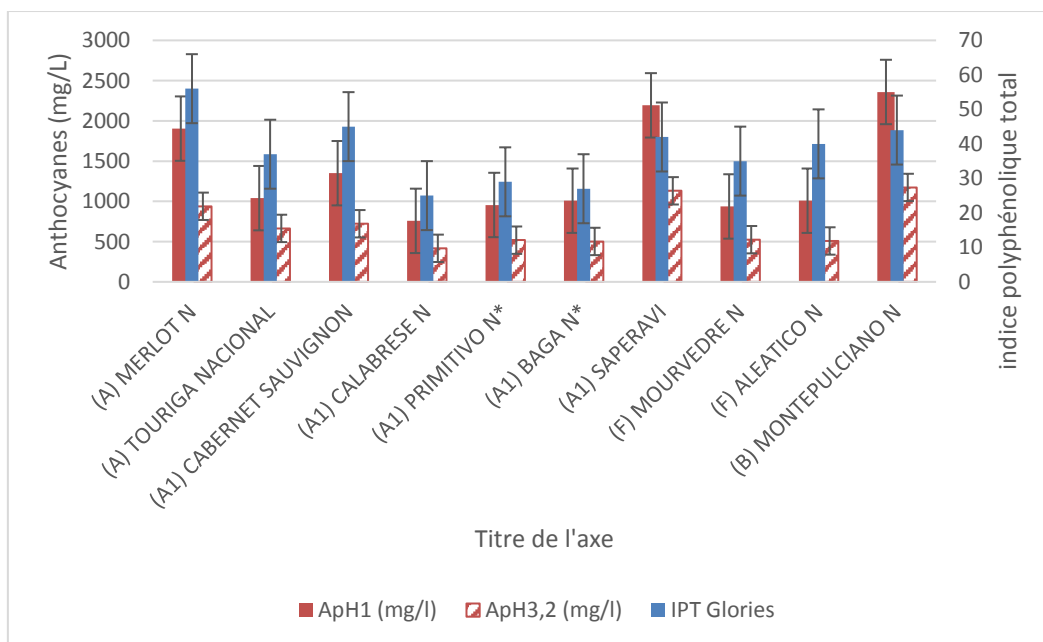


Figure 21 : Composition des baies en polyphénols une semaine avant vendange (A :Agde ; A1 : Aniane1 ; F : Fontanes ; B Beaucaire)

Egalement, la présence d'irrigation sur Beaucaire induit un biais regrettable compte tenu du thème étudié. La possibilité de couper l'alimentation hydrique sur un rang de chaque cépage étranger et du témoin devrait être étudié lors d'une prochaine campagne d'observation. Une troisième réserve est la fiabilité des données météorologiques, la station correspondante à Fontanès étant tout de même relativement éloignée (cf annexe 4).

#### *3.2.5.2 Hétérogénéité intra-site*

Les sites ont été choisis pour l'homogénéité pédo-climatique entre cépages. Il convient de souligner en particulier ici les biais majeurs :

Sur le site de Fontanes : la parcelle de Malvoisie d'Istrie B se situe en bas de coteau, et présente un sol moins riche en éléments grossiers à première vue que les terrasses de Mourvèdre N, Assyrtiko B, Aléatico N. Cette parcelle présente elle-même une hétérogénéité entre le haut et le bas, compte tenu de la pente. Il faut privilégier la moitié haute de la parcelle pour effectuer les observations, la partie la plus riche en éléments grossiers, et de facto la plus proche pédologiquement des autres terrasses. Sur le site d'Aniane : le Cabernet-Sauvignon est âgée (>60ans) et présente 33% de manquants, contrairement aux cépages étrangers qui ont environ 30ans et où les manquants sont anecdotiques. Identifier les porte-greffes sur cette parcelle sera d'une aide précieuse pour l'interprétation des mesures/observations effectuées.

#### *3.2.5.3 Niveau de charge par cep (figure 19)*

Le niveau de charge par cep est discuté avec les valeurs de potentiel de tige.

## **3.3 Caractéristiques du raisin**

#### *3.3.1.1 Poids d'une baie*

Le poids moyen d'une baie environ une semaine avant vendange est présenté dans la figure 20. Parmi les cépages rouges, on constate qu'aucun cépage étranger n'a produit sur ce millésime de baies plus petites que le Cabernet et le Merlot. Le Touriga nacional et dans une moindre mesure le Saperavi, le Baga et l'Aléatico présentent de petites baies. Le Primitivo, le Calabrese et le Montepulciano présentent des baies de poids intermédiaire, proche de celle du Mourvèdre (1,8g). Chez les cépages blancs, l'Alvarinho et le Verdelho se distinguent par leurs baies de petites tailles. Le Verdejo, l'Assyrtiko ont des baies de poids proche à celui du Muscat à petits grains, tandis que la Malvoisie d'Istrie a des baies de poids proche à celui du Grenache blanc. Enfin le Parellada et le Xarello se démarquent par la très grande taille de leurs baies, qui dépasse 3 g en moyenne. La diminution de la taille des baies étant un phénomène typique d'une contrainte hydrique, ces observations sont conformes aux données de potentiel de tige.

#### *3.3.1.2 quantité de polyphénols (figure 21)*

La quantité de polyphénols présent dans la vendange est évaluée à travers ApH<sub>1</sub>, ApH<sub>3,2</sub> et IPT Glories, présenté en 2.3.1.1, sur des échantillons de 200 baies environ une semaine avant la récolte de chaque cépage.

Sur Agde, on constate que le Merlot possède 50% d'anthocyanes totaux de plus que le Touriga nacional. La quantité d'anthocyanes facilement extractible est

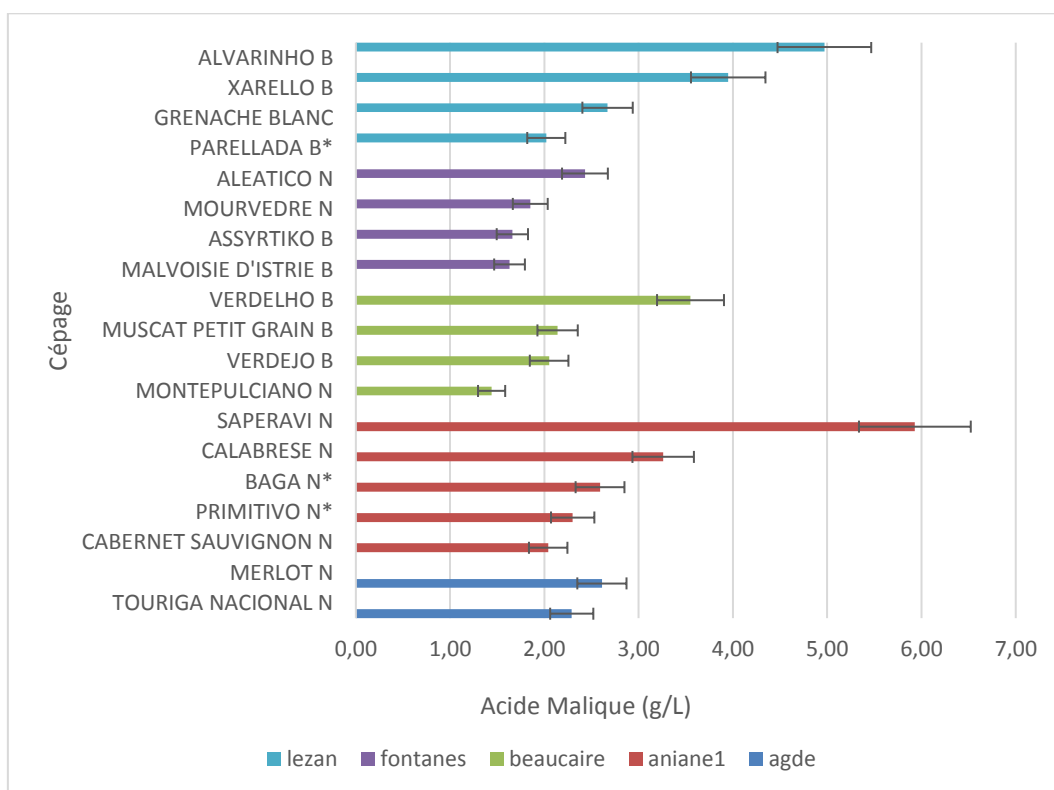


Figure 22 : Acide Malique (g/L) à 12° TAVP (« \* » : Baga N à TAVP=10 et Parellada TAVP=9)

également inférieure, mais dans une moindre proportion. Sur Aniane1, tous les cépages présentent des quantités plus faibles d'anthocyanes totaux et facilement extractibles, à l'exception du Saperavi, presque deux fois supérieures pour ApH<sub>1</sub> et ApH<sub>3,2</sub> à celles du Cabernet-Sauvignon. Sur Fontanès, les valeurs d'ApH<sub>1</sub> et ApH<sub>3,2</sub> sont proches entre le Mourvèdre et l'Aléatico. Sur Beaucaire, le Montepulciano est le seul cépage noir. Il présente l'ApH<sub>1</sub> le plus élevé, néanmoins moins de 50% sont facilement extractibles, ce qui est la plus grande différence observée. Ceci pourrait s'expliquer par la présence d'irrigation sur ce site.

Globalement, tous les cépages étrangers ont des valeurs d'IPT Glories, ApH<sub>1</sub> et ApH<sub>3,2</sub> plus faibles que leurs témoins, hormis le Saperavi (supérieur en intensité colorante et équivalent en polyphénols totaux) et l'Aléatico (proche du Mourvèdre).

### 3.3.1.3 La quantité d'acide malique à 12° potentiel

D'après la figure 22, sur Fontanès, la Malvoisie, l'Assyrtiko et le Mourvèdre présentent des valeurs proches d'acide malique, de l'ordre de 1,7g/L. Elle est plus élevée pour l'Aléatico, de l'ordre de 2,4g/L. Sur Aniane1, les cépages étrangers présentent tous des concentrations supérieures à celle du Cabernet-Sauvignon. En particulier, celle du Calabrese est presque deux fois supérieure et celle du Saperavi trois fois supérieure. Sur Lézan, les différences de concentration sont très nettes entre cépages : celle du Parellada est deux fois inférieure à celle du Xarello et 2,5 fois inférieure à celle de l'Alvarinho. Qui plus est, l'acide malique est mesuré pour un TAVP de 9% puisqu'il n'a pas dépassé ce seuil. Ceci amène à penser que le Parellada présente une concentration très faible d'acide malique à maturité. Sur Beaucaire, le Mourvèdre présente une concentration inférieure de l'ordre de 0,5g/L à celle du Muscat à petits grains et du Verdejo, tandis que celle du Verdelho est plus élevée d'environ 1,5g/L. Bien que ce site soit irrigué de façon homogène entre cépages, il est nécessaire de rester prudent quant aux interprétations possibles sur ces cépages compte tenu de ce biais. En effet, l'irrigation altère la dégradation de l'acide malique. Sur Agde, les concentrations d'acide malique sont comparables compte tenu des incertitudes de mesures.

A l'échelle inter-sites, on constate d'abord que l'Assyrtiko, la Malvoisie, le Parellada se distinguent par une faible concentration d'acide malique

On constate que le Verdejo B et le Saperavi N maintiennent un niveau d'acide malique très élevé. A l'inverse, l'Assyrtiko B, le Mourvèdre N, le Verdelho B ont des niveaux d'acide malique relativement faibles. On constate que le Verdejo B dispose d'un bon niveau d'acidité, même si cela pourrait être lié à l'irrigation. Néanmoins, le Montepulciano N, également irrigué dispose d'une concentration en acide malique relativement faible.

Globalement, on constate que les cépages de Fontanès dispose des concentrations en acide malique les plus faibles, à l'exception de l'Aléatico. Les données climatiques indiquent pourtant Fontanès comme la station la plus fraîche du réseau, qui plus est dans un millésime frais par ailleurs. La dégradation de l'acide malique



étant impactée par la chaleur, ceci renforce l'idée selon laquelle l'Assyrtiko B et la Malvoisie d'Istrie B conservent peu d'acide malique à maturité.

#### *3.3.1.4 Itinéraire de production envisagé*

La prise de décision quant à l'élaboration d'un itinéraire technique peut être influencée par le poids des baies, le rendement, la richesse en polyphénols, le degré alcoolique.

Le poids d'une baie peut contribuer à choisir le type de vin produit : par exemple, les cépages noirs à grosses baies peuvent être vinifiés en rosé ou en rouge léger. A l'inverse, des cépages noirs à petites baies sont plus susceptibles de présenter un profil de vin concentré. Ainsi, d'après les poids de baies mesurés (figure 12) et les concentrations en polyphénols, le Touriga nacional N et le Saperavi N pourrait rentrer dans une catégorie « vin rouge concentré », tandis que l'Aléatico et le Baga pourrait donner des rouges légers. A l'inverse, le Primitivo, le Calabrese et le Montepulciano sont potentiellement adaptés à la vinification en rosé, compte tenu de leur poids moyen de baie respectif, proche du Mourvèdre, couramment vinifié en rosé.

### **3.4 Discussion**

#### **3.4.1 Bilan sur les cépages étrangers : confrontation avec la bibliographie existante**

La base bibliographique correspond aux informations disponibles sur le site [www.plantgrape.fr](http://www.plantgrape.fr).

On peut noter que sur les cépages blancs, l'Assyrtiko B semble relativement tolérant à la sécheresse (sur la base du potentiel de tige), nettement moins sur la base de la fréquence des symptômes foliaires. Il paraît très sensible au mildiou en particulier. Cette observation est confirmée par les vignerons les ayant plantés sur les millésimes précédents. Concernant l'acidité, la concentration d'acide malique de ce cépage est particulièrement faible.

-L'Alvarinho: sur le site de Lezan, sur ce millésime, il s'est démarqué comme étant sensible à la pourriture grise (et aux hyménoptères).

-Le Verdejo: il est plutôt sensible à la pourriture grise sur le site Beaucaire et très sensible au Phylloxera.

-Le Verdelho : ce cépage conserve une bonne concentration en acide malique. Il paraît sensible à la pourriture grise et présente des grappes très compactes. Il paraît résilient face au gel compte tenu de son potentiel de remise à fruit (FIIG).

-Le Parellada : il se démarque par sa tardivité, soulignée également par la bibliographie. Il est effectivement fertile et productif. Il se démarque également par la taille de ses baies qui sont grandes (>3g). Par rapport au potentiel de tige, il semble plutôt tolérant à la sécheresse.

-Le Xarello : comme le Parellada, les baies du Xarello sont grandes. Par contre, la taille de ses grappes est hétérogène.

Sur les cépages noirs, le Calabrese, d'après les mesures de potentiel de tige et les



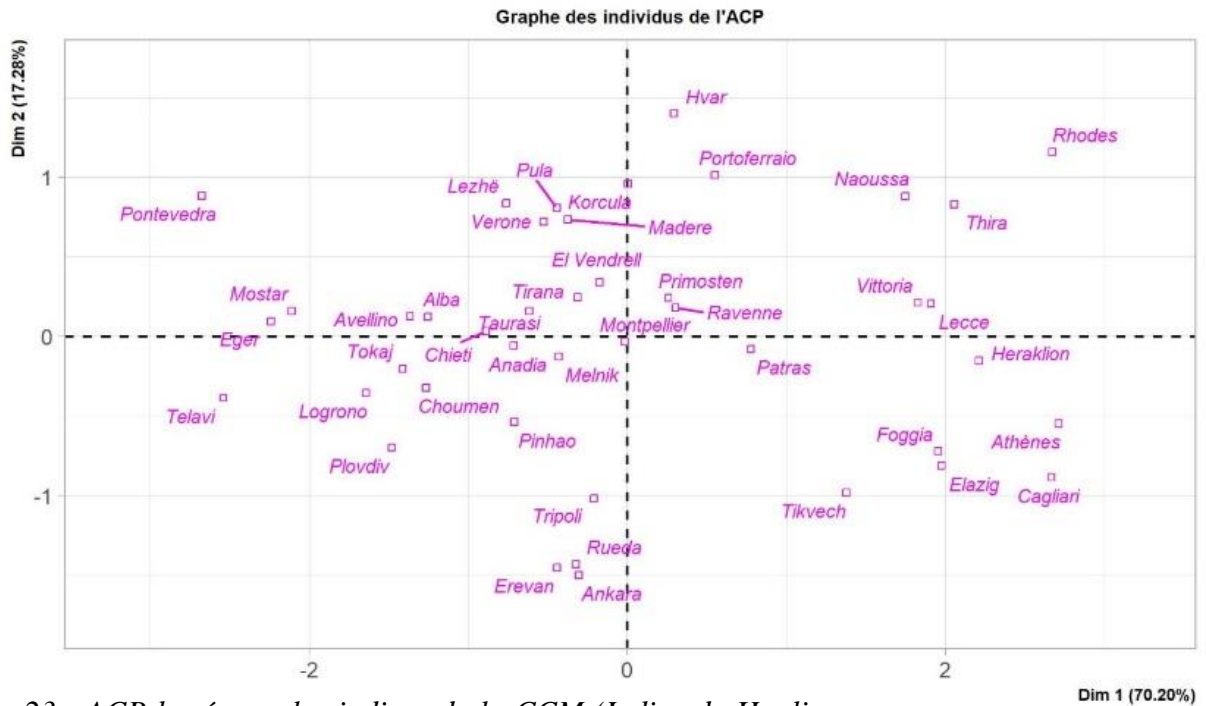


Figure 23 : ACP basée sur les indices de la CCM (Indice de Huglin, Indice de fraîcheur des nuïts et indice de sécheresse) sur 42 stations du bassin méditerranéen comparée à Montpellier

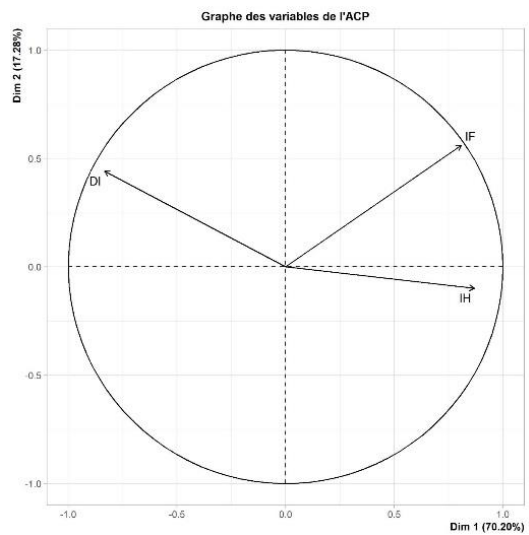


Figure 24 : représentation des variables de l'ACP

symptômes foliaires, est tolérant à la sécheresse. Les grappes de ce cépage sont lâches et moyennement sensible au gel.

-Le Saperavi semble sensible au gel et sensible à la sécheresse, contrairement aux informations bibliographiques. Il présente aussi, sur ce millésime, sur deux parcelles, un caractère particulier de flétrissement des baies et de dessèchement de la rafle. Il conserve un bon niveau de malique à la vendange.

-Le Montepulciano est conforme à la description bibliographique.

-Le Touriga nacional est apparu comme très sensible à la sécheresse (défoliation et flétrissement sur grappes) contrairement au Merlot sur le site d'Agde sur ce millésime, ce qui entre en conflit avec la bibliographie. Un effet clone est peut-être responsable de ce phénomène.

-Le Primitivo se démarque avant tout par une hétérogénéité très marquée de la taille des baies ; un effet clone très important existe cependant. Il est très fertile et présente une bonne résilience au gel (via sa remise à fruit).

-L'Aléatico sur ce millésime, plutôt frais, a paru souffrir de la sécheresse cette année, en témoigne les valeurs de potentiel de tige et de flétrissement sur baies.

Enfin, il ne semble pas exister de cépages « idéal », à la fois tolérant à la sécheresse, au gel, fertile et productif, peu sensible aux maladies, et dont le potentiel œnologique est intéressant.

Fort de ces observations de terrain en Languedoc, intéressons nous aux régions dont proviennent ces différents cépages.

### ***3.4.1 Lien entre le climat de la zone de production d'origine et le comportement observé en Languedoc***

Les variétés en provenance d'environnements secs sont considérées mieux adaptées aux périodes de sécheresse comparées à celles d'origine septentrionale, plus vulnérables (Schultz et al. 2007). On considère de la même façon que les différents climats auxquels sont soumises les variétés de vigne entraînent de grandes différences génotypiques concernant leurs réactions face à la sécheresse (Duan et al. 2008).

Dans ce contexte, il faut d'abord vérifier que les variétés étrangères cultivées sur le pourtour méditerranéen poussent dans des conditions réellement plus chaudes et sèches que celle du bassin méditerranéen français.

Une ACP a été réalisée sur 42 stations européennes (figure 23), comparées à Montpellier selon la classification climatique multicritères (CCM) (Tonietto et al. 2004). (Annexe 11).

On constate le Parellada et le Xarello, ainsi que le Baga, le Touriga nacional et le Montepulciano proviennent de régions plus fraîches que Montpellier (en particulier par rapport à l'IH), et pourtant, se sont démarqués comme peu sensible à la sécheresse (à l'exception du Touriga nacional). A l'inverse le Primitivo, qui provient d'une station chaude, s'est démarqué par une certaine sensibilité à la sécheresse compte tenu du potentiel de tige mesuré. Par ailleurs, l'Assyrtiko provient d'une des stations les plus chaudes et présente en France un niveau d'acide malique très bas. Inversement, l'Alvarinho présente une grande concentration d'acide malique alors qu'il vient de la station la plus fraîche.

Ces constats suggèrent qu'une variété étrangère en provenance d'une région plus

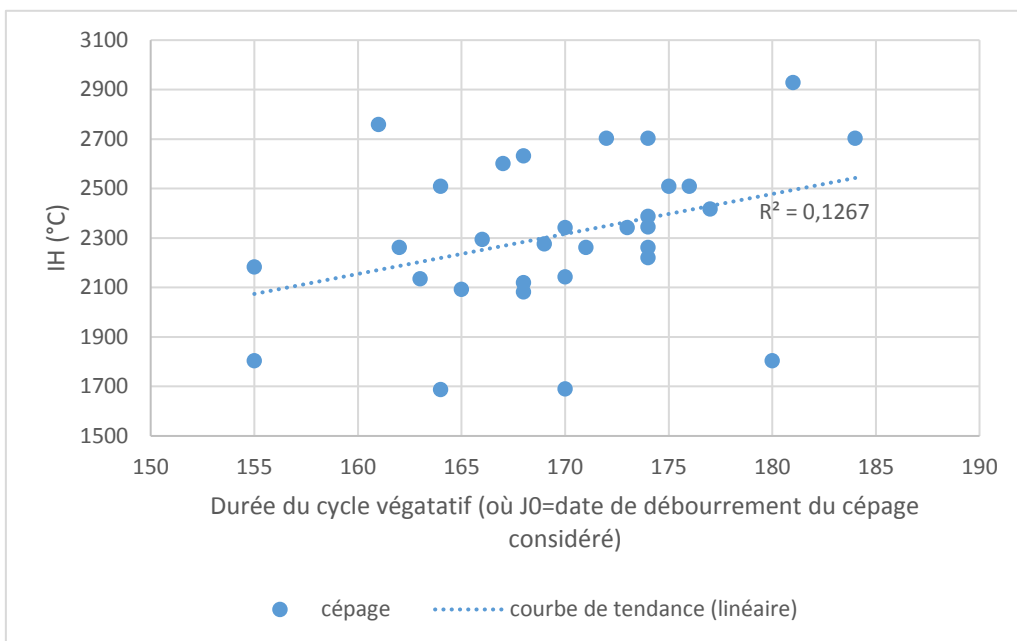


Figure 25 : Indice de huglin des stations de référence de 31 cépages en fonction de la durée du cycle végétatif observé au domaine de Vassal

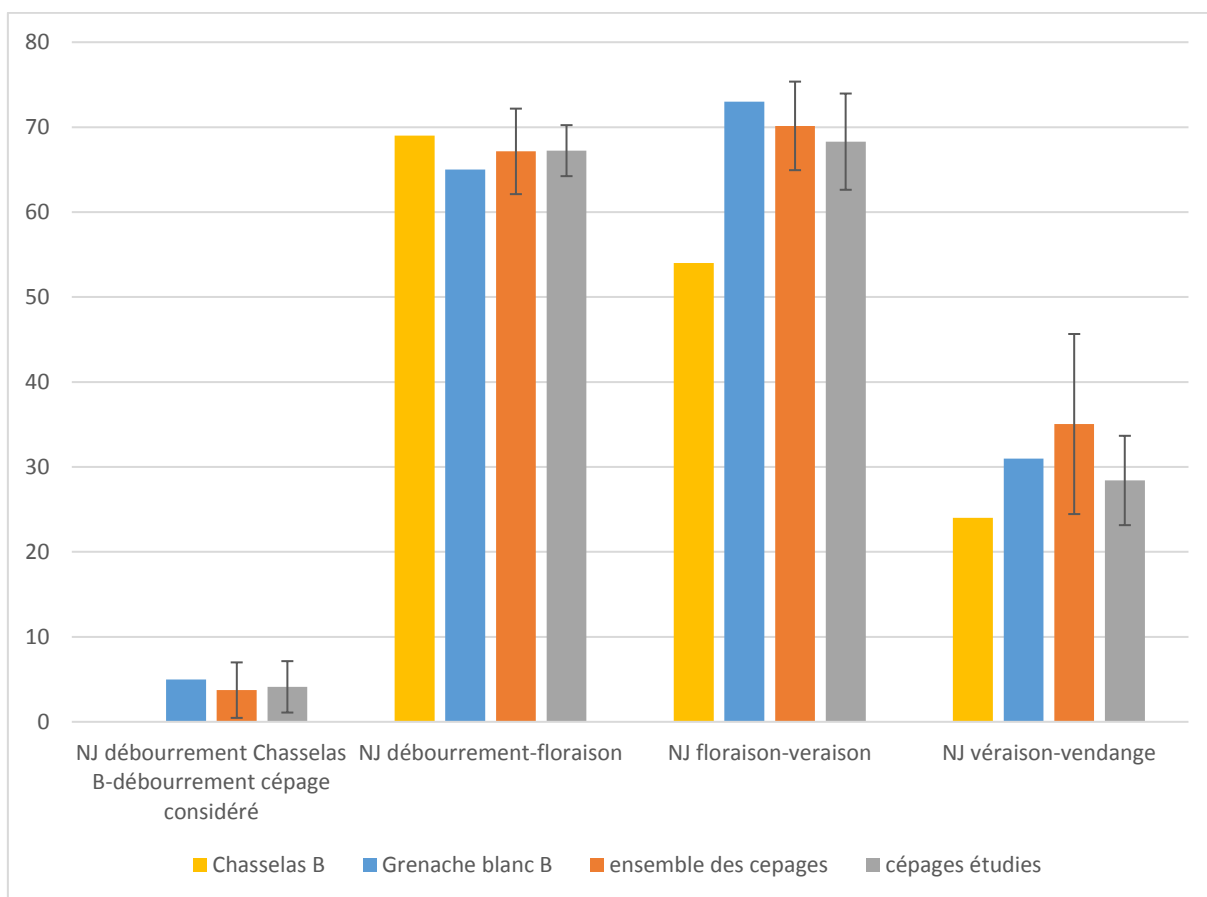


Figure 26 : durées des stades phénologiques (en nombre de jours) pour le Chasselas, le Grenache blanc, l'ensemble des cépages de l'étude climatique et sur les 14 cépages étrangers étudiés

chaude n'est pas nécessairement plus tolérante à la sécheresse ou ne présentera pas un niveau d'acidité plus élevée qu'une variété en provenance d'un climat plus frais.

A partir de cette ACP et notamment de l'indice de Huglin on peut se demander s'il existe une corrélation entre ce dernier et la durée du cycle végétatif de ces cépages étrangers en France (figure 25). C'est n'est pas le cas compte tenu du coefficient de détermination très faible ( $R^2=0,13 \ll 1$ ). La même régression a été réalisée en prenant la durée du cycle végétatif initiée à J0= date de débourrement du chasselas pour prendre en compte les différences de besoins en chaleur pour lever l'endormance (annexe 10); Il n'y a pas de lien non plus. Il apparaît donc que les variétés issues de régions plus chaudes ne sont pas forcément plus tardives.

On peut pour finir s'intéresser à la distribution temporelle entre les stades phénologiques : sur la période débourrement et floraison, la variabilité est faible. L'écart-type augmente pour les dates de véraison et de vendange (figure 26). Globalement, les cépages classés en France reflètent bien cette diversité, à l'exception du caractère très tardif de certains cépages de l'étude climatique en terme de date de vendange.



## CONCLUSION

L'adaptation de la vigne aux contraintes abiotiques peut revêtir différentes formes : adaptations anatomiques ou physiologiques (dont les déterminants génétiques ne sont pas forcément connus) que l'on peut classer en deux grandes catégories : stratégies d'évitement et stratégies de tolérance. Sur le millésime 2021, une très grande diversité de comportements ont pu être observés au sein des quatorze variétés étudiées. L'ensemble des caractères observés ont permis de décrire avec davantage de précision les cépages étrangers disponibles en France et de mettre en lumière des traits non référencés pour certains d'entre eux. Plus spécifiquement par rapport au changement climatique, certains cépages étrangers se révèlent ainsi plutôt résilients au gel, d'autres moins sensibles à la sécheresse par exemple, mais il n'existe pas de cépage « idéal ». Il convient également de rester prudent quant aux conclusions à tirer puisque le porte-greffe ainsi que les clones en question jouent également un rôle. Quoiqu'il en soit, le cépage doit donc être choisi en fonction du risque abiotique principal identifié à la parcelle, sans perdre de vue l'objectif de production.

Contrairement à une idée reçue (a minima la mienne en débutant ce stage), les cépages « du sud » de l'Europe ne proviennent pas nécessairement de régions plus chaudes et plus sèches que Montpellier. Et même quand c'est le cas, cela ne présage pas d'un caractère plus tardif ou plus tolérant à la sécheresse par exemple. Inversement, des cépages de régions plus fraîches et humides peuvent présenter une bonne tolérance à la sécheresse. Il n'y a donc pas de « règles » et seule l'expérimentation en France permettra de conclure sur l'intérêt d'un cépage.

Si la plantation d'un cépage étranger peut être motivée par le changement climatique, ce n'est rarement la cause unique pour les vigneron·nes recensés. Par ailleurs, le choix de commercialiser des cuvées monocépages en Vin de France, même dans les zones IGP/AOP, invite à se poser la question de la place et du rôle de ces cépages étrangers à l'avenir dans le Languedoc. Ont-ils vocation à compléter des assemblages « dans l'ombre », ou au contraire à remplacer des cépages existants et faire l'objet d'une communication de la part des interprofessions ?

D'ailleurs, l'implantation de cépages étrangers est-elle réellement une innovation ? Après tout, de nombreux cépages étrangers participent déjà à la réputation des vins et spiritueux Français (le Grenache, le Riesling, l'Ugni blanc, le Mourvèdre, etc...). Ne serait-ce donc pas plutôt la poursuite de la tradition ? Après tout, comme dirait mon ancien professeur M. J.M Boursiquot, « la tradition n'est qu'une innovation qui a réussi ».

La substitution massive de l'Aramon et du Carignan par des cépages améliorateurs (Cabernet-Sauvignon, Syrah, Merlot, Chardonnay) dans un passé récent nous rappelle que de mutations profondes et rapides sont possibles. Mais « les bons cépages » pour le Languedoc et pour les décennies à venir, sont-ils les mêmes que ceux identifiés à l'après-guerre ? L'avenir réside-t-il dans les créations variétales, les variétés traditionnelles ou les variétés étrangères ? Je ne saurais prétendre répondre à cette question, et quelque soit la ou les pistes retenues, « le temps seul juge souverainement les bonnes ou les mauvaises idées, les bonnes ou les mauvaises pratiques » (J. Guyot).



## Références bibliographiques

- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D.B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquez-Aguirre, J.L., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.* 111. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Alsina M., De Herralde F., Aranda X. Savé R., Biel C., Water relations and vulnerability to embolism are not related: Experiments with eight grapevine cultivars *Vitis* Vol. 46 No. 1 (2007):
- Barnuud, N.N., Zerihun, A., Gibberd, M., Bates, B., 2014. Berry composition and climate: responses and empirical models. *Int. J. Biometeorol.* 58, 1207–1223. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0715-2>
- Beis, A., Patakas, A., 2010. Differences in stomatal responses and root to shoot signalling between two grapevine varieties subjected to drought. *Funct. Plant Biol.* 37, 139. <https://doi.org/10.1071/FP09034>
- Bernardo, S., Dinis, L.T., Machado, N. et al. Grapevine abiotic stress assessment and search for sustainable adaptation strategies in Mediterranean-like climates. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 66 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0544-0>
- Blancquaert, E.H., Oberholster, A., Ricardo-da-Silva, J.M., Deloire, A.J., 2019. Effects of abiotic factors on phenolic compounds in the Grape Nerry - a review. *South Afr. J. Enol. Vitic.* 40, 1–14.
- Bonada, M., Sadras, V.O., Fuentes, S., 2013. Effect of elevated temperature on the onset and rate of mesocarp cell death in berries of Shiraz and Chardonnay and its relationship with berry shrivel: Thermal shift on mesocarp cell death and shrivel. *Aust. J. Grape Wine Res.* 19, 87–94. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12010>
- Boursiquot J.M., Dessup M., Rennes C. Distribution des principaux caractères phénologique, agronomiques et technologiques chez *Vitis vinifera* L. *Vitis* 34 (1), 31-35 (1995)
- Briglia, N., Williams, K., Wu, D., Li, Y., Tao, S., Corke, F., Montanaro, G., Petrozza, A., Amato, D., Cellini, F., Doonan, J.H., Yang, W., Nuzzo, V., 2020. Image-Based Assessment of Drought Response in Grapevines. *Front. Plant Sci.* 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00595>
- Bucur, G.M., Babes, A.C., 2016. Research on Trends in Extreme Weather Events and their Effects on Grapevine in Romanian Viticulture. *Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. Cluj-Napoca Hort.* 73, 126. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:12190>
- Buttrose, M.S., Hale, C.R., Kliewer, W.M., 1971. Effect of Temperature on the Composition of “Cabernet-Sauvignon” Berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 22, 71–75.





- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann. Bot.* 105, 661–676. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>
- Cherry, N.J., Trought, M.C., Howell, G.S., 1999. Practical considerations for reducing frost damage in vineyards (Report).
- CoupeL-Ledru, A., Lebon, É., Christophe, A., Doligez, A., Cabrera-Bosquet, L., Péchier, P., Hamard, P., This, P., Simonneau, T., 2014. Genetic variation in a grapevine progeny (*Vitis vinifera* L. cvs Grenache×Syrah) reveals inconsistencies between maintenance of daytime leaf water potential and response of transpiration rate under drought. *J. Exp. Bot.* 65, 6205–6218. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru228>
- Elisa M., Tandonnet J.P., Golard B, Peccoux A, van Leeuwen K, Ollat N , Le porte-greffe, outil original et pertinent d’adaptation au changement climatique
- Fang Y.; Meng J.; Zhang A.; Liu J.; Xu T; Yu W. ; Chen S; Li H. ; Zhang Z.; Wang H. (2011). Influence of shriveling on berry composition and antioxidant activity of Cabernet-Sauvignon grapes from Shanxi vineyards. , 91(4), 749–757. doi:10.1002/jsfa.4246
- Fraga, H., García de Cortázar Atauri, I., Malheiro, A.C., Santos, J.A., 2016. Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Glob. Change Biol.* 22, 3774–3788. <https://doi.org/10.1111/gcb.13382>
- Fuller, M.P., Hamed, F., Wisniewski, M., Glenn, D.M., 2003. Protection of plants from frost using hydrophobic particle film and acrylic polymer. *Ann. Appl. Biol.* 143, 93–98. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00273.x>
- Fuller, M.P., Telli, G., 1999. An investigation of the frost hardiness of grapevine (*Vitis vinifera*) during bud break. *Ann. Appl. Biol.* 135, 589–595. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1999.tb00891.x>
- Gambetta, G.A., Herrera, J.C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., Castellarin, S.D., 2020. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *J. Exp. Bot.* 71, 4658–4676. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245>
- Gamon, J.A., Pearcy, R.W., 1989. Leaf movement, stress avoidance and photosynthesis in *Vitis californica*. *Oecologia* 79, 475–481. <https://doi.org/10.1007/BF00378664>
- Gaudillère J.P., Van Leeuwen K., Ollat N., Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status, *Journal of Experimental Botany*, Volume 53, Issue 369, 1 April 2002, Pages 757763, <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.369.757>
- Greer, D.H., Weston, C., 2010. Heat stress affects flowering, berry growth, sugar accumulation and photosynthesis of *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevines grown in a controlled environment. *Funct. Plant Biol.* 37, 206. <https://doi.org/10.1071/FP09209>



- Hochberg, U., Degu, A., Cramer, G.R., Rachmilevitch, S., Fait, A., 2015. Cultivar specific metabolic changes in grapevines berry skins in relation to deficit irrigation and hydraulic behavior. *Plant Physiol. Biochem.* 88, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.01.006>
- Howell, G.S., Shaulis, N., 1980. Factors Influencing Within-Vine Variation in the Cold Resistance of Cane and Primary Bud Tissues. *Am. J. Enol. Vitic.* 31, 158–161.
- Johnson D., De J, Gs H. 1981. The effect of cane morphology and cultivar on the phenological development and critical temperatures of primary buds on grape cane.
- Johnson, D.E., Howell, G.S., 1981. Factors Influencing Critical Temperatures for Spring Freeze Damage to Developing Primary Shoots on Concord Grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 32, 144–149.
- Khan, M.S., 2011. The Role of Dreb Transcription Factors in Abiotic Stress Tolerance of Plants. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 25, 2433–2442. <https://doi.org/10.5504/BBEQ.2011.0072>
- Kizildeniz, T., Pascual, I., J Irigoyen, J., Morales, F., 2018. Using fruit-bearing cuttings of grapevine and temperature gradient greenhouses to evaluate effects of climate change (elevated CO<sub>2</sub> and temperature, and water deficit) on the cv. red and white Tempranillo. Yield and must quality in three consecutive growing seasons (2013–2015). *Agric. Water Manag.* 299–310.
- Kliewer, W.M., 1973. Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo- and nycto-temperatures during maturation. *Amer Soc Hort Sci J.*
- Kliewer, W.M., 1971. Effect of day temperature and light intensity on concentration of malic and tartaric acids in *Vitis vinifera* L. grapes. *Amer Soc Hort Sci J.*
- Kliewer, W.M., 1967. Concentration of Tartrates, Malates, Glucose and Fructose in the Fruits of the Genus *Vitis*. *Am. J. Enol. Vitic.* 18, 87–96.
- Kocsis, M., Ayaydin, F., Kőrösi, L., Teszlák, P., Radványi, L., Jakab, G., Hideg, É., 2017. Contrasting acclimation mechanisms of berry color variant grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L. cv. Furmint) to natural sunlight conditions. *Acta Physiol. Plant.* 39. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2481-y>
- Liu, J., Zhao, F.-L., Guo, Y., Fan, X., Wang, Y., Wen, Y.-Q., 2019. The ABA receptor-like gene *VyPYL9* from drought-resistance wild grapevine confers drought tolerance and ABA hypersensitivity in *Arabidopsis*. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* PCTOC 138, 543–558. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01650-2>
- Lovisolò, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., Schubert, A., 2010. Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update. *Funct. Plant Biol.* 37, 98. <https://doi.org/10.1071/FP09191>
- Malheiro, A., Santos, J., Fraga, H., Pinto, J., 2010. Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Clim. Res.* 43, 163–177. <https://doi.org/10.3354/cr00918>



- McIntyre G.N, L. A. Lider, N. L. Ferrari The Chronological Classification of Grapevine Phenology *Am J Enol Vitic.* January 1982 33: 80-85; published ahead of print January 01, 1982
- Mira de Orduña, R., 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Res. Int.* 43, 1844–1855. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.001>
- Morales-Castilla I, García de Cortázar-Atauri I, Cook BI, Lacombe T, Parker A, van Leeuwen C, Nicholas KA, Wolkovich EM (2020) Diversity buffers winegrowing regions from climate change losses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117 (6):2864-2869. doi:10.1073/pnas.1906731117
- Moriondo, M., Jones, G.V., Bois, B., Dibari, C., Ferrise, R., Trombi, G., Bindi, M., 2013. Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Clim. Change* 119, 825–839. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0739-y>
- OIV 2021. SECTION 3.1.3 – ACIDES. Recueil des méthodes internationales d’analyse des vins et des moûts (Vol 2)
- Palliotti, A., Silvestroni, O., Petoumenou, D., Vignaroli, S., Berrios, J.G., 2008. Evaluation of low-energy demand adaptive mechanisms in Sangiovese grapevine during drought. *OENO One* 42, 41. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2008.42.1.832>
- Pons, A., Lavigne, V., Darriet, P., Dubourdieu, D., 2015. Glutathione Preservation during Winemaking with Vitis Vinifera White Varieties: Example of Sauvignon blanc Grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 66, 187–194. <https://doi.org/10.5344/ajev.2014.14053>
- Raymond, F., Ullmann, A., Tramblay, Y., Drobinski, P., Camberlin, P., 2019. Evolution of Mediterranean extreme dry spells during the wet season under climate change. *Reg. Environ. Change* 19, 2339–2351. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01526-3>
- Riva M., Peri C.M. (1986). Kinetics of sun and air drying of different varieties of seedless grapes. , 21(5), 199–208. doi:10.1111/j.1365-2621.1986.tb00441.x
- Ruffner, H.P., Hawker, J.S., Hale, C.R., 1976. Temperature and enzymic control of malate metabolism in berries of Vitis vinifera. *Phytochemistry* 15, 1877–1880. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)88835-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)88835-4)
- Schultz H. R., 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown Vitis vinifera L. cultivars during drought. *Plant, Cell & Environment*. Vol. 26 <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01064.x>
- Shao, H.-B., Chu, L.-Y., Jaleel, C.A., Zhao, C.-X., 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biol.* 331, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- Shellie, K., Kovaleski, A.P., Londo, J.P., 2018. Water deficit severity during berry development alters timing of dormancy transitions in wine grape cultivar Malbec. *Sci. Hortic.* 232, 226–230. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.014>



- Shellie, K.C., 2006. Vine and Berry Response of Merlot (*Vitis vinifera* L.) to Differential Water Stress. *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 514–518.
- Smart, R.E., 1974. Aspects of Water Relations of the Grapevine (*Vitis Vinifera*). *Am. J. Enol. Vitic.* 25, 84–91.
- Soar, C.J., Speirs, J., Maffei, S.M., Penrose, A.B., Mccarthy, M.G., Loveys, B.R., 2006. Grape vine varieties Shiraz and Grenache differ in their stomatal response to VPD: apparent links with ABA physiology and gene expression in leaf tissue. *Aust. J. Grape Wine Res.* 12, 2–12. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2006.tb00038.x>
- Suklje, Katja; Zhang, Xinyi; Antalick, Guillaume; Clark, Andrew C.; Deloire, Alain; Schmidtke, Leigh M. (2016). Berry shrivelling significantly alters shiraz grape and wine chemical composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (), acs.jafc.5b05158–. doi:10.1021/acs.jafc.5b05158
- Šuklje, K., Antalick, G., Meeks, C., Blackman, J.W., Deloire, A., Schmidtke, L.M., 2017. Grapes to wine: the nexus between berry ripening, composition and wine style. *Acta Hortic.* 43–50. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1188.6>
- Šuklje, K., Lisjak, K., Baša Česnik, H., Janeš, L., Du Toit, W., Coetzee, Z., Vanzo, A., Deloire, A., 2012. Classification of Grape Berries According to Diameter and Total Soluble Solids To Study the Effect of Light and Temperature on Methoxypyrazine, Glutathione, and Hydroxycinnamate Evolution during Ripening of Sauvignon blanc (*Vitis vinifera* L.). *J. Agric. Food Chem.* 60, 9454–9461. <https://doi.org/10.1021/jf3020766>
- Tilbrook, J., Tyerman, S.D., 2008. Cell death in grape berries: varietal differences linked to xylem pressure and berry weight loss. *Funct. Plant Biol.* 35, 173. <https://doi.org/10.1071/FP07278>
- Tonietto, J; Carbonneau, A., 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124/1-2, 81-97.
- Tramontini, S., van Leeuwen, C., Domec, J.-C., Destrac-Irvine, A., Basteau, C., Vitali, M., Mosbach-Schulz, O., Lovisolò, C., 2013. Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grape-berry development. *Plant Soil* 368, 215–230. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1507-x>
- Tregoat O., Van Leeuwen C., Chone X., Gaudillère J.P. 2002. Étude du régime hydrique et de la nutrition azotée de la vigne par des indicateurs physiologiques. Influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* L. cv Merlot, 2000, Bordeaux). *Bordx.* 36, 133–142.
- Walsh, J.E., Phillips, A.S., Portis, D.H., Chapman, W.L., 2001. Extreme Cold Outbreaks in the United States and Europe, 1948–99. *J. Clim.* 14, 2642–2658. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<2642:ECOITU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<2642:ECOITU>2.0.CO;2)





Wolkovich EM, García de Cortázar-Atauri I, Morales-Castilla I, Nicholas KA, Lacombe T (2018) From Pinot to Xinomavro in the world's future wine-growing regions. *Nature Climate Change* 8 (1):29-37. doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-017-0016-6>

Zufferey, V., Cochard, H., Ameglio, T., Spring, J.-L., Viret, O., 2011. Diurnal cycles of embolism formation and repair in petioles of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Chasselas). *J. Exp. Bot.* 62, 3885–3894. <https://doi.org/10.1093/jxb/err081>

[1]<https://www6.inrae.fr/laccave/Prospective> (09/05/21)

[2] <https://www.ipcc.ch/> (07/05/21)

[3][perpheclim.w3.avignon.inra.fr/perpheclim/](http://perpheclim.w3.avignon.inra.fr/perpheclim/) 03/05/21

[4]<https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/mesure-du-potentiel-hydrique-foliaire-de-tige/> (13/06/2021)

[5]<https://www.oiv.int/public/medias/2274/code-2e-edition-finale.pdf>

[6]<https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/mesure-du-potentiel-hydrique-foliaire-de-tige/>

[7][https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037477218?init=true&page=1&query=montepulciano&searchField=ALL&tab\\_selection=all](https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037477218?init=true&page=1&query=montepulciano&searchField=ALL&tab_selection=all) (08/06/2021)

[8]<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFARTI000041728831> (08/06/2021)

[9][https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000022415193?init=true&page=1&query=alvarinho&searchField=ALL&tab\\_selection=all](https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000022415193?init=true&page=1&query=alvarinho&searchField=ALL&tab_selection=all) (08/06/2021)

[10][https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031536191?init=true&page=1&query=assyrtilko&searchField=ALL&tab\\_selection=all](https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031536191?init=true&page=1&query=assyrtilko&searchField=ALL&tab_selection=all) (09/06/2021)

[11][https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033472165?init=true&page=1&query=alvarinho&searchField=ALL&tab\\_selection=all](https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033472165?init=true&page=1&query=alvarinho&searchField=ALL&tab_selection=all) (09/06/2021)

[12] [https://bioweb.supagro.inrae.fr/collections\\_vigne/Home.php](https://bioweb.supagro.inrae.fr/collections_vigne/Home.php) (06/21)

[13] <https://www.icv.fr/actualites/analyse/25-juillet-2019/analyses-de-maturite-sur-raisons>



# Annexe 1

## Guide d'entretien

### 1. Présentation de l'enquête et son contexte

Se présenter puis rappeler contexte et objectifs de l'enquête

Rappeler les règles de l'entretien

Anonymat si souhaité, confidentialité des données récupérées, etc

Durée prévue

Autorisation d'enregistrement ?

### 2. Présentation rapide des interviewés

Thèmes de recherches, projets encadrés/suivis de cépages étrangers/anciens, etc

### 3. Questionnaire

*Changement climatique effets et conséquences sur la vigne et le vin*

-Quelles sont les principaux effets du changement climatique que vous constatez ces dernières années ?

-Comment définiriez-vous l' « adaptation » d'un cépage à un climat donné ?

*Les critères d'adaptation au changement climatique*

-Quelles sont, selon vous, les caractéristiques les plus importantes pour évaluer l'intérêt d'un cépage par rapport au changement climatique ?

Selon les réponses, caractéristiques agronomiques vs œnologiques, se référer aux questions ci-dessous pour les relances

*Comportement agronomique*

Quelle place pour les variétés étrangères comme levier d'adaptation au changement climatique ?

-(Le cas échéant) Quel suivi effectuez-vous sur vos parcelles expérimentales ?

*Comportement œnologique*

-Quelles sont les paramètres œnologiques les plus importants à vos yeux lors de l'étude d'une variété (dans le contexte du changement climatique) ?

-Comment ?

*Engouement pour le levier variétal :*

-Voyez-vous un engouement des vigneron pour les variétés étrangères ?

-Etes-vous sollicités pour obtenir des informations sur des variétés étrangères/anciennes ?

Si oui, par qui ? (vignerons, pépiniéristes, CA, etc)

-Les démarches administratives pour l'inscription variétale sont-elles un frein au développement de ces « nouvelles » variétés à vos yeux ?

-Connaissez-vous des vigneron ayant planté des cépages anciens/étrangers ?

### 4. Clôture de l'entretien

-Y a-t-il quelque chose que nous n'avons pas évoqué et que vous aimeriez abordé ?

-Remerciements



## Annexe 2

### Caractéristiques des sites étudiés

commune	cépages	Année de plantation	PG		écartement inter-rang	écartement inter cep	Système de plantation	irrigation	Sol
			110R	5BB					
Fontanes	Assyrtiko	2016	110R	5BB	1,5	0,8	gobelet	non	terrasse calcaire
	Malvoisie d'Istrie		420A	2	1,4	0,7	guyot	non	argilo calcaire
Abeilhan	Aleatico	2006	420A		1,4	0,7	cordons	non	terrasse calcaire
	Calabrese	2013	SO4		2,2	1	cordons	non	molasses
Primitivo	Verdejo						guyot		
Beaucaire	Verdelho	2018	SO4		2,1	0,9	cordons	oui	limons
	Montepulciano						guyot		
Agde	Touriga Nacional	2015	110R		2,5	0,9	palmette	non	terrasse graveleuse
	Xarello, Parellada, Saperavi		SO4		2,5	0,9	cordons	non	limons
Lezan	Alvarinho	2017	SO4		2,5	1	cordons	non	limons
	Baga, Calabrese, Dolcetto, Nebbiolo, Saperavi, Primitivo		nd		2	0,9	guyot	non	plateau argilo-calcaire
Pouzolles	Primitivo	2015	Fercal		2,5	0,9	épine	non	sol hétérogène
Aniane 2	Agiorgitiko, Assyrtiko, Calabrese, Montepulciano	2018	110R		2	0,7	en formation	non	éboulis calcaire
	Calabrese, Montepulciano						cordons		



### Annexe 3

## Description des sites principaux



Site d'Aniane 1 : Cabernet sauvignon à gauche au premier plan, puis au deuxième plan les cépages étrangers : 2 rangs de chaque environ (24/06 Eric Cheylus)



Site Agde : 4 rangs de Touriga nacional (la rubalise correspond au deuxième piquet de Touriga) puis Merlot (07/07 Eric Cheylus)



Site Lezan : un ou deux rangs par cépage (les cépages Xarello, Parellada Grenache blanc à gauche et Saperavi à droite) (12/07 Eric Cheylus)



Site Fontanes : parcelle d'Assyrτικο ; celle de mourvèdre, et aleatico sont semblables (09/09 Eric Cheylus)





## Annexe 4

### Présentation des indices climatiques

**Indice de Huglin** :  $IH = \sum_{01/04}^{30/09} [(T_{moy} - 10) + (T_{max} - 10)] \times k$  avec  $k$  = coefficient de latitude

**Indice de fraîcheur des nuits** :  $IF = T_{min_{moy,sept}}$

**Indice de sécheresse (dryness index)** :  $DI = W_6$

$$W_m = W_{m-1} + P_m - T_{v,m} - E_{s,m}$$

Avec :

$m$  = mois de l'année d'avril (mois 1) à Septembre (mois 6)

$W_m$  = eau du sol au mois  $m$  (avec  $W_0 = 200$  mm)

$P_m$  = précipitations totales au mois  $m$

$$T_{v,m} = ETP_m \times k_m$$

$$\text{Avec } ETP_m = ETP_{j,m} \times N_m$$

$ETP_{j,m}$  = Evapotranspiration de référence journalière moyenne pour le mois  $m$

$N_m$  = Nombre de jour du mois  $m$

$k_m$  = coefficient cultural au mois  $m$  ( $k_1 = 0,1$ ;  $k_2 = 0,3$ ;  $k_{3\text{ à }6} = 0,5$ )

$$E_{s,m} = \frac{ETP_m}{N_m} \times (1 - k) \times JP_m$$

$$\text{Avec } JP_m = \frac{P_m}{5} (\leq N_m)$$

Les données climatiques pour la station de Montpellier sont celles de la station météo INRA-Montpellier SupAgro du campus de la Gaillarde

Les données climatiques pour les différents sites ont été récoltées sur infoclimat.fr, sur des stations météorologiques proches ou présentes sur les communes concernées :

Pour Aniane : station à Aniane (niko34)

Pour Agde : station d'Agde (meteos34)

Pour Lézan : station à Moussac (meteobruno)

Pour Beaucaire : station à Garons (metar/synop)

Pour Fontanès : station à Saint-Martin-de-Londres



## Annexe 5

### Calcul de l'ETP

La formule générale de l'ETP Penman-Monteith est donnée ci-dessous. Elle est calculée à partir des approximations données dans l'exemple 20 du Chapitre 4 - Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56

$$ETP = \frac{0,408(R_n - G)\Delta + \frac{900}{(T + 273u_2)}(e_s - e_a)\gamma}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Avec

ETP: Evapotranspiration de référence ( $mm \cdot j^{-1}$ )

$R_n$ : Rayonnement global ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$ )

$G \approx 0 MJ \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$  = Flux de chaleur dans le sol par conduction (négligeable devant  $R_n$ )

T: Température moyenne journalière à 2m d'altitude ( $^{\circ}C$ )

$u_2 = 2 m \cdot s^{-1}$  : vitesse du vent à 2m d'altitude

$e_s$  = pression de vapeur saturante (kPa)

$e_a$  = pression de vapeur actuel (kPa)

$e_s - e_a$ : déficit de pression de vapeur saturante (kPa)

$\Delta$ : pente de la courbe de pression de vapeur à la température moyenne de l'air ( $kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$ )

$\gamma$ : constante psychrométrique ( $kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$ )

#### Calcul de $R_n$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s$$

$$\text{avec } R_s = 0,55R_a$$

$$\text{et } R_a = \frac{12 \times 60}{\pi} G_{sc} d_r [w_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin w_s]$$

$$\text{D'où } R_{ns} = (1 - \alpha)0,55 \frac{12 \times 60}{\pi} G_{so} d_r [w_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin w_s]$$

Avec :

$R_{ns}$  = incoming net shortwave radiation ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$ )

$R_{nl}$  = outgoing net longwave radiation ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$ )

$R_s$  = radiation solaire ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$ )

$R_a$  = radiation extraterrestre ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$ )

$G_{sc} = 0,082 MJ \cdot m^{-2} \cdot min^{-1}$  = constante solaire

$d_r = 1 + 0,033 \cos(\frac{2\pi}{365}J)$  = distance relative inverse Terre – Soleil ( $rad$ ) =

$\varphi : \frac{\pi}{188} \times \text{latitude} = \text{Latitude (rad)}$

$\delta : = 0,409 \sin(\frac{2\pi}{365}J - 1,39)$  = Décimation solaire ( $rad$ ) (avec J = 15ème jour du mois avec 1er janvier =

0 soit J1 = 105 ; J2 = 135 ; J3 = 166 ; J4 = 196 ; J5 = 227 ; J6 = 258 ;



## Annexe 6

### Calcul de l'ETP (suite)

$w_s := \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) = \text{angle à l'heure du coucher du soleil (rad)}$

$\alpha = 0,23 = \text{albedo de la culture de reference (gazon)}$

Par ailleurs  $R_{nl} = \sigma \frac{T_{max,k}^4 - T_{min,k}^4}{2} x (0,34 - \sqrt{e_a}) x (1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35)$

$R_{so} = (0,75 + 2 * 10^{-5} x Z) R_a$

$R_{nl}$ : net outgoing longwave radiation ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$ )

$\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9} MJ \cdot K^{-4} \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1} = \text{Constante Stefan - Boltzmann}$

$T_{max/min,k} = T_{max/min,^{\circ}C} + 273,16 = \text{température moyenne maximale/minimale (K)}$

$R_{so} = \text{Radiation par ciel dégagé (MJ} \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1})$

Calcul du déficit de pression de vapeur saturante

$$e_a = \frac{RH_{moy}}{100} e_s$$

$$e_s = \frac{e(T_{min}) + e(T_{max})}{2}$$

$$\text{avec } e(T) = 0,6108 e^{\frac{17,27T}{237,2T+14}} (1)$$

Calcul des termes  $\gamma$  et  $\Delta$

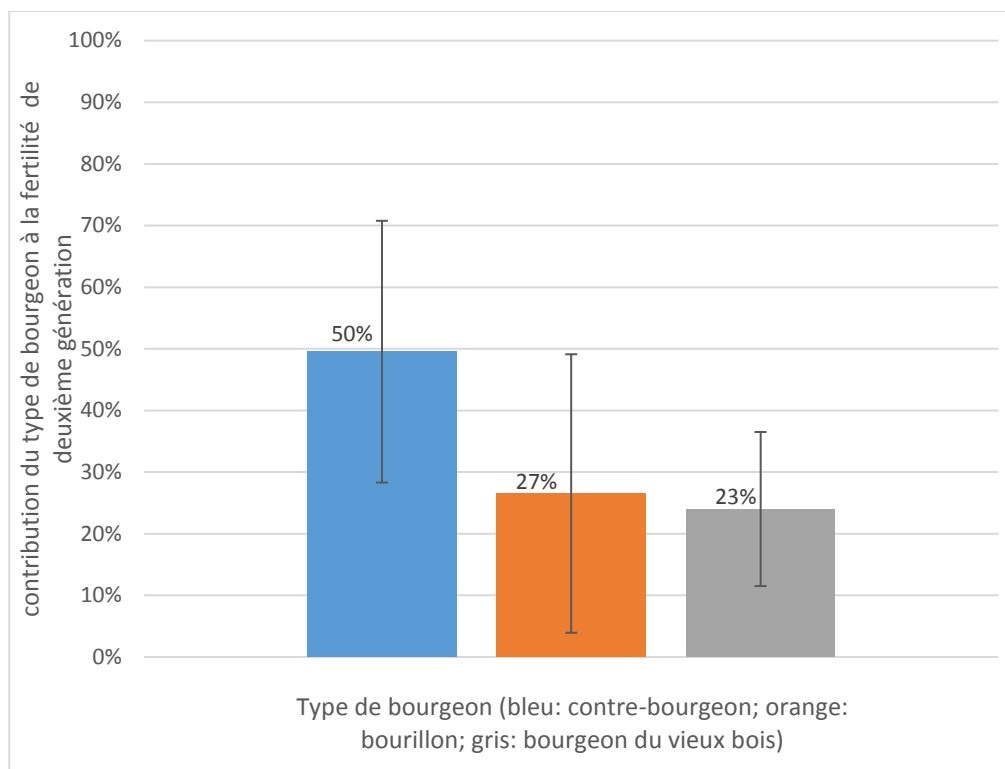
$$\gamma = 0,665 * 10^{-3} x P \text{ avec } P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 * Z}{293} \right)^{5,26}$$

$$\Delta = 4098 \frac{e(T_{moy})}{(T_{moy} + 237,3)^2}$$



## Annexe 7

### Répartition de la fertilité de deuxième génération



*Contribution du type de bourgeon à la fertilité de deuxième de génération*





## Annexe 8

### Lien entre fertilité des contre-bourgeons et bourgeons primaires

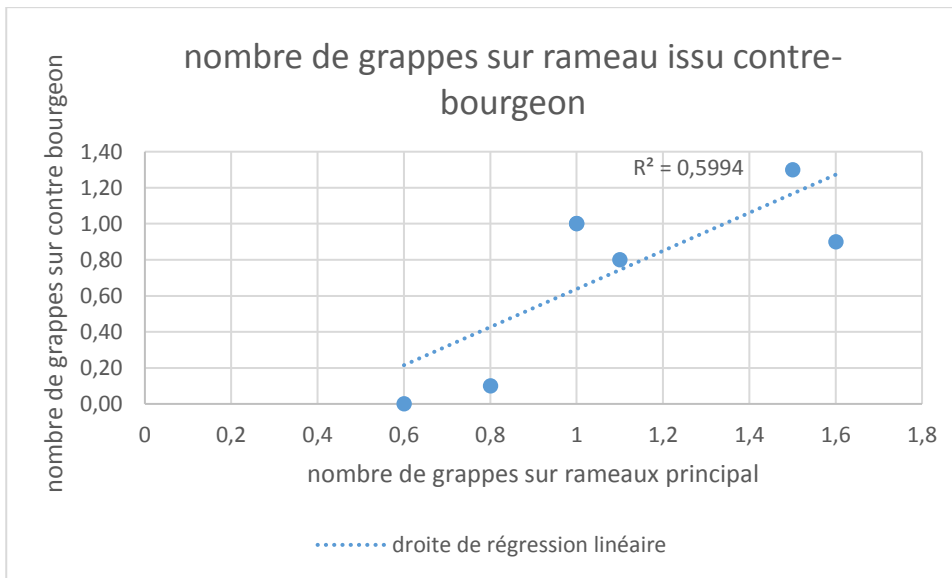


Figure 2: fertilité des bourgeons secondaires en fonction de la fertilité des bourgeons primaires sur 7 cépages taillé en cordon de royat (deux cépages sont confondus au point {1 ;1})

La bibliographie indique que la fertilité des contre-bourgeons est environ 10 fois inférieure à celle des bourgeons principaux.

Pour vérifier cette relation, on compare par régression linéaire la fertilité des bourgeons secondaires et des bourgeons primaires. Les contre-bourgeons ayant été observé aussi bien sur des yeux de la base qu'éloigné sur la baguette (le cas échéant), afin d'éliminer ce biais, on l'effectue uniquement sur des cépages taillé court, où les observations de fertilité des bourgeons secondaires et de bourgeons primaires ont été observé à des positions équivalentes.

Le graphique permet de tirer deux enseignements :

-Plus un cépage est fertile sur les bourgeons primaires, plus il est fertile sur les contre-bourgeons. Ceci est cohérent avec la bibliographie. Cette relation reste relativement fragile, puisque le coefficient de détermination  $R^2$  n'est que de 0,59.

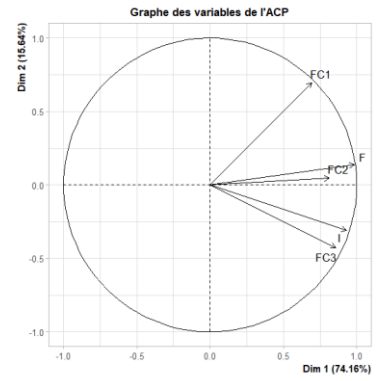
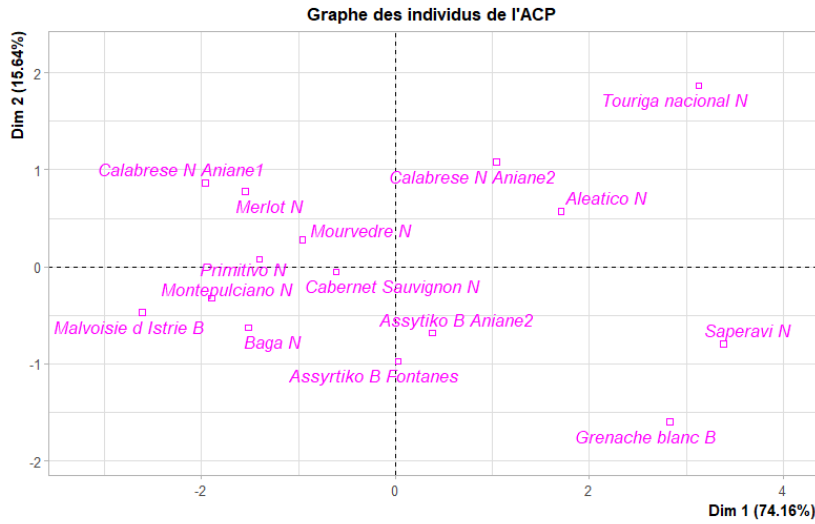
-L'ordre de grandeur d'une fertilité des bourgeons secondaires dix fois inférieure à celle des bourgeons primaires n'est pas vérifiée, la fertilité des bourgeons secondaires atteint 0,9 grappes pour 1,6 grappes/bourgeon primaire, 1,3 grappes pour 1,5 grappes/bourgeon primaire ou 1 grappe pour 1 grappe/bourgeon primaire.



# Annexe 9

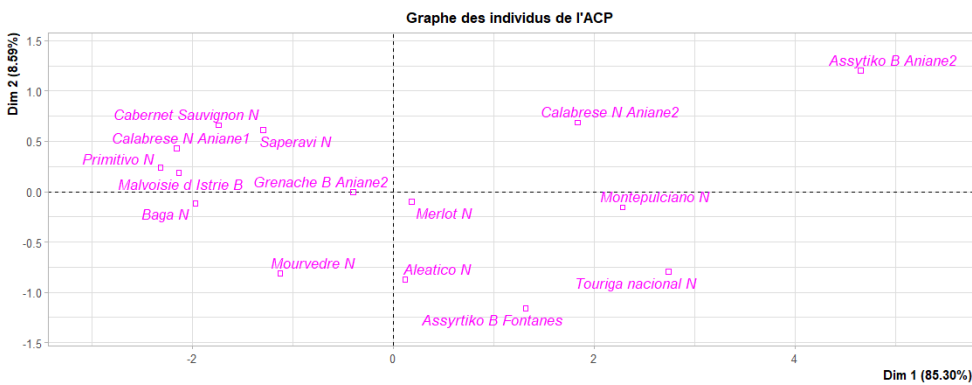
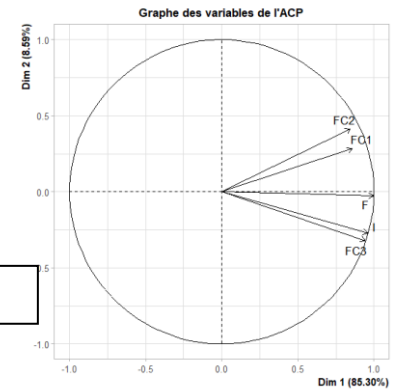
## ACP sur symptômes foliaires de sécheresse

Date1



Date 2

Données ACP sécheresse stade petits pois

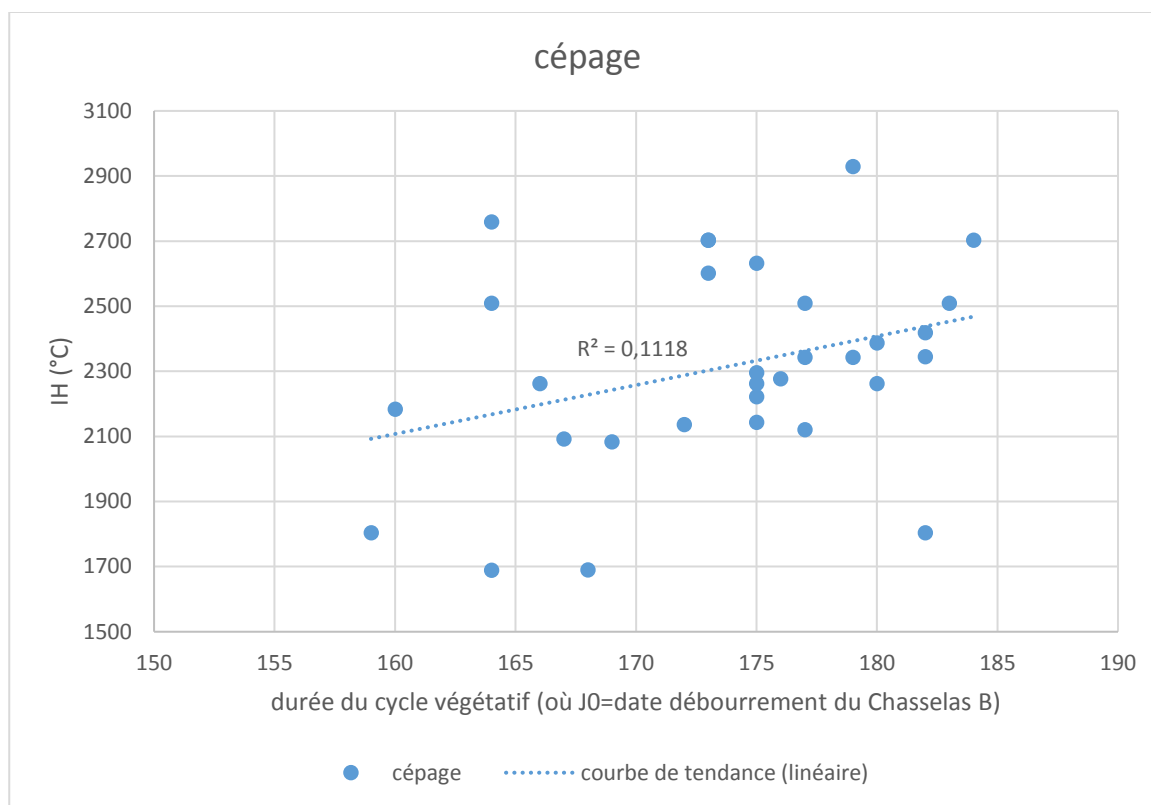


Données ACP sécheresse stade véraison



## Annexe 10

### Lien entre indice de Huglin et phénologie



*Indice de huglin des stations de référence de 31 cépages en fonction de la durée du cycle végétatif (initié au débourrement du Chasselas) observé au domaine de Vassal*



## Annexe 11

### Correspondance station climatique – cépage associé

ville	Cépage
Alba	Nebbiolo N
Anadia	Baga N
Ankara	Emir
Athènes	Savatiano
Avellino	Fiano B / Greco B
Cagliari	Malvasia Sardegna B
Chieti	Montepulciano N
Choumen	Pamid N
Eger	Kadarka N
El Vendrell	Parellada B
Elazig	Boğazkere N
Erevan	Kangun N
Foggia	Bambino blanco B
Heraklion	Dafni N
Hvar	Plavac mali
Korcula	Posip B
Lecce	Primitivo N
Lezhë	Kallmet N
Logrono	Tempranillo N
Madere	Sercial B
Melnik	Shiroka Melnishka Loza
Montebellun	Glera B
Mostar	Blatina N
Naoussa	Xinomavro
Patras	Roditis R
Pinhao	Touriga nacional N
Plovdiv	Mavrud N
Pontevedra	Alvarinho B
Portoferraio	Aleatico N
Primosten	Babic N
Pula	Teran N
Ravenne	Riminense B
Rhodes	Mandilaria N
Rueda	Verdejo B
Taurasi	Aglianico N
Telavi	Saperavi N
Thira	Assyrtiko B
Tikvech	Jilavaka B
Tirana	Shesh i barde
Tripoli	Moschofilero R
Verone	Garganega B
Vittoria	Calabrese N
Tokaj	Furmint B

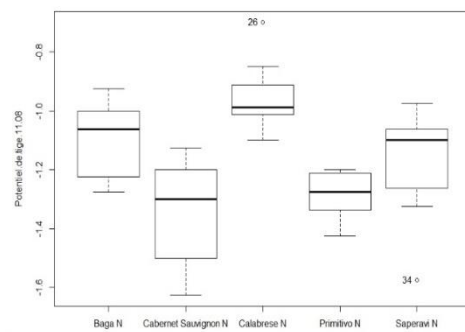
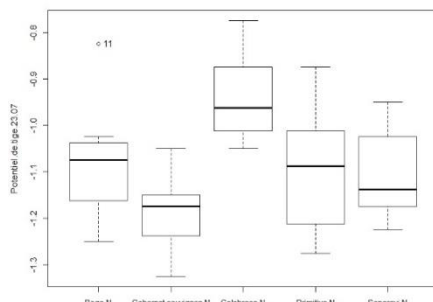
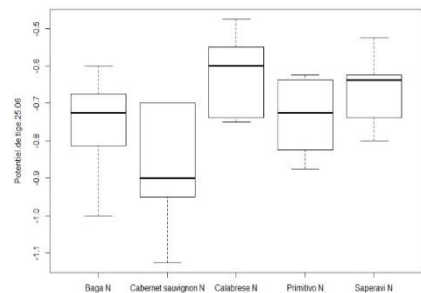




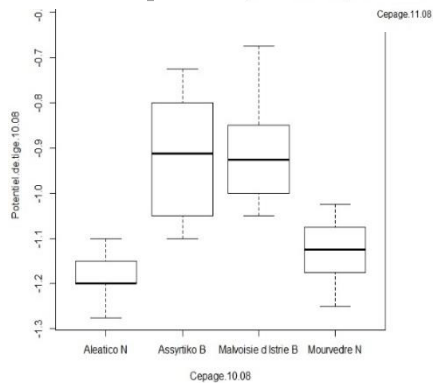
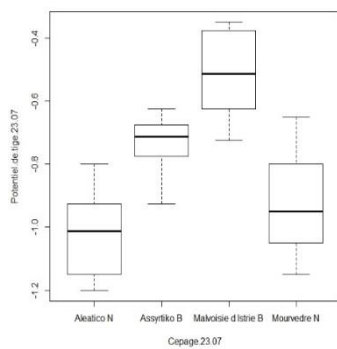
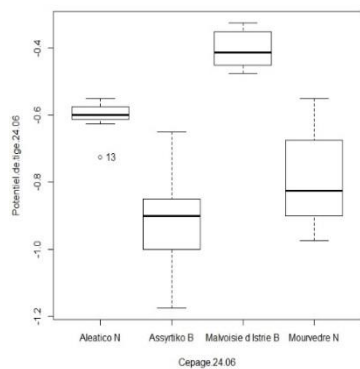
# Annexe 12

## Représentation par box-plot du potentiel de tige

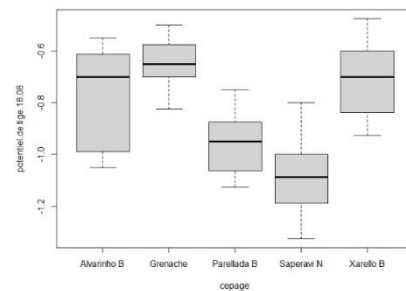
Aniane



Fontanes



Lezan







# Résumé

Premièrement, un recensement des plantations réalisées avec les cépages étrangers en région Occitanie a été réalisé, et a permis d'identifier huit sites particulièrement intéressants pour effectuer un suivi agronomique et/ou œnologique. Cette étude a permis de tirer certains enseignements en ce qui concerne le potentiel agronomique et œnologique de la majorité des cépages étrangers classés récemment en France.

Le potentiel agronomique et œnologique des cépages étrangers a été évalué de façon transversale par rapport aux principaux effets du changement climatique : leur niveau de sensibilité au gel, à la chaleur, et à la sécheresse ont été évalués par différentes méthodes. En particulier, deux indices ont été créés,  $F_{IG}$  et  $F$  afin d'évaluer et classer des cépages selon leur potentiel de remise à fruit post gel et leur sensibilité à la sécheresse à partir d'une observation des symptômes foliaires. Leur niveau de sensibilité aux principales maladies cryptogamiques (mildiou, oïdium, black-rot, botrytis) a également été évalué.

Une analyse climatique à partir de 42 stations du bassin méditerranéen a été effectuée sur la base de la CCM et a permis entre autres de constater s'il existe un lien entre le comportement des cépages étrangers observés sur le millésime 2021 en Occitanie et le climat auquel ils sont soumis dans leur région de culture traditionnelle.

## Mots clés

cépage étranger, changement climatique, Languedoc, classification climatique multicritère (CCM)

Pour citer ce document : [Cheylus, Eric, 2021 La diversité variétale comme levier d'adaptation au changement climatique : aptitudes agronomiques et œnologiques de 14 cépages étrangers dans le Languedoc. Mémoire de fin d'étude ingénieur-agronomique option viticulture-oenologie, Institut Agro | Montpellier SupAgro. 97p.]

Institut Agro | Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02.  
<https://www.montpellier-supagro.fr/>