

**Caractérisation du profil aromatique de vins issus de cépages innovants cultivés en terroir belge par une approche chimique et sensorielle permettant l'élaboration d'un outil visuel pour mesurer l'impact de la connaissance du profil aromatique sur les préférences du consommateur.**

**Auteur :** Roland, Raphael

**Promoteur(s) :** Dogot, Thomas; Faivre, Arno

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2024-2025

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/24425>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

**Caractérisation du profil aromatique de vins issus de  
cépages innovants cultivés en terroir belge par une  
approche chimique et sensorielle permettant  
l'élaboration d'un outil visuel pour mesurer l'impact  
de la connaissance du profil aromatique sur les  
préférences du consommateur**

ROLAND RAPHAEL

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**Master Bioingénieur en Sciences Agronomiques**

**Année académique 2024-2025**

**(Co)-Promoteur(s): THOMAS DOGOT – ARNO FAIVRE**

© [2025] [ROLAND]. Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, est interdite sans l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

**Caractérisation du profil aromatique de vins issus de  
cépages innovants cultivés en terroir belge par une  
approche chimique et sensorielle permettant  
l'élaboration d'un outil visuel pour mesurer l'impact  
de la connaissance du profil aromatique sur les  
préférences du consommateur**

ROLAND RAPHAEL

**Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**Master Bioingénieur en Sciences Agronomiques**

**Année académique 2024-2025**

**(Co)-Promoteur(s): THOMAS DOGOT – ARNO FAIVRE**



# Institutions d'accueil et encadrement

---

Ce mémoire a été réalisé grâce à une collaboration étroite avec plusieurs partenaires. La Haute École Provinciale de Hainaut-Condorcet a mis à disposition l'ensemble du matériel nécessaire à l'élaboration des échantillons de vin. Le Regroupement des Œnologues de Belgique a pris en charge une partie des analyses sensorielles. Le département de chimie générale a quant à lui fourni les laboratoires et les équipements indispensables à la réalisation des analyses GC-MS. Le Smart Gastronomy Lab a contribué en fournissant le matériel ainsi que l'encadrement pour les analyses sensorielles complémentaires. Enfin, ce travail s'inscrit dans le cadre du département d'économie rurale, qui a servi de socle scientifique et méthodologique à l'ensemble du projet.

## Remerciements

---

Au phylloxéra, au mildiou et à l'oïdium : sans vous, pas de cépages innovants. Comme quoi, même les pires ennemis peuvent parfois offrir de belles opportunités...

Je tiens à remercier Anouck Stalport pour son accueil chaleureux et pour m'avoir guidé lors de mes premières manipulations en cave.

Je remercie le Regroupement des Œnologues de Belgique, et tout particulièrement Laetitia Vankerkoven, de m'avoir prêté leurs sens aussi affûtés qu'une GC-MS.

Je tiens à remercier tout le département d'économie rurale, et tout spécialement Arno Faivre, pour m'avoir accompagné, encadré et rassuré. Ce travail, ainsi que l'envie de le mener sont nés d'une de tes présentations. Merci pour tout !

Je remercie Lola Sizaire pour son soutien moral et ses encouragements tout au long de mon bachelier. J'y suis arrivé ! Repose en paix, petit ange.

Merci aux Boyzer, mes meilleurs potes de Gembloux, pour leur conscience et leur motivation inspirante.

Merci à Anne Delvigne, ma mère, qui a contribué à développer mon goût du bon et du beau.

Merci à Denis Roland, mon père, pour les nombreuses bouteilles de vin dégustées ensemble et à toutes celles qui suivront.

Je remercie ma deuxième famille (Thomas, MC, Jools, Max, Nico, Shi, Lulu, Arno, Loostrek, Steve, Sarah, Mona, Jordy, Max, Peter, Biggy, Denis, Alice, Val) pour m'avoir changé les idées quand j'en avais bien besoin. Avec vous, carpe diem n'est pas un adage mais un art de vivre.

Enfin, je tiens tout particulièrement à remercier Annaëlle Postiaux, ma plus belle découverte de la faculté, pour son soutien inconditionnel et inébranlable. À notre futur !

# Résumé

---

Bien que leur qualité se soit nettement améliorée, les cépages résistants restent peu implantés dans le paysage viticole. Ce travail vise à caractériser le profil aromatique de huit cépages résistants (Rondo, Régent, Cabernet Cortis, Johanniter, Solaris, Muscaris et Sauvignier gris) selon trois approches complémentaires : une analyse chimique par GC-MS avec extraction SBSE, œnologique avec une analyse sensorielle descriptive et une analyse consommateur à travers un test hédonique. Dans une perspective de valorisation, l'impact de la connaissance préalable du profil aromatique a été évalué en comparant deux types de supports informatifs : un radar aromatique et une description textuelle. Ces approches ont notamment permis de démontrer une utilisation accrue du support radar aromatique par le consommateur.

**Mots clés :** cépages résistants, profil aromatique, radar aromatique, description textuelle, GC-MS, SBSE, test hédonique, analyse sensorielle descriptive, consommateur

# Abstract

---

Although their quality has significantly improved, resistant grape varieties remain scarcely represented in the viticultural landscape. This study aims to characterize the aromatic profile of eight resistant grape varieties (Rondo, Régent, Cabernet Cortis, Johanniter, Solaris, Muscaris, and Sauvignier gris) through three complementary approaches: a chemical analysis using GC-MS with SBSE extraction, an oenological assessment via descriptive sensory analysis, and a consumer analysis through a hedonic test. From a valorization perspective, the impact of prior knowledge of the aromatic profile was evaluated by comparing two types of informational supports: an aromatic radar chart and a textual description. These approaches have notably made it possible to demonstrate an increased use of the aromatic support by the consumer.

**Keywords :** Resistant grape varieties, aromatic profile, aromatic radar, textual description, GC-MS, SBSE, hedonic test, descriptive sensory analysis, consumer

# Liste des abréviations

---

3MH = 3-sulfanylhéxan-1-ol = 3-mercaptohéxan-1-ol

3MHA = 3-sulfanylhéxyl acétate = 3-mercaptohéxyl acétate

4MMP = 4-méthyl-4-sulfanylpentane-2-one = 4-mercapto-4-méthylpentane-2-one

AB = Agriculture biologique

Acétyl-CoA = Acétyl-coenzyme A

Acyl-CoA = Acyl-coenzyme A

COV = Composés organiques volatils

DMAPP = Diméthylallyl pyrophosphate

FPP = Farnésyl pyrophosphate

GC-MS = Gas Chromatography – Mass Spectrometry

GGPP = Géranylgéranyl pyrophosphate

GPP = Géranyl pyrophosphate

HPD : Hybrides producteurs directs

IPP = Isopentényl pyrophosphate

MEP = Voie du 2-C-méthyl-D-érythritol-4-phosphate = voie non-mévalonique

MVA = Voie du mévalonate

OAV = Odour activity value

RI = Indice de rétention

SAU = Surface agricole utile

SBSE = Stir Bar Sorptive Extraction

TCA cycle = Tricarboxylic acid cycle = Cycle de Krebs

# Table des matières

---

<b>I.</b>	<b>CONTEXTUALISATION</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>ÉTAT DE L'ART</b>	<b>2</b>
A.	LES CÉPAGES RÉSISTANTS	2
1.	<i>Domestication de la vigne et émergence des cépages résistants</i>	2
2.	<i>Les cépages résistants modernes</i>	5
3.	<i>Les avantages des cépages résistants dans la viticulture moderne</i>	8
4.	<i>Intégration des cépages résistants dans la viticulture moderne</i>	9
5.	<i>Les cépages résistants étudiés</i>	11
B.	ANALYSE SENSORIELLE	13
1.	<i>Les dimensions sensorielles dans la perception de la saveur</i>	14
2.	<i>Composante aromatique dans la perception de la flaveur</i>	15
3.	<i>Les méthodes d'analyse sensorielle</i>	16
C.	COMPOSANTE CHIMIQUE DU PROFIL AROMATIQUE	19
1.	<i>Classification des composés organiques volatils</i>	19
2.	<i>Méthode d'analyse chimique</i>	27
D.	PRÉFÉRENCE DES CONSOMMATEURS	30
1.	<i>Les attributs déterminants dans l'acceptation des vin par les consommateurs</i>	31
2.	<i>Intérêt des tests hédoniques sur le consommateur dans la filière vitivinicole</i>	32
3.	<i>Influence de l'information sur l'appréciation d'un produit</i>	32
<b>III.</b>	<b>OBJECTIFS</b>	<b>33</b>
<b>IV.</b>	<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b>	<b>35</b>
A.	PRODUCTION DES ÉCHANTILLONS	35
1.	<i>Sélection des cépages</i>	35
2.	<i>Méthode de vinification</i>	35
3.	<i>Embouteillage et conservation</i>	37
B.	ANALYSE DES COMPOSÉS VOLATILS	37
1.	<i>Méthodologie SBSE-GC-MS</i>	37
2.	<i>Identification, validation et quantification des composés</i>	38
3.	<i>Construction des graphiques des OAV des différents vins produits</i>	39
C.	ANALYSE SENSORIELLE DESCRIPTIVE	39
1.	<i>Conditions expérimentales</i>	40
2.	<i>Traitement des données sensorielles</i>	40
D.	APPROCHE CONSOMMATEUR	40
E.	ANALYSES STATISTIQUES	41
<b>V.</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSION</b>	<b>42</b>

<b>A.</b>	<b>ANALYSE CHIMIQUE</b>	<b>42</b>
1.	<i>Analyse du cépage résistant Johanniter</i>	43
2.	<i>Analyse du cépage résistant Solaris</i>	44
3.	<i>Analyse du cépage résistant Muscaris</i>	45
4.	<i>Analyse du cépage résistant Régent</i>	46
5.	<i>Analyse du cépage résistant Cabernet Cortis</i>	47
6.	<i>Analyse du cépage résistant Pinotin</i>	48
7.	<i>Analyse du cépage résistant Rondo</i>	49
8.	<i>Interprétation des résultats et discussion</i>	50
<b>B.</b>	<b>ANALYSE SENSORIELLE DESCRIPTIVE</b>	<b>53</b>
1.	<i>Résultats de l'analyse sensorielle descriptive</i>	53
2.	<i>Interprétation des résultats de l'analyse sensorielle descriptive</i>	53
<b>C.</b>	<b>APPROCHE CONSOMMATEUR</b>	<b>55</b>
1.	<i>Influence du support aromatique sur l'appréciation du vin</i>	55
2.	<i>Influence du support aromatique sur son utilisation par les consommateurs</i>	56
3.	<i>Influence du support aromatique sur la reconnaissance des arômes</i>	59
4.	<i>Influence du support aromatique sur le consentement à payer (WTP)</i>	61
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONS</b>	<b>66</b>
<b>VII.</b>	<b>PERSPECTIVES</b>	<b>67</b>
<b>VIII.</b>	<b>CONTRIBUTION PERSONNELLE</b>	<b>69</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>70</b>
<b>X.</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>84</b>

# I. Contextualisation

---

Depuis plusieurs millénaires, le vin occupe une place centrale dans les civilisations humaines. Il a traversé de nombreuses crises, géopolitiques, phytosanitaires, et s'est constamment adapté. Pourtant, la viticulture, telle que nous la connaissons, semble figée... Comme si elle avait atteint une forme de perfection où tout changement serait perçu comme une transgression. Face aux défis environnementaux et aux exigences croissantes du marché en matière de durabilité, la viticulture doit toutefois repenser ses pratiques : réduction de l'usage de produits phytosanitaires, adaptation au dérèglement climatique. Dans les décennies à venir, deux voies d'adaptation semblent se profiler : soit le déplacement des zones viticoles, soit un ajustement de ces pratiques (Wei et al., 2023). Une des pistes pour développer cette seconde approche, l'adoption de cépages résilients, conciliant performances agronomiques et viabilité économique, semble prometteuse (Blonde et al., 2015).

Le vin est une boisson d'une grande complexité. Son image et sa perception sont façonnées par une multitude de facteurs aussi bien scientifiques que sociétaux et culturels. Son histoire est intimement liée à celle de l'Homme. Le vin a joué un rôle clé dans le développement des grandes civilisations et possède une forte dimension symbolique dans les récits religieux (Legras et al., 2007). Aujourd'hui encore, il demeure l'une des boissons les plus consommées au monde et représente un pilier économique et culturel majeur pour lequel l'Europe reste un acteur central (Cholette et al., 2005; Maicas et al., 2020).

Pourtant, on observe une baisse de la consommation de vin dans les pays producteurs (Borrello et al., 2021), notamment en France, où elle a chuté de plus de 70 % par habitant depuis 1960 ("Les chiffres-clés de la filière vigne et vin," 2025). Cette évolution traduit un profond changement dans les attentes des consommateurs, porté par une prise de conscience croissante des enjeux environnementaux qui a favorisé l'essor de pratiques viticoles plus durables, telles que la production de vins biologiques, naturels ou biodynamiques (Bonn et al., 2016). Les démarches valorisant des arguments de durabilité, comme la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques, deviennent ainsi de véritables leviers stratégiques pour l'avenir du secteur vitivinicole (Pomarici et al., 2019). Dans ce contexte, les cépages résistants, qui allient performance agronomique et respect de l'environnement, apparaissent plus que jamais comme une solution d'avenir prometteuse.

## II. État de l'art

---

Ce chapitre pose les bases théoriques de cette étude à travers quatre axes principaux. La première partie retrace l'émergence et les caractéristiques des cépages résistants, en mettant en lumière leurs avantages et leur intégration progressive dans la viticulture moderne. La deuxième aborde l'analyse sensorielle du vin, en lien avec la perception de la flaveur et les méthodes d'évaluation utilisées. La troisième section explore la composante chimique du profil aromatique, notamment les composés volatils et leur analyse. Enfin, la dernière partie s'intéresse aux préférences des consommateurs, aux facteurs influençant leur appréciation et à l'impact de l'information sur leur perception.

### A. Les cépages résistants

#### 1. Domestication de la vigne et émergence des cépages résistants

La vigne est une culture horticole appartenant à la famille des Vitaceae, dans laquelle le genre *Vitis* regroupe soixante espèces inter-fertiles (This et al., 2006). Parmi celles-ci, *Vitisvinifera* est l'espèce la plus largement utilisée; c'est l'ancêtre de la plupart des vignes cultivées. Cette espèce se divise en deux sous-espèces, représentées sur la **Figure 1**.



**Figure 1** : Photos des deux sous-espèces de *Vitis vinifera*. A gauche la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *syvestris* et droite la vigne cultivée *Vitis vinifera* subsp. *Sativa*.

Le statut taxonomique de la vigne sauvage est mal défini, il varie selon les pays européens et reste souvent imprécis (Arnoldo et al., 1998). On distingue généralement trois types : la vigne sauvage européenne, (*Vitis vinifera* ssp. *sylvestris*), les vignes issues de cépages cultivés (*Vitis vinifera* ssp. *vinifera*), et les vignes américaines, comme *Vitis riparia* ou *Vitis rupestris*, utilisées principalement comme porte-greffes (Arnoldo et al., 1998).

Des incertitudes subsistent quant au lieu et à la période exacts de la domestication originelle. Il est généralement admis qu'elle aurait eu lieu durant le Néolithique, dans une zone comprise entre la mer Noire et l'Iran (Terral et al., 2010). Depuis les sites de primo-domestication<sup>1</sup>, la viticulture s'est propagée vers des régions voisines, telles que l'Égypte et la Basse-Mésopotamie, avant de s'étendre au bassin méditerranéen portée par les grandes civilisations (This et al., 2006). Par la suite, sous l'influence d'abord des Romains, puis de l'église catholique, *Vitis vinifera* s'est propagée, atteignant de nombreuses régions d'Europe. À partir de la Renaissance, grâce aux missionnaires, *Vitis vinifera* a conquis de nouvelles régions, telles que les Amériques, l'Afrique du Sud, l'Australie et la Nouvelle-Zélande (This et al., 2006).

Au XIX<sup>e</sup> siècle, la viticulture européenne a été profondément bouleversée par l'introduction successive de bioagresseurs venus d'Amérique du Nord. L'oïdium (*Uncinula necator*) en 1845, le phylloxéra (*Daktulosphaira vitifoliae*) en 1868, et le mildiou (*Plasmopara viticola*) en 1878 ont menacé les vignobles européens en raison de la grande sensibilité de *Vitis vinifera* et de l'inefficacité des traitements phytosanitaires disponibles à l'époque (This et al., 2006). Il en résulta une extinction massive des vignes européennes. Face à cette crise, deux stratégies ont été mises en place. La première utilisait des porte-greffes, approche qui consiste à greffer un cépage domestiqué (*Vitis vinifera*) sur un pied de vigne Nord-Américain (non *vinifera*), résistant au phylloxéra. Cette alternative a largement été adoptée et demeure la norme encore aujourd'hui car elle permettait de préserver les caractéristiques organoleptiques des cépages traditionnels tout en les rendant résistants (This et al., 2006; Rousseau et al., 2017). Parallèlement, des sélectionneurs ont développé des variétés hybrides résistantes, issues du croisement par reproduction sexuée entre des cépages traditionnels et des vignes non *Vitis*

---

<sup>1</sup> Les sites de primo-domestication désignent les régions géographiques où une plante a été domestiquée pour la première fois par l'homme à partir de ses formes sauvages.



*vinifera*. Ces nouvelles variétés, appelées à l'époque en France « Hybrides Producteurs Directs » (HPD), étaient résistantes au phylloxéra, au mildiou et à l'oïdium, et pouvaient être plantées directement en terre (Tabouret, 2021). En revanche, elles ont rapidement suscité de vives controverses et furent progressivement délaissées dès 1935, jusqu'à faire l'objet d'une prime à l'arrachage dans les années 1950 (**Figure 2**) (Tabouret, 2021). Les raisons officielles de leur interdiction étaient un taux de méthanol plus élevé, ainsi qu'une qualité organoleptique jugée inférieure aux cépages traditionnels (Delière et al., 2017).



**Figure 2** : Propagande pour l'incitation à l'arrachage des HPD, 1956 France (Tabouret, 2021).

Malgré ces restrictions, l'intérêt pour ces cépages n'a pas totalement disparu, les recherches ont continué et ont abouti à la création de nouvelles générations de cépages résistants. Aujourd'hui, avec une prise de conscience accrue des enjeux environnementaux et de la mise en place de politiques telles que le plan Ecophyto<sup>2</sup>, la demande pour des cépages moins dépendant de traitements phytosanitaires connaît un renouveau (Rousseau et al., 2017). De plus, les sélectionneurs mettent en avant les progrès considérables réalisés dans la création variétale, qui intègre désormais des résistances complexes tout en préservant une qualité œnologique proche des cépages traditionnels (Rousseau et al., 2017; Tabouret, 2021).

---

<sup>2</sup> Le plan Ecophyto, lancé en 2008, vise à réduire progressivement l'usage des produits phytosanitaires tout en maintenant une production agricole performante. Il encourage notamment, dans le secteur viticole, le recours à des pratiques alternatives plus durable (biocontrôle, viticulture de précision, désherbage mécanique, cépages résistants, etc.) (Barbu et al., 2024).

## 2. Les cépages résistants modernes

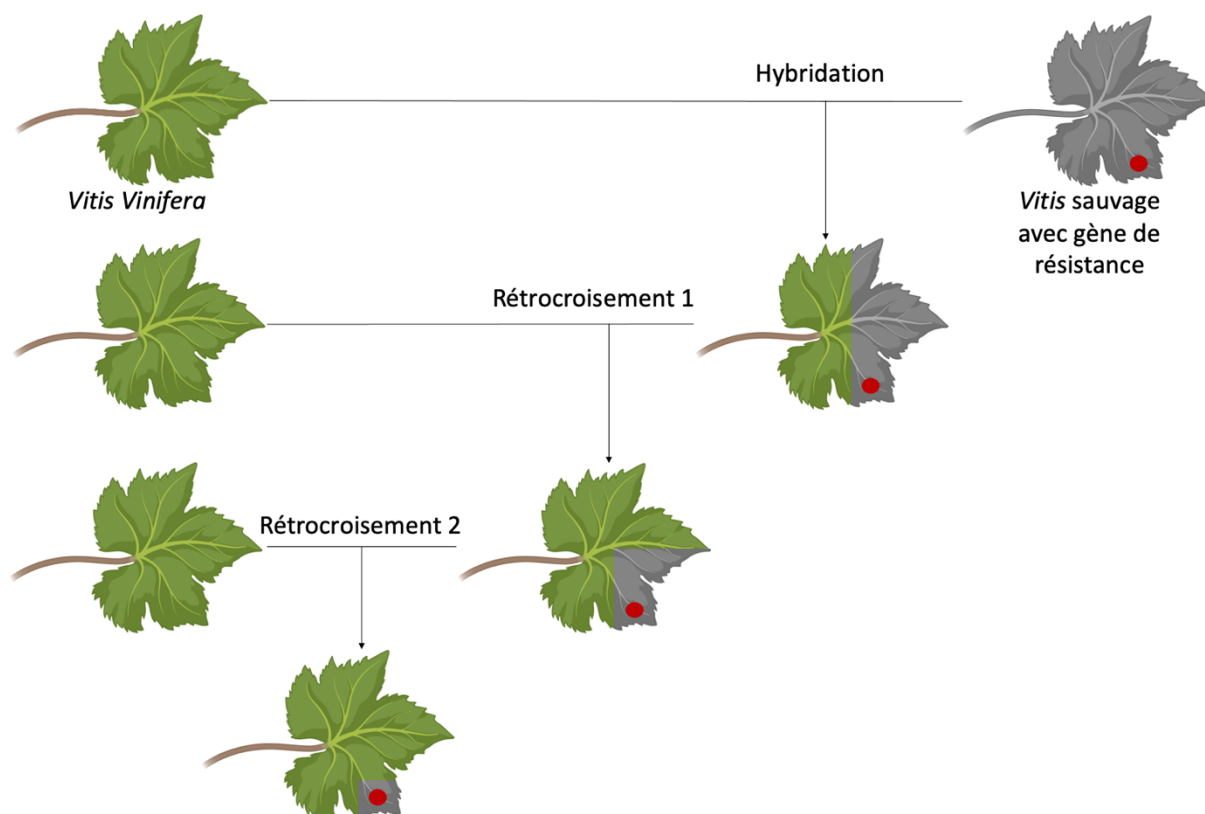
Un cépage est une unité taxonomique désignant une variété de *Vitis vinifera* issue d'un semis ou d'un individu unique multiplié par voie végétative. Ainsi, un cépage se compose d'un ensemble de clones suffisamment apparentés pour être confondus sous un même nom (Tabouret, 2021). Un cépage noble est un terme qui désigne un cépage issu de *Vitis vinifera* issu d'une longue tradition viticole avec une place importante dans le paysage viticole.

En parallèle, certaines espèces de vignes toujours présentes à l'état sauvage revêtent une importance scientifique et économique considérable. En effet, ces formes sauvages permettent de maintenir de la variabilité génétique et possèdent des caractéristiques génétiques de résistance qui peuvent s'avérer essentielles pour l'avenir de la viticulture (Arnoldo et al., 1998).

Un cépage résistant est une variété issue du croisement entre un cépage noble issu de *Vitis vinifera* et une vigne sauvage. L'objectif principal de ces croisements est d'introduire des gènes de résistance, notamment contre l'oïdium, le mildiou, mais aussi contre d'autres facteurs abiotiques tels que le gel ou la sécheresse (Rousseau et al., 2017). La **Figure 3** illustre les croisements successifs visant à transférer un gène d'intérêt dans le génome de la vigne cultivée tout en conservant ses caractéristiques œnologiques.

**Encadré 1** : Appellations des cépages résistants (Delière et al., 2017; Tabouret, 2021).

Le terme « cépage résistant » désigne une variété de vigne obtenue pour mieux résister aux maladies (mildiou, oïdium, etc.). Pendant longtemps, ces variétés étaient appelées « hybrides producteurs directs » ou « cépages interspécifiques », car elles résultaient de croisements entre *Vitis vinifera* (vigne cultivée) et d'autres espèces du genre *Vitis*. Ces appellations ont souffert d'une image négative, héritée d'un passé où les cépages hybrides étaient associés à une qualité de vin médiocre. Aujourd'hui le terme « cépage résistant » est privilégié dans le langage courant, car il met l'accent sur la finalité agronomique plutôt que sur l'origine génétique. Toutefois, certains documents scientifiques ou officiels utilisent encore les termes interspécifiques ou hybrides interspécifiques pour désigner ces variétés.



**Figure 3** : Schéma simplifié du processus d'introgression du gène de résistance chez la vigne. La feuille verte représente la vigne cultivée (*Vitis vinifera*), la feuille grise symbolise une espèce sauvage de vigne utilisée comme source de résistance.  
Illustration réalisée à l'aide de BioRender.com.

Dès les années 1970, plusieurs programmes européens, notamment en France, en Allemagne, en Suisse et en Italie, ont relancé les travaux visant à créer de nouveaux cépages interspécifiques. L'objectif était d'améliorer leurs caractéristiques agronomiques et organoleptiques grâce à des rétrocroisements avec *Vitis vinifera* et des évaluations œnologiques approfondies (Rousseau et al., 2017). C'est notamment le cas à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) en France, qui a travaillé pendant 25 ans sur la création de nouveaux cépages appelés variétés « Bouquet ». Cependant, ces croisements se limitaient à l'introduction d'un seul gène de résistance à un bioagresseur, ce qui a rapidement soulevé des interrogations quant à la durabilité de cette protection. En effet, les variété « Bouquet » présentent une résistance de type monogénique, connue scientifiquement pour être aisément contournable par les pathogènes. Ces incertitudes se sont confirmées lorsqu'en 2010, un article publié par Peressotti et al. décrit le premier cas de contournement de la résistance sur la variété « Bianca » en République tchèque. Face à ces limites, la France, et plus particulièrement l'INRA, décide de ne pas déployer de matériel à résistance monogénique, mais de concentrer ses efforts sur le développement de cépages à résistance poly- ou multigéniques, plus durables,

dans le cadre du programme INRA ResDur (résistance durable) (Peressotti et al., 2010; Tabouret, 2021).

L'évolution récente des biotechnologies et l'adoption de technologies génomiques ont accéléré la recherche dans la création de cépages à résistance polygénique. Cette approche renforce la pérennité de la résistance qui est plus difficilement contournable (Vasylyk et al., 2024). Cette prise de position semble pertinente car la vigne s'intègre dans le paysage pour plusieurs décennies et sa plantation représente un investissement conséquent. Depuis l'arrêté de classement du 27 avril 2017<sup>3</sup>, la création et l'acceptation des cépages résistants se sont accélérées en France. Les premières variétés issues de ces avancées sont désormais disponibles, et d'autres innovations devraient venir enrichir le marché dans les années à venir.

Ainsi, comme le présente le **Tableau 1**, les cépages résistants ont évolué d'une simple réponse à un bioagresseur vers des variétés complexes, alliant robustesse et qualité œnologique, grâce aux avancées génétiques et à la stratégie des rétrocroisements poussés.

**Tableau 1** : Récapitulatif des différentes génération de cépages résistants, leur(s) type(s) de résistance(s), leur pourcentage de croisement, la durabilité de leur(s) résistance(s) (Blonde et al., 2015; Delière et al., 2017; Rousseau et al., 2017).

Caractéristiques	HPD	Variétés « Bouquet »	Cépages résistants modernes (ex. INRA ResDur)
Nombre de gènes de résistance	Généralement monogénique	Monogénique (chaque variété porte un gène majeur spécifique)	Poly-multigénique (plusieurs gènes de résistance contre un même bioagresseur)
Durabilité de la résistance	Limitée, protection facilement contournable	Limitée, vulnérable à l'adaptation des pathogènes	Amélioré, combinaison de plusieurs gènes de résistance, résistance plus durable
Pourcentage de rétrocroisement	Faible proportion de <i>Vitis vinifera</i> intégrée	Élevé, généralement > 80, 90% de génome de <i>Vitis vinifera</i> conservé	Très élevé, généralement > 90% de <i>Vitis vinifera</i> intégrée

<sup>3</sup> Arrêté du 27 avril 2017 portant inscription de variétés de vignes à la liste des variétés de raisins de cuve. Cet arrêté officialise l'inscription de plusieurs cépages résistants (notamment issus de croisement interspécifiques) au Catalogue officiel français, leur permettant ainsi d'être cultivés et vinifiés.

### 3. Les avantages des cépages résistants dans la viticulture moderne

Les cépages résistants s'imposent aujourd'hui comme une réponse concrète aux défis environnementaux, économiques et climatiques de la viticulture. Ils permettent à la fois de (1) réduire considérablement l'usage des intrants phytosanitaires, (2) mieux s'adapter aux nouvelles contraintes liées au changement climatique et donc (3) potentiellement améliorer la rentabilité des exploitations.

Le mildiou et l'oïdium sont les maladies fongiques majeures de la vigne aujourd'hui et sont principalement contrôlées par l'application intensive de produits phytosanitaires (Tabouret, 2021). La liste des produits autorisés se restreint progressivement, incitant la recherche à explorer des alternatives durables, dont les cépages résistants. Bien que la vigne ne représente que 3% de la surface agricole utile (SAU) en France, elle est responsable de près de 20% de l'usage national de pesticides, majoritairement des fongicides (Hochereau, 2023). Cette dépendance s'explique par sa forte sensibilité aux maladies cryptogamiques. Les cépages résistants apportent une réponse concrète à cette problématique en permettant une réduction de 75 à 90% des traitements fongicides (Delière et al., 2017). Ils constituent ainsi un levier majeur vers une viticulture plus respectueuse de l'environnement. Leur intérêt est également renforcé en agriculture biologique (AB), où la sélection variétale est un outil clé pour limiter les intrants. En effet, les fongicides autorisés en AB, notamment à base de cuivre, sont utilisés en quantités importantes et pourraient être interdits dans les années à venir (Andrivon et al., 2019). Les cépages résistants permettent non seulement réduire cette dépendance, mais aussi de diminuer les passages de pulvérisation, un gain de temps non négligeable dans ce système où la charge de travail est élevée (Blonde et al., 2015).

Le changement climatique impose de nouvelles contraintes à la viticulture, avec des épisodes de sécheresse, des températures extrêmes et des conditions météorologiques imprévisibles. Certains cépages résistants possédant une tolérance aux stress abiotiques pourraient offrir une alternative intéressante (Vasylyk et al., 2024). En Allemagne et en Italie, des programmes de sélection ont abouti à des variétés comme Solaris et Regent, qui présentent à la fois une résistance aux maladies et une bonne adaptabilité aux conditions climatiques extrêmes (Töpfer et al., 2022). Ces cépages constituent une piste pour pérenniser la viticulture face aux dérèglement climatiques.

A cette dimension environnementale s'ajoute un intérêt économique évident. En France, en 2022, la consommation d'intrants (produits phytopharmaceutiques) pour la viticulture atteignait 410 millions d'euros (Secrétariat général à la planification écologique, 2024). En moyenne, 12 traitements par an sont appliqués pour lutter contre l'oïdium (NRA, 2018). Dans ce contexte, les cépages résistants peuvent améliorer la rentabilité. Outre la réduction des coûts de traitement, ils obtiennent également des rendements plus élevés. Toutefois, ce rendement élevé suscite des débats, notamment dans les appellations où un faible rendement est traditionnellement associé à une meilleure qualité du vin (Blonde et al., 2015).

#### 4. Intégration des cépages résistants dans la viticulture moderne

Malgré leur potentiel, le déploiement à grande échelle des cépages résistants reste limité. Plusieurs raisons peuvent expliquer les réticences à leur adoption : (1) La mauvaise réputation héritée des anciens HPD (Tabouret, 2021) ; (2) les contraintes réglementaires, notamment le Règlement UE n°1308/2013 (art. 93)<sup>4</sup>(Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2021), qui restreint l'usage des cépages non-*Vitis vinifera* en Appellation d'Origine Protégée (AOP)<sup>5</sup> ; (3) l'attente, par certains acteurs, des variétés issues des programmes de sélection de l'INRA (Tabouret, 2021) ; (4) une défiance persistante au sein de la communauté scientifique quant à la durabilité des résistances (Delière et al., 2017) ; (5) une méfiance du grand public, liée à la confusion entre cépages résistants et Organismes Génétiquement Modifiés (OGM), souvent perçus négativement (Blonde et al., 2015; Tabouret, 2021) ; (6) enfin, un attachement culturel fort à la tradition viticole et la préservation du patrimoine, renforcé par la longévité des plantations et l'investissement qu'elles représentent (Borrello et al., 2021a). Cependant, les mentalités évoluent. Les jeunes générations de viticulteurs se montrent plus ouvertes à ces

---

<sup>4</sup> Il convient de noter que cette norme a été révisée en 2021 (Règlement UE 2021/2117), assouplissant les exigences relatives à l'utilisation des cépages résistants et à leur appellation. Toutefois, cette modification étant récente, il est probable que l'ancien Règlement UE n°1308/2013 ait freiné l'essor de ces cépages, la vigne nécessitant en moyenne trois années de croissance avant de produire du vin. Une augmentation de leur adoption pourrait néanmoins être observée dans les années à venir.

<sup>5</sup> Ce label européen garantit qu'un produit agricole ou alimentaire est élaboré selon un savoir-faire reconnu, dans une aire géographique précise. En viticulture, il lui impose notamment des cépages autorisés et des pratiques strictes. Les cépages résistants ne sont que très rarement intégrés aux cahiers des charges AOP à ce jour.

innovations et à la demande croissante pour des vins issus de pratiques respectueuses de l'environnement . Dans certains marchés internationaux, l'absence de résidus phytosanitaires devient même un critère de conformité, faisant des cépages résistants un atout commercial majeur (Blonde et al., 2015).

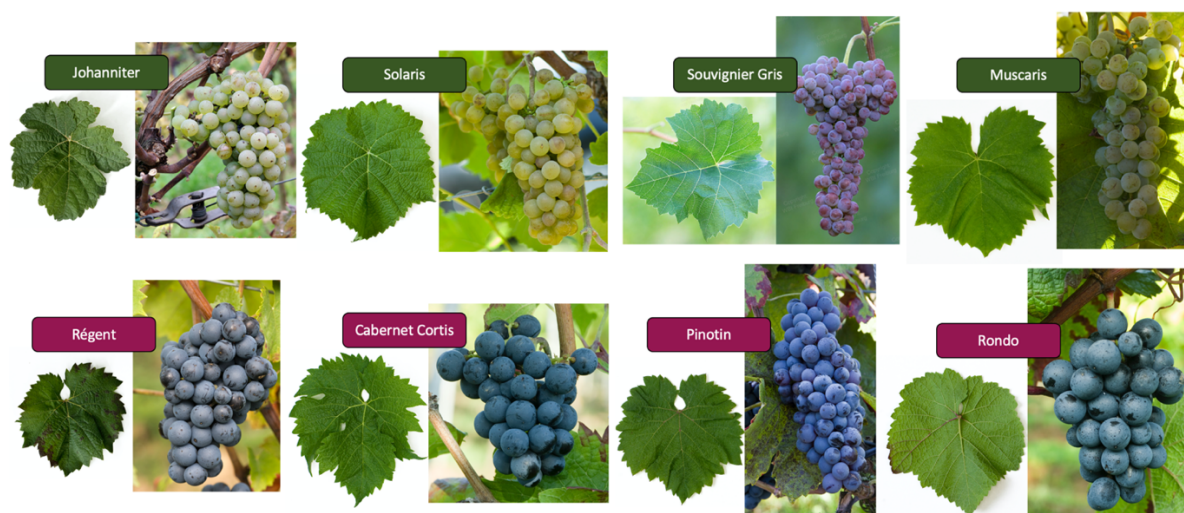
Pour dépasser ces freins, diverses initiatives faciliteraient leur intégration et valoriseraient leur image. Par exemple : (1) mettre en avant les avantages environnementaux et agronomiques de ces cépages ; (2) soutenir les initiatives régionales pour créer des variétés adaptées aux spécificités agronomiques et sensorielles des différentes régions viticoles, via des rétrocroisements avec des cépages locaux (Rousseau et al., 2017) ; (3) jouer sur la nomination des cépages, par le choix de noms évoquant des variétés connues et appréciées, comme cela a été fait en Italie avec des appellations telles que « Petit Merlot » et « Cabernet Royal » (Blonde et al., 2015) ; (4) faire évoluer la réglementation. Une piste intéressante consisterait à utiliser la notion de « pourcentage d'introgression » pour démontrer la proximité génétique de ces cépages avec *Vitis vinifera*, les distinguant ainsi des anciens hybrides et soulignant leur adéquation aux standards AOP (Tabouret, 2021) ; (5) adopter, à l'instar de l'Allemagne, une qualification fondée sur des critères ampélographiques<sup>6</sup>, permettant l'inscription de ces cépages résistants dans le cahier des charges des appellations (Blonde et al., 2015; Tabouret, 2021).

---

<sup>6</sup> Les caractères ampélographiques désignent donc l'ensemble des caractéristiques morphologiques utilisées pour identifier une vigne.

## 5. Les cépages résistants étudiés

Huit cépages résistants ont été sélectionnés pour ce travail. Ils sont illustrés en **Figure 4** avec leur caractéristiques botaniques principales (grappes, raisins et feuilles). Le **Tableau 2** présente leur origine (croisement, année et pays), le type de vin qu'ils produisent ainsi que leurs arômes. Le **Tableau 3** quant à lui synthétise leurs niveaux de résistance au mildiou et à l'oïdium.



**Figure 4 :** Illustration des huit cépages résistants étudiés, présentés avec leur grappes et feuilles caractéristiques : Johanniter, Solaris, Souvignier Gris, Muscaris, Régent, Cabernet Cortis, Pinotin, Rondo (Wüstinger, 2021; Julius Kühn-Institut (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Grapevine Breeding, Geilweilerhof, Siebeldingen, Röckel Franco, Erika Maul, Reinhard Töpfer, Alina, July-21-2025).



**Tableau 2 :** Les cépages résistants étudiés : noms, croisement, année de croisement et pays, type de vin et arômes (“Les fiches cépages résistants,” 2017; Wüstinger, 2021; Institut Coopératif du Vin (ICV), July-14-2025; Julius Kühn-Institut (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Grapevine Breeding, Geilweilerhof ,Siebeldingen, Röckel Franco, Erika Maul, Reinhard Töpfer, Alina, July-21-2025; Les Cépages.fr, July-21-2025)

Nom	Croisement	Origine	Type de vin	Arômes
<b>Johanniter</b>	Riesling weiss x Freiburg 589-54	1968 Allemagne	Corsé, structuré, discrètement fruité, légère amertume	Agrumes (citron vert, ...), amande amère, épices, fruits exotiques, pêche, pétales de rose, poire, pomme reinette, ...
<b>Solaris</b>	Geinsenheim 6493 x Merzling	1975 Allemagne	Sec, fruité, léger goût musqué, puissant, chaleureux, légère amertume	Banane, notes exotiques (ananas, litchi, mangue, ...), noisette, ...
<b>Souvignier Gris</b>	Seyval blanc x Zaehringer	1983 Allemagne	Corsé, aromatique, puissant, bonne base acide, structuré, fruité, agréable	Agrumes, épices, melon, pêche, pomme verte, ...
<b>Muscaris</b>	Solaris x Muscat à petits grains blancs	1987 Allemagne	Couleur jaune doré, équilibré, fruité, goût léger, riche en alcool, bonne acidité	Agrumes, notes de fumées, notes herbacées, muscat, ...
<b>Régent</b>	Diana x Chambourcin	1967	Coloré, corsé, riche en tanins, souple et velouté	Cerise, chêne, cuir, épices, fruits confituré, fumée, groseille, herbacé, réglisse, ...
<b>Cabernet Cortis</b>	Cabernet Sauvignon x Solaris	1982 Allemagne	Couleur rouge rubis intense, corsé, structuré, fruité, tannique, riches en extraits et composés phénoliques, manque d’acidité	Cassis, cerise, mûre, notes confiturés, épices, vanille, poivre noir, violette
<b>Pinotin</b>	Cabernet Sauvignon x Régent	1991 Suisse	Couleur rouge rubis foncée, brillant	Amandes grillées, cerises noires, griottes, ...
<b>Rondo</b>	Severnys x Saint Laurent	1964 Allemagne	Couleur rouge rubis intense avec des nuances de violet, corsé, équilibré, fruit, fraîcheur, finesse des tanins, manque d’acidité	Épices, fruits noirs (cerises, mûres, ...), tabac, ...

**Tableau 3 :** Résistance aux maladies fongiques des cépages résistants sélectionnés. L'échelle de résistance de 1 à 9 reportée de manière qualitative avec - = 1-2, très sensible ; + = 3-4, peu résistant ; ++ = 5-6, résistant ; +++ = 7-8, très résistant ; ++++ = 9, très forte résistance. Les loci de résistance<sup>7</sup> sont repris dans le tableau ("Les fiches cépages résistants," 2017; Institut Coopératif du Vin (ICV), July-14-2025; Julius Kühn-Institut (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Grapevine Breeding, Geilweilerhof, Siebeldingen, Röckel Franco, Erika Maul, Reinhard Töpfer, Alina, July-21-2025).

Nom	Oïdium	Mildiou
<b>Johanniter</b>	+++ Ren3, Ren9	++ Rpv3.1
<b>Solaris</b>	+++ Ren3, Ren9	+++ Rpv3.3, Rpv10
<b>Souvignier Gris</b>	++++ Ren3, Ren9	+++ Rpv3.2
<b>Muscaris</b>	-/+ Ren3, Ren9	++/+++ Rpv10
<b>Régent</b>	+ /+++ Ren3, Ren9	++ Rpv3.1
<b>Cabernet Cortis</b>	+ /+++ Ren3, Ren9	++/+++ Rpv3.3, Rpv10
<b>Pinotin</b>	++ Ren3, Ren9	++ Rpv3.1
<b>Rondo</b>	Non testé Non testé	++ Rpv10

## B. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle se définit comme l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit à travers les organes des sens (Furtuna, 2012). L'être humain, par ses capacités sensorielles, est utilisé comme instrument de mesure. Malgré les avancées des techniques analytiques, elle demeure essentielle pour appréhender la perception humaine, car la composante organoleptique d'un produit résulte à la fois de l'interaction des sens et de la complexité de sa composition (Plutowska et al., 2007; Gammacurta, 2016). Plusieurs composés volatils peuvent contribuer à une même sensation, interagir entre eux, en se masquant ou en se renforçant, et leur perception peut varier selon la matrice (Chambers et al., 2013). L'analyse sensorielle reste toutefois limitée.

---

<sup>7</sup> Les loci de résistance sont des emplacements précis sur un chromosome où se trouvent des gènes qui confèrent une résistance à une plante contre une maladie, un parasite ou un stress particulier. Le locus RPV est associé à la résistance au mildiou (*Plasmopara viticola*). Le locus REN est associé à la résistance à l'oïdium (*Uncinula necator*). Si « Loci = non testé », les gènes exacts de résistance ne sont pas encore connus, bien qu'il ait résistance (Blanc, 2012).

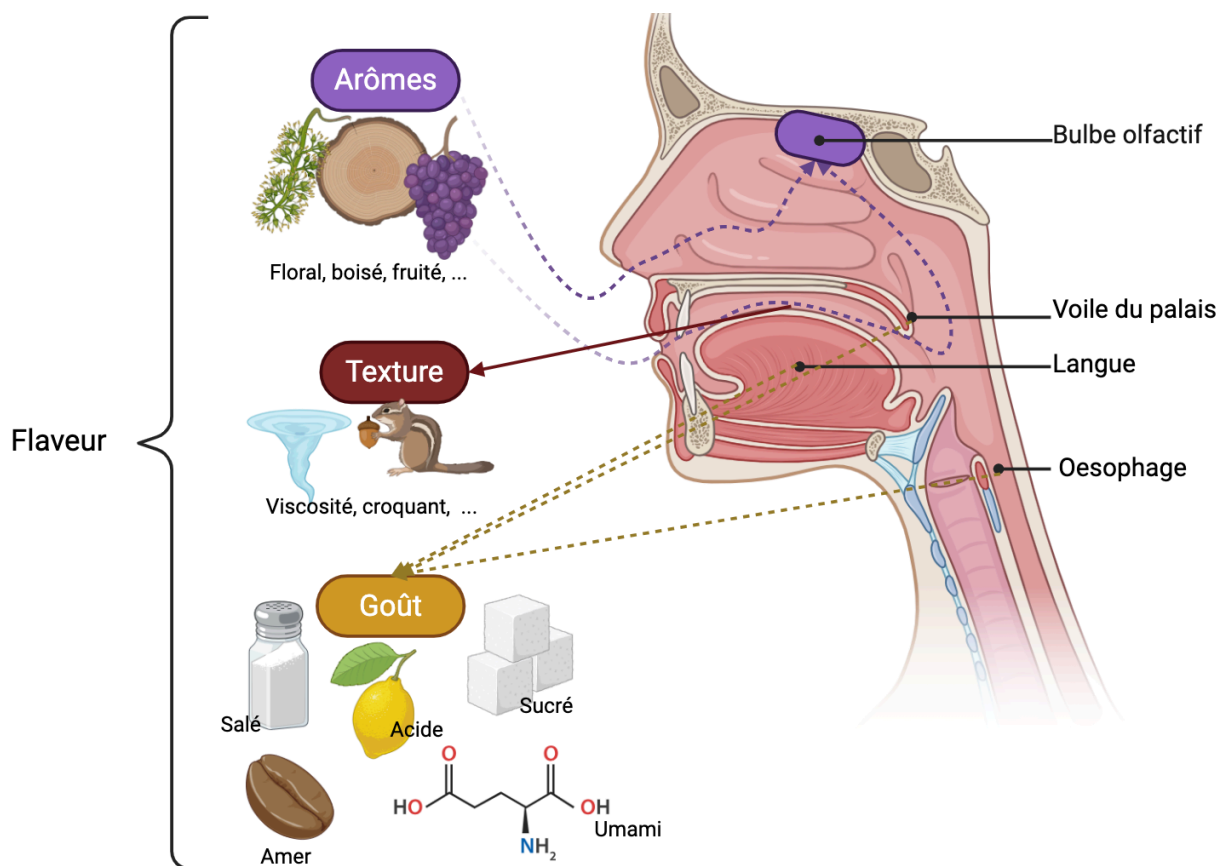
Elle ne permet ni d'identifier précisément les composés responsables d'un arôme ou d'un goût, ni d'obtenir des données quantitatives fiables, et souffre d'une faible répétabilité (Plutowska et al., 2007). Ces limites peuvent être compensées par l'analyse instrumentale, abordée à la section suivante.

## 1. Les dimensions sensorielles dans la perception de la saveur

*« Nous ne pouvons absolument pas penser sans utiliser nos cinq sens. »*

Albert Einstein

Tout d'abord, il convient de définir clairement le lexique de la perception humaine. Le langage de la perception est d'une importance capitale, puisqu'il permet de concrétiser, de globaliser et de normaliser l'ensemble des sensations, a priori propres à chacun. (1) Le goût désigne la perception des substances sapides par la langue, le voile du palais et l'œsophage, et plus particulièrement par les papilles gustatives (Inderbitzin et al., 2020). Bien que le nombre de saveurs de base soit controversé, il est communément admis que le goût résulte de cinq saveurs fondamentales (sucré, salé, acide, amer, umami) (Inderbitzin et al., 2020). (2) L'arôme, quant à lui, correspond à la perception par le nez des composés volatils (fruits rouges, vanille, boisé...). Ces substances peuvent pénétrer dans le nez de deux façons : par voie orthonasale (directement depuis l'extérieur) et par voie rétronasale (via le palais) (Choi et al., 2015). (3) La texture quant à elle se réfère aux sensations tactiles perçues par les récepteurs sensoriels situés dans la bouche, englobant des sensations comme la fermeté, le croquant, la viscosité, l'astringence (Inderbitzin et al., 2020). (4) Enfin, la flaveur, est l'expérience sensorielle globale qui résulte d'interactions complexes multisensorielles où l'arôme, le goût et la texture interagissent à des niveaux chimique, mécanique, physiologique et cognitif (**Figure 5**) (Furtuna, 2012).



**Figure 5 :** Représentation des différentes composantes de la flaveur (goût, texture, arômes) et des organes sensoriels impliqués dans leur perception chez l'être humain. Illustration inspirée des travaux de (Choi et al., 2015; Inderbitzin et al., 2020; Anne, 2021) et réalisée à l'aide de BioRender.com.

## 2. Composante aromatique dans la perception de la flaveur

Le profil aromatique d'un vin correspond à l'ensemble des caractéristiques organoleptiques perçues lors de la dégustation, en grande partie déterminées par la composition et la disponibilité en composés volatils, qui influencent directement la perception olfactive (Moisseff et al., 2018). Le goût et l'odorat ne sont pas perçus séparément, mais on estime que l'odorat, et donc la composition en composés volatils, fournit jusqu'à 80 % des informations lors de la dégustation (Murphy et al., 1977). La quantité, la nature et l'interaction des composés volatils conditionnent donc fortement la qualité du vin. Un composé peut en masquer ou renforcer un autre, et la matrice du vin – incluant les molécules non volatiles comme les lipides, acides aminés ou sucres – ainsi que les conditions du milieu, influencent leur perception. L'arôme final résulte de nombreux facteurs : environnement (climat, sol, lumière), matières premières (cépages, levures) et procédés de vinification (fermentation, vieillissement), qui agissent sur la croissance des raisins et la fermentation, modulant la concentration et la nature des composés aromatiques (He et al., 2023).

On regroupe généralement les arômes en trois classes, selon le moment où ils apparaissent au cours de la production du vin : (1) certains sont naturellement présents dans le raisin ; (2) d'autres se forment pendant la vinification volontairement ou non ; (3) une partie se développe durant le stockage et le vieillissement :

#### 1. Arômes primaires ou variétaux :

Ce sont les composés volatils biosynthétisés dans les raisins et qui persistent dans le vin sans être modifiés. Ils incluent notamment les monoterpènes, thiols et les pyrazines (He et al., 2023; Câmara et al., 2024).

#### 2. Arômes secondaires :

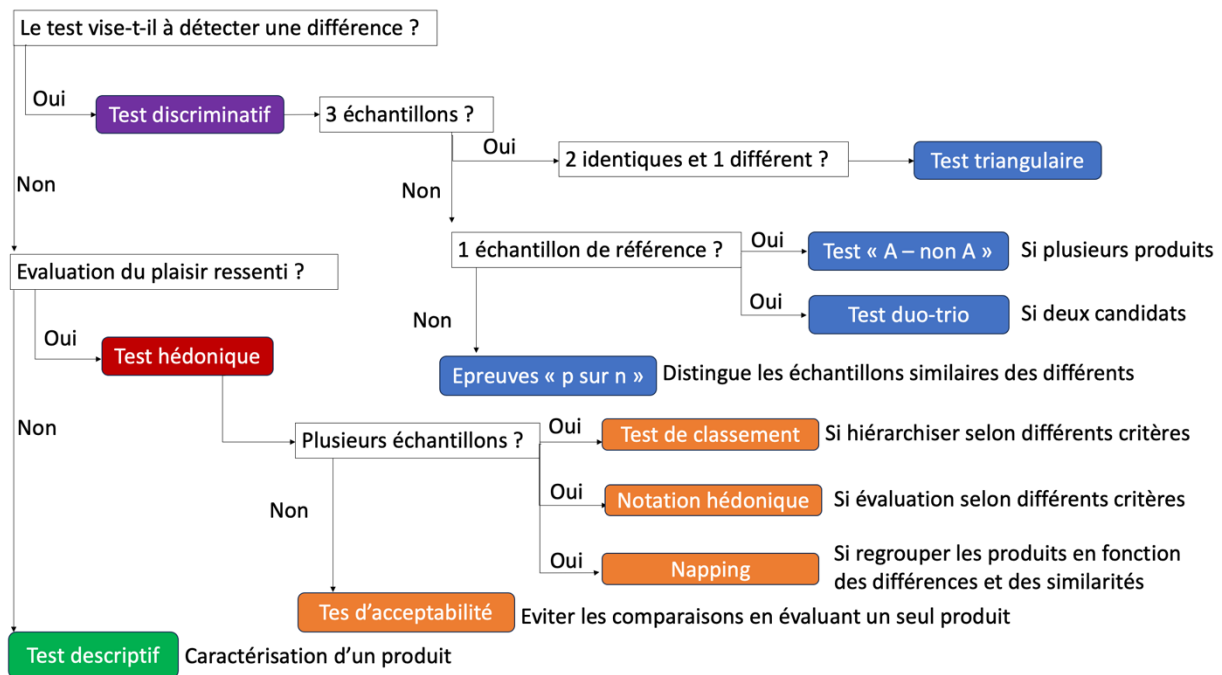
Ils se forment pendant la vinification. Leur développement résulte principalement du métabolisme des levures, des réactions enzymatiques et de l'action des bactéries lactiques qui transforment les précurseurs du raisin en alcools, esters éthyliques et alkyles, aldéhydes ou acides gras (He et al., 2023; Câmara et al., 2024). Ces arômes constituent l'essentiel du profil aromatique du vin (Ebeler et al., 2009).

#### 3. Arômes tertiaires :

Ils apparaissent lors du stockage et du vieillissement, sous l'effet de diverses réactions chimiques (phénomènes redox, estérification, dégradation de Strecker, transformation abiotique des précurseurs, etc). Parmi les familles de composés volatils identifiées, on retrouve principalement des furaniques, des lactones et différents types d'acétals notamment les dioxanes et les dioxolanes (He et al., 2023; Câmara et al., 2024).

### 3. Les méthodes d'analyse sensorielle

La méthode utilisée dépend principalement de l'information recherchée. Les méthodes peuvent être affectives (hédoniques) et/ou analytiques (discriminatives et descriptives) (Furtuna, 2012). La clé dichotomique présentée en **Figure 6** offre un aperçu des tests sensoriels à privilégier en fonction de l'objectif poursuivi.



**Figure 6 :** Clé dichotomique des tests sensoriels selon leur objectif (basée sur le travail de (Furtuna, 2012)).

Les tests hédoniques s'adressent au consommateur naïf, soit la cible du produit, et permettent de déterminer ses préférences. Ils s'attachent à la dimension « plaisir » et sont réalisés dans des conditions proches des conditions réelles de consommation (Furtuna, 2012). Ils peuvent prendre plusieurs formes :

- Le test de classement qui consiste à hiérarchiser plusieurs produits en fonction de la préférence, selon différents critères (aspect, toucher, goût, etc.).
- La notation hédonique qui demande au consommateur d'évaluer plusieurs produits sur un certain nombre de critères.
- Le test d'acceptabilité, variante de la notation hédonique qui consiste à évaluer non pas plusieurs mais un seul produit afin d'éviter toute comparaison.
- Le Napping qui demande aux dégustateurs de regrouper les produits en fonction de leurs similarités et différences.

Les tests discriminatifs sont des méthodes qui peuvent s'effectuer sur un panel entraîné ou non. Ils visent à déterminer des différences entre divers produits et comprennent (Furtuna, 2012) :

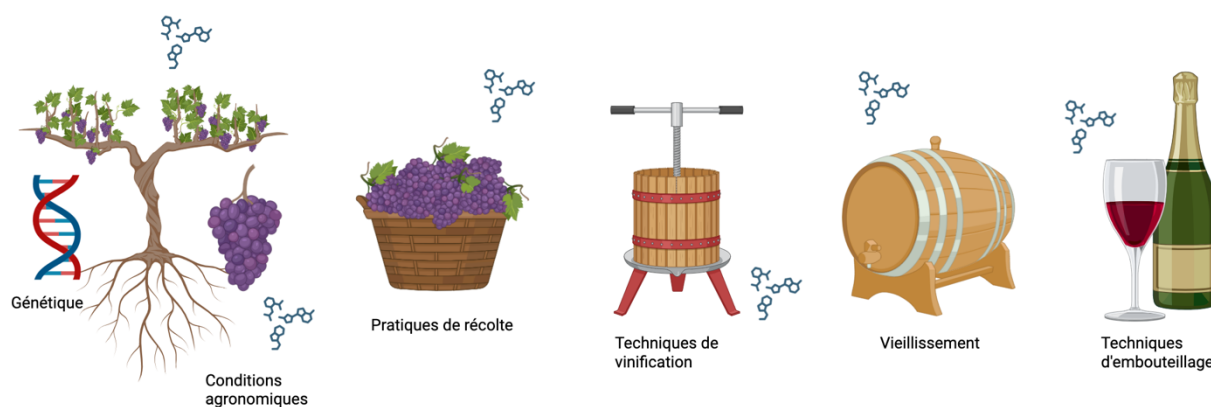
- Le test triangulaire, qui consiste à présenter trois échantillons (deux identiques et un différent) afin de déterminer si une différence est perceptible par l'évaluateur.
- Le test « A – non A », qui compare un échantillon de référence à d'autres produits pour évaluer leur similitude.
- Le test duo-trio, qui propose un échantillon témoin et deux candidats, le testeur devant choisir celui qui correspond au témoin.
- Les épreuves « p sur n », qui demandent de distinguer les échantillons similaires des échantillons différents.

Enfin, les tests descriptifs qui identifient et nomment les attributs sensoriels afin de caractériser un produit. La désignation précise de ces attributs constitue un élément essentiel au processus pour établir une base commune de comparaison des différents produits (Chambers et al., 2013). La méthode descriptive varie selon la manière dont les attributs sont définis. Par exemple, dans le Flavor Profile (FP), les attributs sensoriels sont définis par consensus, tandis que dans l'analyse descriptive quantitative (QDA), ils sont définis individuellement et mesurés à l'aide d'échelles, assurant une objectivité accrue et des données statistiquement plus exploitables (Gere et al., 2024). Une autre variation consiste à utiliser un lexique sensoriel préétabli pour guider l'évaluation, comme c'est le cas avec la méthode Spectrum (Gere et al., 2024). D'une manière générale, la méthode descriptive fonctionne comme suit : (1) Le panel génère un lexique descriptif du produit ; (2) Les termes générés sont mis en commun et triés afin d'écarter les descripteurs à connotation hédonique, les synonymes, les antonymes et les termes non pertinents ; (3) Le panel reçoit un entraînement sur les différents attributs sensoriels retenus, afin d'harmoniser la perception associée à chaque descripteur ; (4) Le panel évalue les différents échantillons à l'aide d'une fiche commune, mesurant l'intensité de chacun des attributs retenus ; (5) Les données recueillies sont analysées statistiquement pour obtenir une caractérisation objective du produit (Chambers et al., 2013).

## C. Composante chimique du profil aromatique

Le vin est un mélange complexe d'une très large gamme de molécules ayant, par leur structure, leurs propriétés physico-chimiques, divers modes d'interaction avec les sens humains (Styger et al., 2011).

Comme l'illustre la **Figure 7**, la production de composés organiques volatils (COV) ne dépend pas uniquement de la génétique, mais aussi de nombreux paramètres externes : conditions agronomiques, pratiques de récolte, techniques de vinification, d'embouteillage et de vieillissement. Ainsi, un profil chimique en COV reflète uniquement une expression contextuelle – celle d'un cépage dans un terroir donné, à un moment précis, selon des choix techniques spécifiques (González-Barreiro et al., 2015). Par ailleurs, la perception des arômes issus de ces molécules est influencée par de multiples facteurs : leur concentration et leur seuil de perception, les interactions entre composés, les conditions du milieu (température, pH, humidité), la nature de la matrice, ou encore les mécanismes sensoriels humains (Bakker et al., 2011). Tous ces éléments rendent l'interprétation chimique d'un profil aromatique particulièrement complexe, soulignant la nécessité d'analyses aussi complètes que possible, à l'aide de méthodes d'extraction et de caractérisation sensibles et polyvalentes.



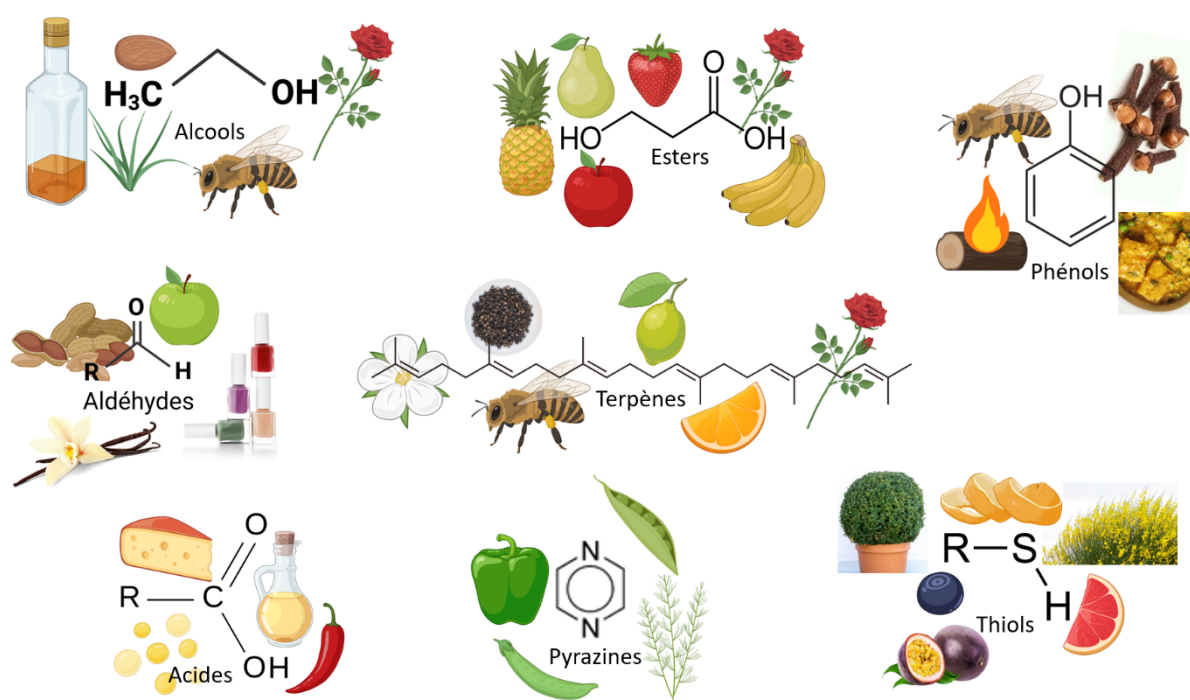
**Figure 7** : Les facteurs biotiques et techniques influençant la formation des composés volatils responsables de l'arôme du vin. Illustration basée sur le travail de (González-Barreiro et al., 2015) et réalisée à l'aide de BioRender.com.

### 1. Classification des composés organiques volatils

Les composés organiques volatils sont des substances organiques qui ont une pression de vapeur élevée, un point d'ébullition inférieur à 260°C. Ils ont en général une faible masse moléculaire et des forces intermoléculaires favorisent leur évaporation à des températures basses (Koppmann, 2008), phénomène qui leur permet d'atteindre les récepteurs sensoriels humains



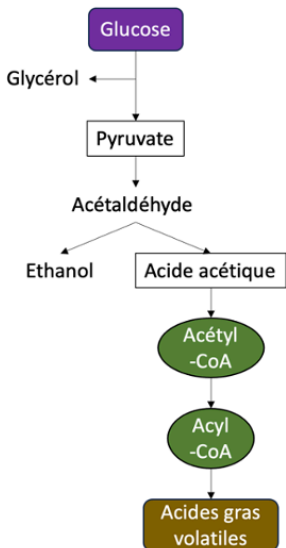
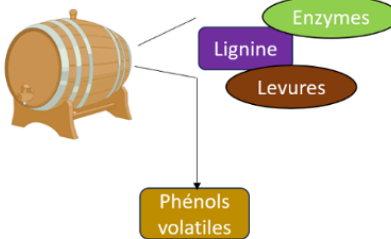
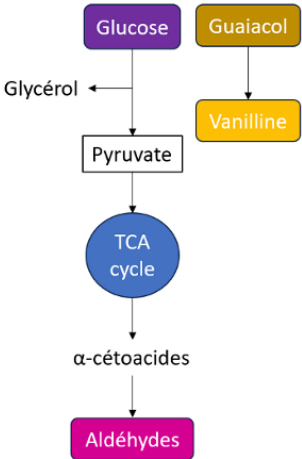
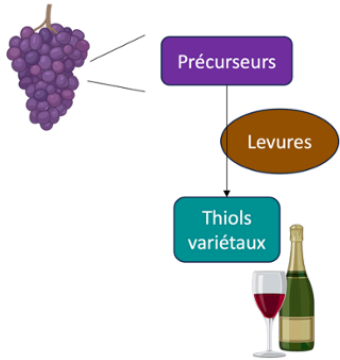
situés dans le nez. Chimiquement, les principaux COV sont répartis en plusieurs familles, en fonction de leur structure et des groupes fonctionnels qu'ils possèdent. Les principales familles chimiques du vin, représentées à la **Figure 8** et expliquées dans le **Tableau 4**, comprennent : Les alcools, les esters, les terpènes, , les phénols, les aldéhydes, certains acides, les thiols variétaux et des composés hétérocycliques azotés comme les méthoxypyrazines. Outre ces grandes familles d'arômes, d'autres composés volatils tels que certaines cétones, lactones, furanones peuvent également contribuer au profil sensoriel du vin, bien que de manière plus spécifique ou à des concentrations moindres (Bakker et al., 2011).



**Figure 8 :** Représentation des principales familles chimiques du vin avec leurs descripteurs aromatiques basé sur le travail de (Roland et al., 2011; Styger et al., 2011; Chizzola, 2013; Jiang et al., 2013; Šuklje et al., 2016; Zhao et al., 2017; Arslan et al., 2018; Bamba et al., 2018; Dan et al., 2018; Tufariello et al., 2020; He et al., 2023). Illustration réalisée à l'aide de BioRender.com.

**Tableau 4** : Les principales familles chimiques du vin, leur principaux composés volatils, leurs descripteurs aromatiques, leur seuil de perception et leur voie de synthèse basé sur le travail de (Roland et al., 2011; Styger et al., 2011; Chizzola, 2013; Jiang et al., 2013; Šuklje et al., 2016; Zhao et al., 2017; Arslan et al., 2018; Bamba et al., 2018; Dan et al., 2018; Tufariello et al., 2020; He et al., 2023).

Famille chimique	Composé	Descripteur aromatique	Seuil de perception	Voie de synthèse
Alcools supérieurs	Alcool isoamylique	Whisky	30 mg/L	<pre> graph TD     Glucose --&gt; Glyceral     AminoAcids --&gt; Glyceral     Glyceral --&gt; Pyruvate     Pyruvate --&gt; TCAcycle((TCA cycle))     TCAcycle --&gt; alphaKetoAcids[α-cétoacides]     alphaKetoAcids --&gt; Aldehydes[Aldéhydes]     Aldehydes --&gt; HigherAlcohols[Alcools supérieurs]                     </pre>
	2-phényléthanol	Herbeux	10 mg/L	
	Phényléthanol	Miel, Rose	10 mg/L	
	Isopentanol	Whisky	30 mg/L	
	4-Méthyl-1-pentanol	Amande	50 mg/L	
	1-hexanol	Herbe, vert	8 mg/L	
Esters	Acétate d'éthyle	Fruité	7500 µg/L	<pre> graph TD     Glucose --&gt; Glyceral     Glyceral --&gt; Pyruvate     Pyruvate --&gt; Acetaldehyde[Acétaldéhyde]     Acetaldehyde --&gt; Ethanol[Ethanol]     Ethanol --&gt; EthylEsters[Esters d'éthyle]     Ethanol --&gt; OtherEsters[Esters acétiques]     AcetylCoA[Acétyl-CoA] --&gt; EthylEsters     AcetylCoA --&gt; OtherEsters     HigherAlcohols[Alcools supérieurs] --&gt; OtherEsters                     </pre>
	Acétate d'isoamyle	Banane	30 µg/L	
	Acétate d'hexyle	Poire	670 µg/L	
	Acétate de 2-phényléthyle	Rose	650 µg/L	
	Hexanoate d'éthyle	Fraise	5 µg/L	
	Heptanoate d'éthyle	Ananas	220 µg/L	
Terpènes	Linalol	Floral, fruité	25 µg/L	<pre> graph TD     IPP --&gt; DMAPP     DMAPP --&gt; GPP     GPP --&gt; Monoterpenes[Monoterpènes]     GPP --&gt; FPP     FPP --&gt; Sesquiterpenes[Sesquiterpènes]     FPP --&gt; GGPP     GGPP --&gt; Terpenoids[Terpénoïdes]                     </pre>
	Géraniol	Rose	32 µg/L	
	Citronellol	Citron vert	100 µg/L	
	Nérol	Agrumes, floral	300 ng/L	
	β-damascénone	Miel	0,05 µg/L	
	Rotundone	Poivre noir/blanc	0,016 µg/L	
Pyrazines	3-isobutyl-2-méthoxypyrazine	Poivron vert	10-16 ng/L	<pre> graph TD     AminoAcids --&gt; Pyrazines                     </pre>
	3-sec-butyl-2-méthoxypyrazine	Petit pois	1-2 ng/L	
	3-isopropyl-2-méthoxypyrazine	Asperge, haricot vert	2 ng/L	

Acides	Acide méthylbutyrique	3- Sueur, acide	33 µg/L	
	Acide hexanoïque	Sueur	420 µg/L	
	Acide octanoïque	Sueur, fromage	500 µg/L	
	Acide propionique	Rance, piquant	2000 µg/L	
	Acide butyrique	Rance	200 µg/L	
Phénols	Guaiacol	Fumé, médicinal	10 µg/L	
	Eugénol	Clou de girofle, miel	5 µg/L	
	4-vinylguaiacol	Clou de girofle, curry	10 µg/L	
Aldéhydes	Acétaldéhyde	Pomme verte, fruits secs, vernis à ongles	75 mg/L	
	Vanilline	Vanille	0,5 mg/L	
Thiols	4-méthyl-4-sulfanylpentan-2-one (4MMP)	Cassis, buis, genêt, fruit de la passion	0,8 ng/L	
	3-sulfanylhexas-1-ol (3MH)	Pamplemousse, zeste	60 ng/L	
	3-sulfanylhexyl acétate (3MHA)	Fruit de la passion	4 ng/L	

### **a)     *Les alcools***

Les alcools désignent une classe de molécules organiques avec un groupement hydroxyle (-OH) lié à un atome de carbone (Cordente et al., 2021). Les alcools sans cycle benzénique sont qualifiés d'aliphatiques, tandis que ceux avec un cycle benzénique sont appelés alcools aromatiques. Les alcools aliphatiques supérieurs, qualifiés de monohydriques (un seul groupe -OH) sont reconnus pour leur forte influence sur le profil aromatique des vins (He et al., 2023). Nombreux sont connus pour leur odeur agréable (Huang et al., 2018). Toutefois, une concentration totale supérieure à 400 mg/L engendreraient une odeur désagréable inhibant les autres composés volatils. Il est admis qu'un vin de haute qualité doit contenir une concentration inférieure à 300 mg/L de ces alcools aliphatiques supérieurs (He et al., 2023). Plus de 90% des alcools supérieurs sont produits lors de la fermentation alcoolique à partir du pyruvate, issu de la glycolyse du glucose (Swiegers et al., 2005; Rollero et al., 2017). Ce pyruvate est transformé en intermédiaires alpha-cétoacides via le cycle de Krebs (Wess et al., 2019). Le reste des alcools supérieurs présent dans le vin est produit à partir des acides aminés, par la voie de Ehrlich (Ehrlich, 1907).

### **b)     *Les esters***

Les esters sont une famille de composés organiques avec une fonction -COO liée à deux groupements alkyles (chaîne carbonée). Les esters aromatiques sont caractérisés par un noyau benzénique à la place d'une des deux fonctions alkyles. Tout comme les alcools, les esters possèdent un fort impact sur le profil aromatique car ils génèrent des arômes fruités et floraux (He et al., 2023). Présents à trop haute concentration, certains peuvent générer des arômes peu plaisants. Par exemple, l'acétate de menthyle à une concentration supérieure à 12 mg/L, dégage une odeur de vernis à ongles (He et al., 2023). L'allongement de la chaîne carbonée des esters peut entraîner une odeur savonneuse, et de C16 et C18, une note de lard peut émerger (He et al., 2023). Leur formation s'effectue principalement pendant la fermentation alcoolique (Gambetta et al., 2014), où les levures transforment des acides organiques et des alcools (éthanol ou alcools supérieurs) en esters, sous l'action d'enzymes spécifiques telles que les acétyltransférases (Bakker et al., 2011; Pozo-Bayón et al., 2024). Cette voie enzymatique produit des esters acétiques, comme l'acétate d'isoamyle, et d'esters éthyliques, comme l'hexanoate d'éthyle (Styger et al., 2011; Hirst et al., 2016). Une seconde voie de synthèse, plus lente, repose sur une estérification chimique directe entre acides et alcools pendant le vieillissement du vin. Cette réaction non enzymatique peut produire des composés tels que le

tartrate d'éthyle ou le succinate d'éthyle (He et al., 2023; Pozo-Bayón et al., 2024). Enfin, une voie complémentaire provient de l'oxydation des lipides en intermédiaires réactifs (acides gras oxydés, aldéhydes) qui, combinés à des alcools supérieurs, forment des esters spécifiques (He et al., 2023). La proportion et le type d'esters obtenus dépendent fortement des paramètres de fermentation soit la température, le pH, l'oxygénation, la souche de levure utilisée et la disponibilité en azote.

### *c) Les terpènes et terpénoïdes*

Les terpènes sont des métabolites secondaires importants dans les plantes dont la formule générale est  $(C_5H_8)_n$  (Black et al., 2015). Ils sont classés selon le nombre d'unités d'isoprène ( $C_5H_8$ ) qui les composent et sont généralement considérés comme des composés d'arôme variétal. Ce type d'arôme est présent naturellement dans le fruit (Styger et al., 2011). De ce fait, leur présence ne dépend pas du terroir mais du cépage, car ils sont stockés dans la baie sous forme liée, notamment via des liaisons glycosidiques (Iriti et al., 2006; Li et al., 2021). Les terpènes sont produits par les voies métaboliques du mévalonate (MVA) et du méthylérythritol phosphat (MEP) (Chizzola, 2013). Les terpénoïdes, quant à eux, sont des dérivés des terpènes qui résultent de modifications chimiques telles que la cyclisation, l'oxydation ou l'hydroxylation. Ces transformations peuvent survenir naturellement dans la baie, mais aussi au cours de la vinification et en particulier pendant le vieillissement. Les terpènes et leurs dérivés sont principalement responsables des arômes floraux et fruités dans le vin. Parmi eux, les monoterpènes sont les plus abondants. En fonction de leur concentration, les cépages peuvent être classés en trois catégories : (1) Cépages muscatés : concentration en monoterpénoïdes  $> 1$  mg/L ; (2) Cépages semi-aromatiques : concentration entre 0,1 et 1 mg/L ; (3) Cépages non-aromatiques : concentration  $< 0,1$  mg/L (Zhu et al., 2014). Les monoterpènes principaux dans les vins sont notamment le linalol, le citronellol, le géraniol, le nérol et l' $\alpha$ -terpinéol. Ils se trouvent dans les baies de raisin, notamment dans la pellicule, et persistent durant la vinification. On retrouve également, en plus faibles quantités, des diterpènes, sesquiterpènes et sesterpènes (Zhang et al., 2022).

#### *d)      Pyrazines*

Les pyrazines constituent une classe de composés organiques hétérocycliques caractérisés par la présence d'un cycle aromatique comprenant deux atomes d'azote. De formule générale  $C_4H_4N_2$ , elles sont connues pour leurs arômes caractéristiques souvent herbacés, végétaux, terreux ou grillés (Zhao et al., 2017). Lorsque leur concentration dépasse 15 ng/L dans les vins blancs et 25 ng/L dans les rouges, les pyrazines sont susceptibles d'entraîner une odeur herbacée peu agréable dans le vin (He et al., 2023). Les pyrazines proviennent principalement des raisins, issues du métabolisme des acides aminés (leucine, isoleucine, et valine) dans les tissus végétaux (Zhao, Ju, et al., 2019; Câmara et al., 2024).

#### *a)      Acides carboxyliques volatils*

Les acides carboxyliques sont définis par la présence d'un groupe fonctionnel carboxyle ( $-COOH$ ), formé d'un atome de carbone lié à un atome d'oxygène par une double liaison, et à un groupe hydroxyle ( $-OH$ ) (López-Garzón et al., 2014). Dans le vin, on retrouve principalement des acides carboxyliques issus de la fermentation alcoolique, bien que certains soient déjà présents dans la baie de raisin (comme l'acide hexanoïque, octanoïque, propionique ou butyrique). Ces composés, qui peuvent être ramifiés ou insaturés, participent à la fois à l'acidité, à l'équilibre sensoriel en bouche et au développement de l'aromatique, notamment via la formation de composés volatils. Il s'agit le plus souvent d'acides gras à chaîne linéaire, saturés, dont la longueur varie de 2 à 18 atomes de carbone (He et al., 2023). Une teneur modérée d'acides gras volatils (environ 0,4 à 0,6 g/L) contribue à l'équilibre gustatif. A partir de 0,8 g/L, leur présence peut déséquilibrer le vin, et au-delà de 1 g/L, des arômes de vinaigre peuvent dominer et nuire aux qualités sensorielles. Par exemple, les acides butyrique et octanoïque sont associés à des odeurs piquantes, grasses, voire animales, rappelant le fromage. Pour préserver le profil fruité du vin, il est conseillé de maintenir la concentration totale de ces acides volatils secondaires en dessous de 50 à 100 mg/L (He et al., 2023). L'acide acétique, avec une concentration se situant entre 150 et 900 mg/L, est le plus abondant. Il représente plus de 90 % des composés volatils acides du vin (Ivić et al., 2021). Et est produit par *Acetobacter* et *Gluconobacter*, à partir d'éthanol (Yamada et al., 2008).

### ***b) Les phénols***

Les phénols constituent une famille de composés aromatiques caractérisés par un ou plusieurs groupes hydroxyle (-OH) fixés sur un noyau benzénique (cycle aromatique). Ils forment une classe particulièrement importante en œnologie. Ils comprennent plusieurs sous-groupes de molécules qui influencent non seulement le profil aromatique, mais également d'autres propriétés du vin telles que la couleur, la texture ou l'astringence (Waterhouse, 2002). Par exemple, les tanins sont des composés phénoliques (flavonoïdes), non volatils, responsables de l'astringence et de la structure du vin, mais ils ne participent pas directement aux arômes perçus par l'odorat (Versari et al., 2013). Il en est de même pour les anthocyanes qui sont les pigments responsables de la couleur rouge des vins (Glories, 1984). Les principaux composés phénoliques volatils dans le vin sont le guaiacol, l'eugénol et le 4-vinylguaiacol avec leurs arômes de fumé, de médicament, de miel, de clous de girofle et de curry (Bamba et al., 2018). Alors que les phénols non volatils (flavonoïdes et anthocyanes) sont produits dans les baies par les voies phénoliques phénylpropanoïdes et flavonoïdes (He et al., 2023), les composés phénoliques volatiles présents dans le vin sont souvent formés secondairement, par transformation enzymatique, chimique, ou encore par libération par les levures. Par exemple le guaiacol provient de la dégradation de la lignine, présent dans le bois des barriques (Ghadiriasli et al., 2019).

### ***c) Les aldéhydes***

Les aldéhydes sont des composés organiques caractérisés par un groupe fonctionnel -CHO (formyl). Ils sont intermédiaires ou sous-produits de diverses réactions biochimiques, notamment celles associées à la fermentation et à l'oxydation. Dans le vin, ils peuvent provenir : (1) de la fermentation alcoolique (produits naturellement par les levures) ; (2) de réactions d'oxydation de l'éthanol (notamment en présence d'oxygène) ; (3) de voies secondaires impliquant la dégradation des acides aminés ou des sucres. L'acétaldéhyde est l'aldéhyde majoritaire dans le vin (90%) (Nykänen, 1986). Cet arôme est formé à partir du pyruvate et est un métabolite précurseur des alcools supérieurs et des esters (Styger et al., 2011). À faible concentration, il peut contribuer à des notes de pomme verte ou de fruits secs, mais à des teneurs plus élevées, il est associé à des défauts sensoriels, d'arômes oxydés ou de vernis. Les concentrations d'acétaldéhyde culminent lors de la phase de fermentation maximale, diminuent en fin de fermentation, puis augmentent de manière progressive au cours de la phase post-fermentaire (Lambrechts et al., 2000). Sa concentration dans les vins jeunes atteint

couramment 75 mg/L, alors que son seuil de perception est de 1,3 à 1,5 mg/L dans l'eau (Niu et al., 2020). La vanilline est un composé controversé. Il est tantôt considéré comme un composé phénolique, mais d'un point de vue chimique c'est un aldéhyde aromatique (Walton et al., 2003). Dans le vin, elle résulte de la dégradation de la lignine lors de l'élevage en fûts de chêne, à partir de son précurseur, le guaiacol (Ghadiriasli et al., 2019). Elle confère au vin un arôme caractéristique de vanille ("Vanilline," July-13-2025).

#### *d) Thiols*

Les thiols sont une famille de composés organiques caractérisés par la présence d'un groupe sulfhydryle (-SH). Leur formule générale est R-SH, où R représente un groupe organique (alkyle ou aryle) (Vermeulen et al., 2005). Même si leur concentration dans les vins est en générale très basse, leur seuil de perception (également bas) les rend importants en œnologie car ils ont une forte intensité odorante même à de très faibles concentrations (ng/L) (Roland et al., 2011). En œnologie, les thiols sont classés en deux catégories : (1) les thiols variétaux, caractérisés par des arômes fruités ; (2) les thiols de réduction, associés à des défauts aromatiques (Roland et al., 2011). Parmi les thiols variétaux, le 4MMP, le 3MH et le 3MHA jouent un rôle central dans l'expression de ces arômes fruités. Même perçus à l'état de trace, il apportent des notes de buis, fruit de la passion, pamplemousse, etc (Cordente et al., 2022). Issus de précurseurs non odorants présents dans le raisin, ces thiols sont libérés par les levures durant la fermentation alcoolique, principalement via des réactions enzymatiques impliquant les  $\beta$ -lyase agissant sur des conjugués à la cystéine ou au glutathion (Roland et al., 2011).

## 2. Méthode d'analyse chimique

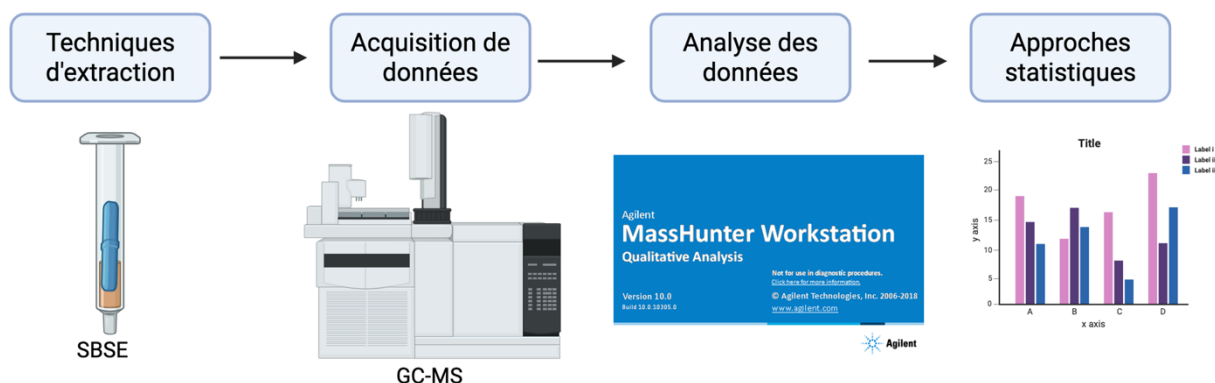
Compte tenu de la grande diversité en composés volatils, et de concentrations de quelques ng/L à plusieurs g/L, l'analyse du profil aromatique du vin<sup>8</sup> repose sur des méthodes analytiques rigoureuses, capables de détecter des variations réelles entre cépages ou millésimes, sans être biaisées par les conditions expérimentales (Câmara et al., 2024). La méthodologie générale d'analyse chimique du vin est illustrée la **Figure 9**. Elle comprend des techniques d'extraction,

---

<sup>8</sup> Les résultats analytiques sur les cépages sont toujours spécifiques au terroir, au millésime, et aux méthodes utilisées. Ils ne représentent pas une vérité absolue, mais une photographie à un instant donné.



l'acquisition des données et le traitement des données, ainsi que les approches statistiques utilisées pour leur interprétation.



**Figure 9** : Méthodologie générale de l'analyse chimique du vin avec comme exemple les techniques utilisées dans cette étude. Illustration réalisée à l'aide de BioRender.com.

#### a) *Techniques d'extraction des composés volatils du vin*

L'analyse des composés volatils peut se faire via des méthodes chromatographiques ou non chromatographiques. L'analyse chromatographique des composés volatils du vin requiert généralement une étape d'extraction préalable, indispensable pour concentrer les analytes, réduire les interférences de la matrice et préserver les instruments. La faible concentration et les seuils olfactifs très bas de certains composés nécessitent des méthodes sensibles. Les méthodes les plus utilisées sont reprises dans le **Tableau 5** (Câmara et al., 2024).

**Tableau 5** : Méthodes couramment utilisées pour l'extraction des composés volatiles du vin (de Castilhos et al., 2019; Paluch et al., 2021; del Barrio Galán et al., 2022; Marín-San Román et al., 2022; Pisaniello et al., 2022; Rossi et al., 2023; Câmara et al., 2024).

Méthode	Principe	Avantages	Inconvénients	Variantes	COV ciblés	Adapté au vin ?
<b>SPME</b> (Solid-Phase Microextraction)	Extraction sans solvant par adsorption sur une fibre recouverte de polymères	Simple, rapide, pas de solvant, très utilisée en analyse du vin	Sensibilité à la matrice, saturation de la fibre, compétition entre analytes	HS-SPME, DI-SPME, Différentes fibres (DVB/CAR/PDMS, PDMS, etc.)	Esters, alcools, acides volatils, monoterpènes	Oui – très courant, notamment HS
<b>SBSE</b> (Stir Bar Sorptive Extraction)	Extraction par absorption sur une barre (revêtement plus épais que SPME)	Très sensible, bonne répétabilité, adaptée aux ultra-traces	Nécessite des équipements spécifiques, désorption thermique	HSSE (headspace), revêtements PDMS	Ultra-traces : lactones, norisoprénoides, thiols	Oui – pour l'analyse d'ultra-traces et profils complexes
<b>LLE</b> (Liquid-Liquid Extraction)	Extraction liquide-liquide par solvant organique non miscible	Bonne sensibilité pour matrices simples, possibilité d'analyser un grand volume	Coextraction, pics de solvant, faible sélectivité	LLCE (extraction continue), LLE classique	Composés volatils globaux, esters, alcools	Oui – utilisé surtout pour matrices simples ou prétraitées
<b>SD</b> (Steam Distillation)	Volatilisation des composés par entraînement à la vapeur d'eau	Adaptée aux matrices complexes, méthode traditionnelle	Dégradation thermique, artefacts analytiques	Hydrodistillation, entraînement à la vapeur modifié	Molécules volatiles thermorésistantes	Oui – en extraction préliminaire ou en recherche historique
<b>SFE</b> (Supercritical Fluid Extraction)	Extraction avec du CO <sub>2</sub> en phase supercritique	Extraction propre, pas de solvant organique, bon pour composés non polaires	Peu adapté aux composés polaires, matériel coûteux	SFE-CO <sub>2</sub> avec co-solvants, température/pression modulée	Composés peu polaires, liés à la matrice	Oui – mais peu courant à cause de la polarité des composés
<b>MASE</b> (Membrane-Assisted Solvent Extraction)	Extraction par solvant assistée par membrane polymère	Bon enrichissement, automatisable, efficace pour ciblage spécifique	Peu adapté à l'analyse globale (non ciblée)	MASE robotisé, couplage GC-ECD ou GC-MS	Monoterpènes, norisoprénoides (volatilomique ciblée)	Oui – pour les ciblage spécifiques comme les terpènes
<b>SPE</b> (Solid Phase Extraction)	Passage d'un grand volume d'échantillon à travers une cartouche contenant un sorbant ; les analytes sont ensuite élués avec un solvant	Permet de traiter de grands volumes, bonne sélectivité selon le sorbant utilisé, compatible avec matrices complexes	Utilisation de solvants, étapes multiples, risque de perte d'analytes	Cartouches C18, polymères, formats miniaturisés	Large gamme selon le sorbant : alcools, esters, acides, phénols...	Oui – utilisé pour matrices complexes avec optimisation

### ***b) Méthode d'acquisition des données : séparation - détection***

En œnologie analytique, la chromatographie en phase gazeuse (GC), couplée à différents types de détecteurs, reste à ce jour la méthode de référence pour l'analyse des composés volatils (Plutowska et al., 2007; Câmara et al., 2024). On distingue notamment :

- **GC-FID** : chromatographie en phase gazeuse et détecteur à ionisation de flamme, largement utilisé pour obtenir un aromagramme complet du produit analysé.
- **GC-MS** : la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse permet une identification précise et une quantification des composés volatils.
- **GC-O** : la détection olfactométrique permet d'identifier les composés réellement actifs sur le plan sensoriel parmi l'ensemble des composés détectés, soit une analyse sensorielle semi-quantitative.

D'autres techniques de spectrométrie de masse, non couplées à la GC, permettent une analyse approfondie de certains composés (García-Estévez et al., 2024) :

- **ESI-MS** (ionisation par électrospray) : adaptée à l'identification et à la quantification de composés spécifiques comme les flavonoïdes.
- **MLADI-TOF** : permet l'analyse direct de mélanges complexes sans nécessiter de séparation préalable.

Ces méthodes d'analyses non-chromatographiques sont des approches innovantes qui connaissent un essor croissant. Contrairement aux méthodes chromatographiques, elles permettent une analyse rapide des profils olfactifs globaux. L'information recueillie n'est pas liée à l'impact isolé de molécules spécifiques, mais à la résultante des interactions globales entre composés, à l'image du fonctionnement du nez humain (Plutowska et al., 2007). Toutefois, leur sensibilité demeure limitée, vu les interférences générées par la complexité des matrices ou la présence de composés tels que l'éthanol, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ou la vapeur d'eau. Ainsi, l'analyse de matrices telles que les boissons alcoolisées nécessite souvent un prétraitement adapté (Plutowska et al., 2007).

## D. Préférence des consommateurs

L'introduction de cépages résistants représente une avancée agronomique majeure, répondant aux enjeux environnementaux et économiques liés à la réduction des traitements phytosanitaires. Toutefois, cette opportunité s'accompagne de défis importants sur le plan œnologique. Ces cépages, souvent issus de croisements complexes, sont très diversifiés et se caractérisent par une forte plasticité œnologique<sup>9</sup> (Révion et al., 2022), ce qui complique leur caractérisation sensorielle ainsi que leur valorisation commerciale. Si leur résistance aux maladies constitue un atout technique indéniable, elle ne suffit pas à garantir leur acceptation par le marché (Révion et al., 2022). En effet, la qualité gustative et aromatique reste un critère central dans la décision d'achat des consommateurs (Delteil, 2000; Révion et al., 2022).

---

<sup>9</sup> Capacité d'un cépage à produire des vins aux profils sensoriels variés selon les conditions de culture (climat, sol) et les pratiques de vinification (Révion et al., 2022a).

Traditionnellement, l'évaluation sensorielle des vins repose sur l'expertise d'œnologues ou de panels professionnels. Cependant, les préférences des experts ne reflètent pas toujours celles des consommateurs (Francis et al., 2015). Dans un marché saturé et en mutation, il devient crucial de développer des approches orientées vers le consommateur. Comprendre les préférences réelles du public, à travers des tests sensoriels adaptés, apparaît dès lors comme une condition essentielle pour assurer le succès commercial de ces nouveaux cépages (Palczak, n.d.). Dans le secteur vitivinicole, la majorité des études se concentre sur les facteurs d'amélioration direct de la qualité du produit (Francis et al., 2015). Mais peu d'entre elles s'intéressent aux réponses hédoniques et aux attentes sensorielles des consommateurs (Delteil, 2000).

## 1. Les attributs déterminants dans l'acceptation des vin par les consommateurs

Les attentes du consommateurs et son comportement d'achat varient fortement en fonction des zones géographiques (Lockshin et al., 2012a). Globalement, les attributs majeurs pour le consommateur sont les suivants: la provenance géographique, le cépage, le prix, la marque et les caractéristiques sensorielles (Borrello et al., 2021b). Les cépages résistants possèdent des caractéristiques distinctes des cépages classiques (valeurs écologique, économique, innovant). Selon Nesselhauf et al. (2019) des facteurs d'influence important sont le prix, la familiarité avec le cépage, ainsi que la réduction des pesticides et des émissions de carbone (Nesselhauf et al., 2019). Si les considérations de durabilité gagnent en importance, elles ne suffisent pas à elles seules à assurer l'adhésion du public. Encore peu présent sur le marché et ne représentant qu'environ 6% des surfaces viticoles mondiales, les cépages résistants restent largement méconnus des consommateurs (Bavaresco, 2018; Borrello et al., 2021b). Leur développement sensoriel qualitatif est relativement récent (Pedneault et al., 2016), tout comme la prise en compte de la durabilité comme critère d'achat (Lockshin et al., 2012b; Pedneault et al., 2016)(Lockshin et al., 2012b). Cette méconnaissance constitue un frein important à leur appréciation, malgré leurs avantages techniques et environnementaux. A cela s'ajoute l'attachement persistant des consommateurs à des repères traditionnels, qu'il s'agisse de cépages *V. vinifera* ou de profils aromatiques classiques. Certains consommateurs privilégient ces vins pour des raisons culturelles ou gustatives, indépendamment de leur qualité objective (Borrello et al., 2021a). Les experts eux-mêmes tendent à valoriser des arômes proches des cépages traditionnels, qui servent encore souvent de référence dans les dégustations (Mackie-

Haas et al., 2022). Si plusieurs études ont établi des liens entre préférences hédoniques et attributs sensoriels, leur application aux cépages résistants reste limitée (Borrello et al., 2021a).

Concernant les caractéristiques sensorielles, certaines tendances d'appréciation se dégagent : pour les vins blancs, une acidité modérée et une certaine douceur sont souvent recherchées ; pour les rouges, des arômes de fruits rouges, une bonne rondeur et un équilibre gustatif (caractérisé par une faible amertume et une acidité modérée) sont plutôt valorisés (Francis et al., 2015). À l'inverse, les notes soufrées, les arômes d'oxydation ou les perceptions végétales trop marquées sont perçus comme des défauts ou des signes de moindre qualité. Si ces préférences sensorielles sont cruciales, elles interagissent aussi avec des critères extrinsèques comme la marque, le prix ou les avis d'experts, qui influencent la décision d'achat (Delteil, 2000; Francis et al., 2015).

## 2. Intérêt des tests hédoniques sur le consommateur dans la filière vitivinicole

Les données commerciales, comme les volumes de vente, fournissent des indications globales sur l'appréciation des vins, mais n'identifient pas précisément les attributs sensoriels responsables de leur adhésion ou de leur rejet (Francis et al., 2015). Pour mieux répondre aux attentes du marché, il est donc nécessaire de compléter ces données par des analyses sensorielles ciblées. L'association d'une analyse sensorielle descriptive, réalisée par un panel formé, avec des tests hédoniques auprès des consommateurs, permet de caractériser objectivement les attributs des vins tout en mesurant leur acceptation réelle. Cette approche croisée est désormais considérée comme une méthode de référence en recherche sensorielle alimentaire, car elle révèle les caractéristiques sensorielles réellement déterminantes pour le consommateur (Francis et al., 2015; Chaya et al., 2024). Malgré son intérêt, peu de producteurs mettent en œuvre des tests sensoriels formels, et encore moins des tests auprès de consommateurs, notamment en raison de contraintes logistiques et économiques (Francis et al., 2015).

## 3. Influence de l'information sur l'appréciation d'un produit

Les consommateurs sont aujourd'hui confrontés à une profusion de signaux lors de leurs décisions d'achat, qu'il s'agisse d'étiquettes, de labels ou encore de marques. Toutefois, ces informations ne sont pas toujours traitées de manière rationnelle ou exhaustive. Il devient donc essentiel de comprendre comment les consommateurs perçoivent et valorisent à la fois les attributs sensoriels et les informations extrinsèques comme les étiquettes, dans leurs choix de

consommation (Combris et al., 2009). L'un des moyens d'évaluer ces préférences est le consentement à payer (Willingness To Pay, WTP), qui détermine la valeur monétaire que les consommateurs attribuent à certaines caractéristiques d'un produit (Combris et al., 2009). Dans ce cadre, l'information joue un rôle capital : elle influence la perception et les choix grâce à des dimensions spécifiques comme le goût, l'origine, les bénéfices pour la santé ou l'impact environnemental. Certaines études montrent que les consommateurs peinent à accepter les cépages résistants sur la seule base de leurs propriétés organoleptiques. Leur disposition à payer pour ces vins est généralement inférieure à celle observée pour des vins issus de cépages traditionnels, considérés comme plus qualitatifs (Fuentes Espinoza et al., 2018). Si la communication met l'accent sur les bénéfices environnementaux et sanitaires liés à ces cépages, la perception des consommateurs évolue positivement pour les placer d'un point de vue qualitatif au-dessus de vins traditionnels (Fuentes Espinoza et al., 2018). Cela prouve que l'apport d'information sur un produit augmente sa valeur de marché.

### III. Objectifs

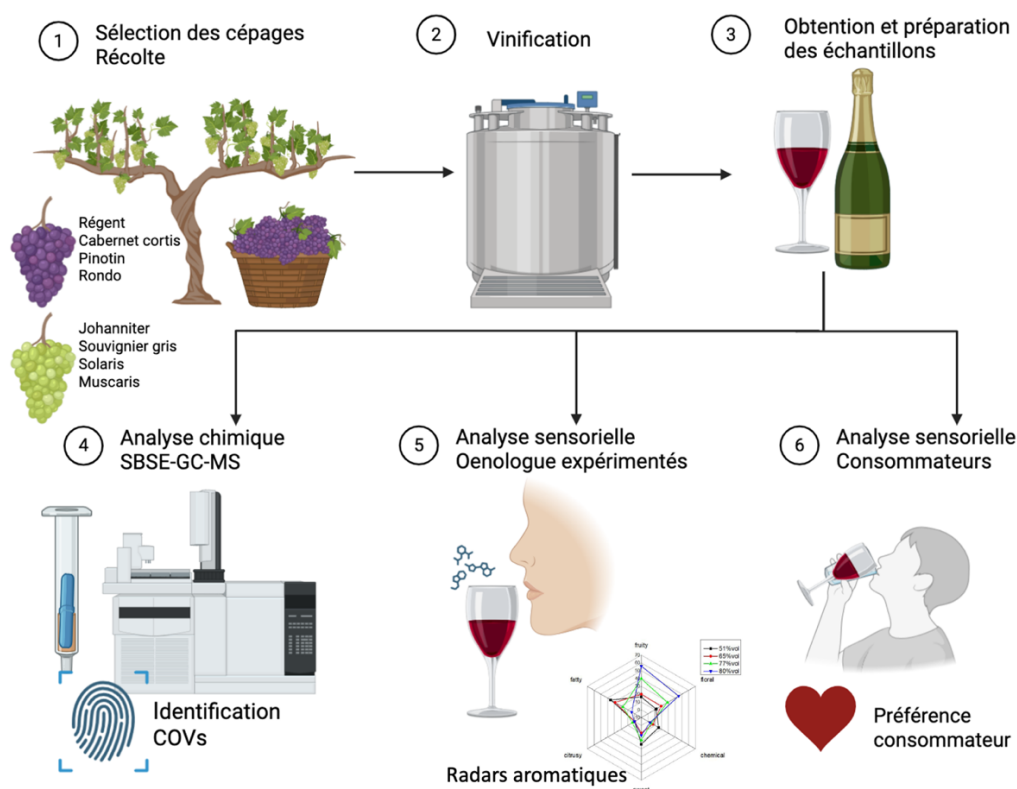
---

Dans un contexte où la filière viticole évolue sous la pression des enjeux environnementaux, les cépages résistants apparaissent comme une alternative prometteuse. Pourtant, jugés davantage sur leur histoire que sur leur qualité réelle ils souffrent d'une image négative auprès de certains acteurs du secteur. Pourtant, les nouvelles générations allient performance agronomique et qualité œnologique.

De nombreuses pistes de valorisation existent : avantages agronomiques, proximité génétique avec les cépages traditionnels et potentiel œnologique. Cependant, la complexité de la caractérisation aromatique du vin, ainsi que la subjectivité de sa perception, rendent difficile une évaluation objective de sa qualité. Ce qui explique en partie pourquoi, à ce jour, aucune étude ne s'est intéressée à l'impact de la connaissance du profil aromatique des cépages résistants sur la perception des consommateurs, un angle d'approche inédit exploré dans ce travail. En mobilisant des méthodes d'analyse chimique et sensorielle, il devient possible de mieux comprendre et valoriser les profils aromatiques de ces vins. C'est dans cette optique que s'inscrit cette étude, dont l'objectif est de caractériser les profils aromatiques des vins issus de cépages résistants, de concevoir un outil visuel, et d'en mesurer l'impact sur les préférences des consommateurs.

Le premier objectif de cette étude est l'obtention des échantillons de vin. Pour ce faire, huit cépages résistants ont été sélectionnés : quatre blancs (Johanniter, Sauvignier gris, Solaris, Muscaris) et quatre rouges (Régent, Cabernet cortis, Pinotin, Rondo). Après la récolte manuelle des raisins, la vinification et la mise en bouteilles ont été réalisées. Cet objectif a permis d'obtenir des vins issus du même terroir, avec une vinification standard et identique pour tous, ce qui limite la variation aux seuls cépages. Le second objectif est la caractérisation des composés organiques volatils (COV), responsables des arômes. Pour cela, les échantillons ont été soumis à une analyse chimique par SBSE-GC-MS. Le troisième objectif est de caractériser la flaveur des vins, c'est-à-dire la perception humaine du profil aromatique. Pour cela, une analyse sensorielle menée par un panel d'œnologues expérimentés a été effectuée, et des radars aromatiques ont été élaborés. Le dernier objectif est d'intégrer ces radars à une étude auprès d'un panel de consommateurs naïfs, afin d'évaluer l'influence de la connaissance du profil aromatique sur les préférences exprimées et de mieux comprendre l'intérêt des supports visuels dans la valorisation de ces cépages.

La **Figure 10** reprend et illustre les objectifs de ce travail.



**Figure 10** : Schéma récapitulatif des objectifs du travail : de la récolte de huit cépages résistants à leur caractérisation chimique et sensorielle, jusqu'à l'analyse des préférences consommateurs à l'aide de supports visuels. Illustration réalisée à l'aide de BioRender.

## IV. Matériel et méthodes

---

### A. Production des échantillons

Le raisin provient du vignoble expérimental du CARAH<sup>10</sup> et les vinifications ont eu lieu dans le hall de fermentation de la Haute École Provinciale de Hainaut Condorcet à Ath.

#### 1. Sélection des cépages

Huit cépages interspécifiques (4 blancs : Johanniter, Solaris, Souvignier gris, Muscaris ; 4 rouges : Régent, Cabernet Cortis, Pinotin, Rondo) ont été sélectionnés sur base de leur superficie cultivée en 2023 en Belgique (**Tableau 6**) et de leur présence dans le vignoble expérimental du CARAH à Ath.

**Tableau 6** : Critères de sélections des cépages résistants : leur superficie et leur production en Belgique en 2023 (données empruntées du CARAH).

Nom	Hectare (ha)	Production (hl)
Johanniter	35,58	2435,45
Solaris	21,63	878,99
Souvignier Gris	15,86	1385,84
Muscaris	11,78	865,58
Régent	7,64	417,62
Cabernet Cortis	6,59	310,39
Pinotin	6,1	210,75
Rondo	2,38	141,26

#### 2. Méthode de vinification

Une méthode de vinification standardisée et validée par le CARAH a été utilisée afin de caractériser le profil aromatique des cépages résistants. Chaque cépage a été vinifié individuellement (monocépage) en micro-vinification (petites quantités) dans des cuves en acier Inox SPEIDEL de 50L thermorégulées à chapeau flottant. Les étapes de la vinification sont présentées à la **Figure 11**. Le **Tableau 7** reprend les caractéristiques des levures utilisées.

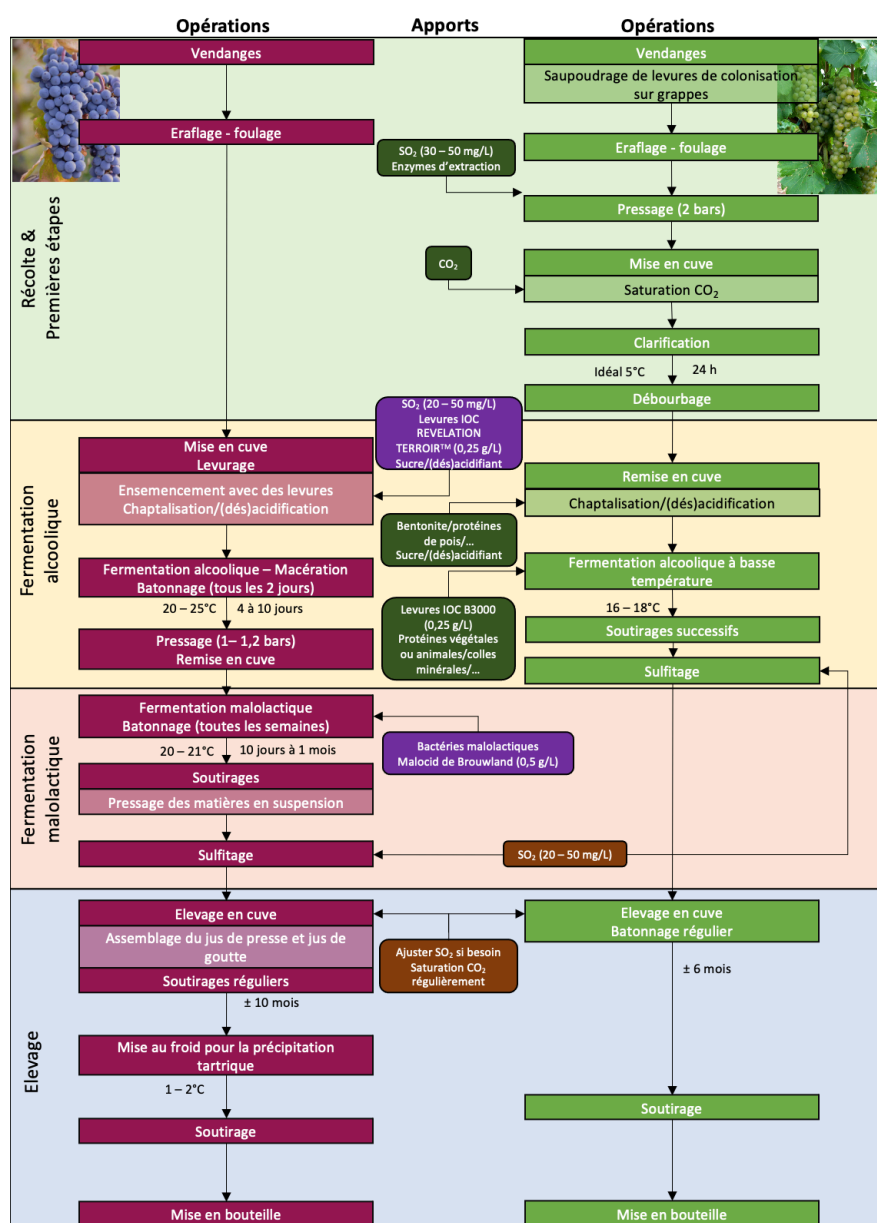
---

<sup>10</sup> Centre pour l’Agronomie et l’Agro-Industrie de la Province de Hainaut



**Tableau 7 :** Caractéristiques œnologiques des souches de levures utilisées dans ce travail (Institut Oenologique de Champagne IOC, n.d., n.d.).

Levures	Type vin	Caractéristiques	Espèce	Besoins en azote	Production glycérol	Production d'acidité volatile
IOC REVELATION TERROIR™	Rouge	Préserve la couleur, arômes fruités variétaux (framboise, groseille, mûre), finesse	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Élevés	Modérée	Faible à modérée
IOC B 3000	Blanc	Notes de fruits jaunes et de fleurs, volume en bouche	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Modérés	Modérée	Faible



**Figure 11 :** Schéma des méthodes de vinification utilisées. La partie de gauche (encadrés bordeaux) illustre la vinification des vins rouges, la droite (encadrés verts) celle des vins blancs. Les apports communs aux deux procédés sont indiqués au centre en brun, ceux spécifiques aux vins rouges et blancs sont représentés respectivement en mauve et en vert foncé.

Illustration originale, basée sur le travail du CARAH.

### 3. Embouteillage et conservation

Les échantillons ont été conditionnés dans des bouteilles en verre teinté de 33 cl, un format choisi pour limiter les pertes lors des analyses en petit volume et faciliter la gestion des quantités disponibles. Les bouteilles ont été stockées en cave pendant 3 mois avant analyse, afin de permettre la stabilisation et la restructuration du vin en vue de la dégustation.

## B. Analyse des composés volatils

Les composés organiques volatils (COV) responsables du profil aromatique ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), après une extraction par SBSE (Stir Bar Sorptive Extraction). Cette méthode a été choisie pour sa sensibilité, sa capacité de concentration des composés à très faible concentration, et pour des raisons pratiques liées à la disponibilité du matériel et à la maîtrise de la technique par le laboratoire.

### 1. Méthodologie SBSE-GC-MS

L'extraction SBSE utilise des barreaux magnétiques recouverts de PDMS (polydiméthylsiloxane). Ceux-ci ont été conditionnés avant extraction dans un mélange acétonitrile/eau (1:1, v/v) pendant 2 heures à 700 tr/min, puis rincés, séchés et chauffés à 250°C sous flux d'azote pendant 2 heures. L'extraction a été réalisée dans des flacons en verre borosilicaté de 15 mL contenant 10 mL d'eau déionisée, 0,5 mL de vin et, pour un des trois triplicats, 5 µL d'une solution de 2-octanol (500 mg/L) servant d'étalon interne. Pour les deux autres répétitions, l'ajout de 2-octanol est remplacé par 5 µL d'eau distillée. Les barreaux PDMS, immergés dans le mélange, ont été agités à 1200 tr/min pendant 1 heure à température ambiante. A la fin de l'extraction, les barreaux ont été rincés, séchés et transférés dans un tube de désorption thermique pour analyse GC-MS. Les analyses ont été réalisées à l'aide d'une colonne chromatographique HP-5MS (30 m x 250 µm x 0,25 µm). Le programme de température débutait à 40°C, avec une montée de 5°C/min jusqu'à 300°C. Une série d'alcane linéaires (C8 à C20) a été injectée dans les mêmes conditions chromatographiques pour permettre le calcul des indices de rétention (RI) de Kovats.

## 2. Identification, validation et quantification des composés

L'identification des COV a été réalisée à l'aide du logiciel MassHunter Unknowns Analysis (Agilent Technologies), par combinaison automatique des spectres expérimentaux avec ceux de la bibliothèque NIST 17. Un protocole de validation a été mis en place : (1) seuls les composés avec un facteur de correspondance (match factor) supérieur ou égal à 90 ont été retenus ; (2) les spectres ont été comparés à un échantillon blanc (barreau vierge) afin d'exclure les contaminants ou artefacts instrumentaux ; (3) la cohérence chimique et œnologique des molécules conservées a été vérifiée manuellement à l'aide des bases de données NIST Webbook, PubChem et de la littérature spécialisée ; (4) les RI expérimentaux ont été comparés aux valeurs théoriques, et seuls les composés dont l'écart ( $\Delta RI$ ) était inférieur à 20 unités ont été conservés. Par la suite, une vérification manuelle au cas par cas a été appliquée pour retenir les composés avec un match factor inférieur à 90 mais pertinents.

La mesure semi-quantitative des COV a été réalisée à partir des échantillons contenant l'étalon interne (2-octanol), selon la formule :

$$C = \frac{A_C}{A_{EI}} \times C_{EI}$$

où C est le composé,  $A_C$  est l'aire du pic du composé,  $A_{EI}$  celle du 2-octanol, et  $C_{EI}$  sa concentration connue. Cette approche suppose un facteur de réponse relatif (RRF) proche de 1, ce qui, malgré une incertitude variable selon les familles chimiques, est suffisant pour un profilage aromatique comparatif et exploratoire. Cette stratégie d'ajout unique d'étalon vise à limiter les interférences tout en assurant une correction partielle des variations liées à l'extraction SBSE. Les deux autres triplicats, sans étalon, ont été utilisés à des fins qualitatives ou comparatives, avec des critères d'identification légèrement moins strictes (match factor  $\geq 80$ ).

### 3. Construction des graphiques des OAV des différents vins produits

L'identification des différents COV et leur quantification a permis de déterminer les OAV des différentes molécules identifiées dans les vins. Ces OAV correspondent à :

$$OAV = \frac{\text{Seuil de perception du composé } (\mu\text{g/L})}{\text{Concentration du composé } (\mu\text{g/L})}$$

- Si  $OAV > 1$  alors la molécule est potentiellement perceptible ;
- Si  $OAV < 1$  alors la molécule est à priori non perçue seule.

### C. Analyse sensorielle descriptive

Un panel de cinq œnologues professionnels de l'Union des Œnologues de Belgique a été réuni à la cave à vin « Chemin des Vignes » (Bruxelles) pour réaliser une analyse sensorielle descriptive des vins (**Figure 12**).



*Figure 12 : Photo des cinq œnologues professionnels prise durant l'analyse sensorielle réalisée à Bruxelles à la cave à vin "Chemin des Vignes".*

## 1. Conditions expérimentales

Aucune information sur les cépages n'a été communiquée aux dégustateurs pour limiter les biais. Deux bouteilles par vin ont été sorties de la cave. La première a été ouverte et évaluée rapidement. En cas de détection d'un défaut (vin bouchonné, oxydé, etc.), une seconde bouteille était ouverte pour déterminer si le défaut provenait du vin lui-même ou simplement de la bouteille. Si le défaut était confirmé sur la seconde bouteille, le vin était analysé comme tel.

Chaque œnologue d'abord a noté individuellement les arômes perçus. Une liste commune de 3 à 7 attributs a ensuite été établie par consensus, à partir des fréquences de citation. Pour chaque attribut sélectionné, les intensités ont ensuite été notées individuellement sur une échelle de 1 (peu perceptible) à 5 (très intense), lors d'une seconde dégustation.

## 2. Traitement des données sensorielles

Les radars aromatiques ont été construits sur Excel. Pour chaque vin, la moyenne des intensités attribuées à chaque descripteur par les œnologues a été calculée. Ces moyennes ont servi à tracer les profils sensoriels sous forme de graphiques radars, destinés à la comparaison visuelle des arômes perçus entre échantillon.

## D. Approche consommateur

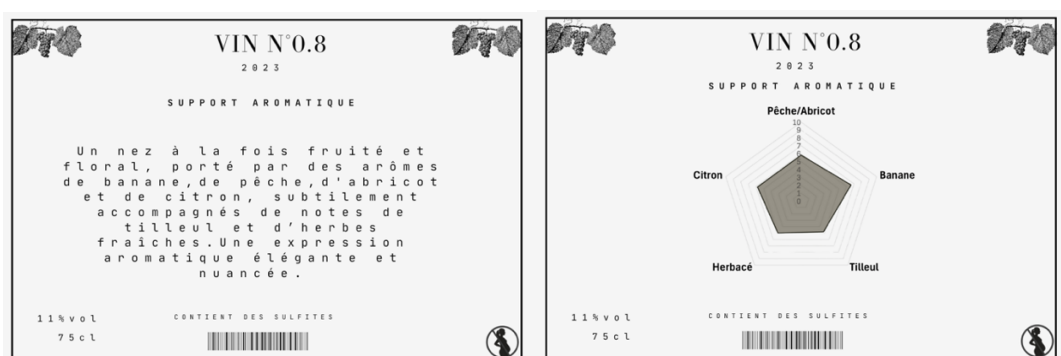
L'étude visait à évaluer l'impact de la forme de communication du profil aromatique sur la préférence des consommateurs. Deux supports sensoriels ont été comparés : un texte narratif marketing (modalité texte) et un radar aromatique graphique (modalité radar), contre une condition témoin sans information (modalité témoin). Des fiches spécifiques ont été préparées selon la modalité, par vin, intégrant soit la description textuelle, soit le radar aromatique, ou aucun support en condition témoin. Les supports utilisées pour l'expérimentation se trouvent en **Annexes 12 – 17**.

Six vins (trois blancs : Johanniter, Sauvignier gris, Muscaris et trois rouges : Rondo, Cabernet cortis, Pinotin) ont été dégustés en sessions à groupes indépendants. Chaque session regroupait jusqu'à 10 participants non experts, recrutés par invitation électronique ( $n = 61$ ). Chaque participant a été exposé à une seule modalité (témoin, texte ou radar). La dégustation à l'aveugle commençait par les vins blancs et s'enchainait sur les rouges, avec un ordre aléatoire au sein de chaque types de vin. Il était servi à raison de 30 mL par échantillon à températures

recommandées (blancs : 10 – 12°C, rouge : 16 – 18°C). Ils étaient tous ouverts pour leur oxygénation 30 minutes avant la dégustation.

Les sessions suivaient un protocole standardisé : (1) accueil et anonymisation ; (2) présentation de la méthode ; (3) observation du support sensoriel (1 à 2 minutes), (4) dégustation successive des vins, (5) remplissage des fiches d'évaluation incluant, questions socio-démographiques, échelle hédonique, description aromatique et intention d'achat (**Annexes 10 – 11**). Le matériel comprenait des verres INAO, crachoirs, eau minérale et biscuits neutre.

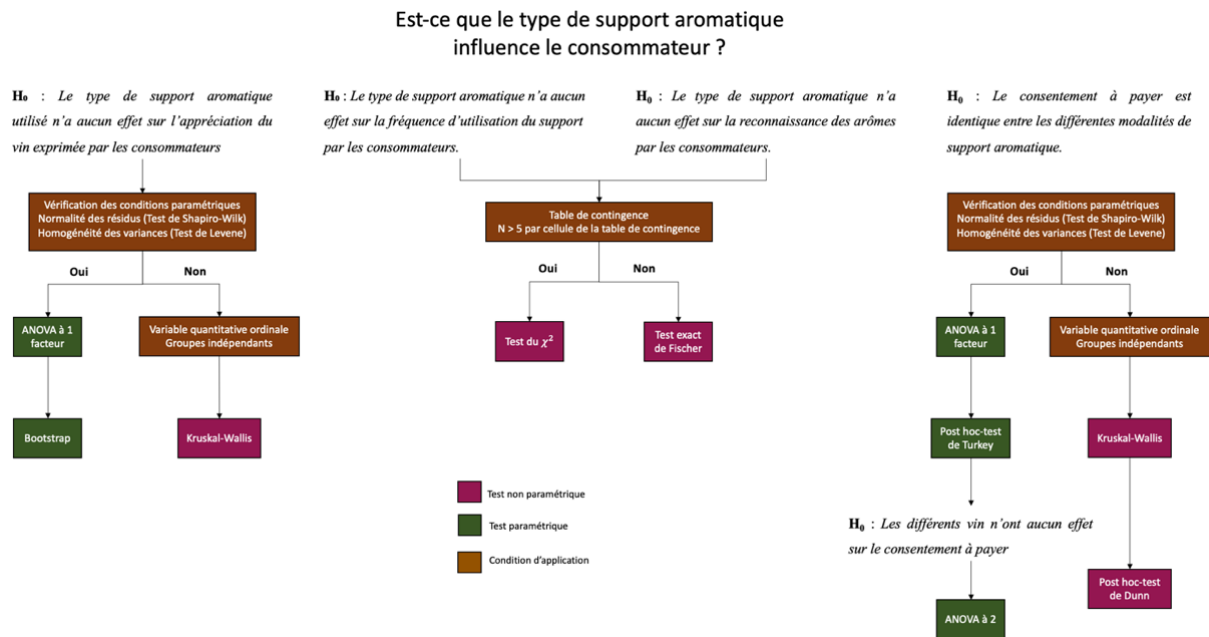
A titre indicatif, la **Figure 13** illustre les supports aromatiques réalisés pour les deux modalités (texte et radar).



**Figure 13** : Exemple de support aromatique pour la modalité texte (à gauche) et radar (à droite) pour le vin Sauvignier gris.

## E. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R-Studio, en utilisant des tests paramétriques et non paramétriques selon les conditions d'application, ainsi que des représentations graphiques pour visualiser les résultats. Une clé dichotomique (**Figure 14**) a été élaborée pour orienter le choix des statistiques.



**Figure 14 :** Organigramme des méthodes statistiques utilisées, permettant, de répondre à quatre hypothèses nulles de gauche à droite : 1) Le type de support aromatique utilisé n'a aucun effet sur l'appréciation du vin exprimée par les consommateurs ; 2) Le type de support aromatique n'a aucun effet sur la fréquence d'utilisation du support par les consommateurs ; 3) Le type de support aromatique n'a aucun effet sur la reconnaissance des arômes par les consommateurs ; 4) Le consentement à payer est identique entre les différentes modalités de support aromatique. Le code couleur indique le type de test utilisé, en brun les conditions d'application, en mauve les test non-paramétriques, en vert les test paramétriques.

## V. Résultats et discussion

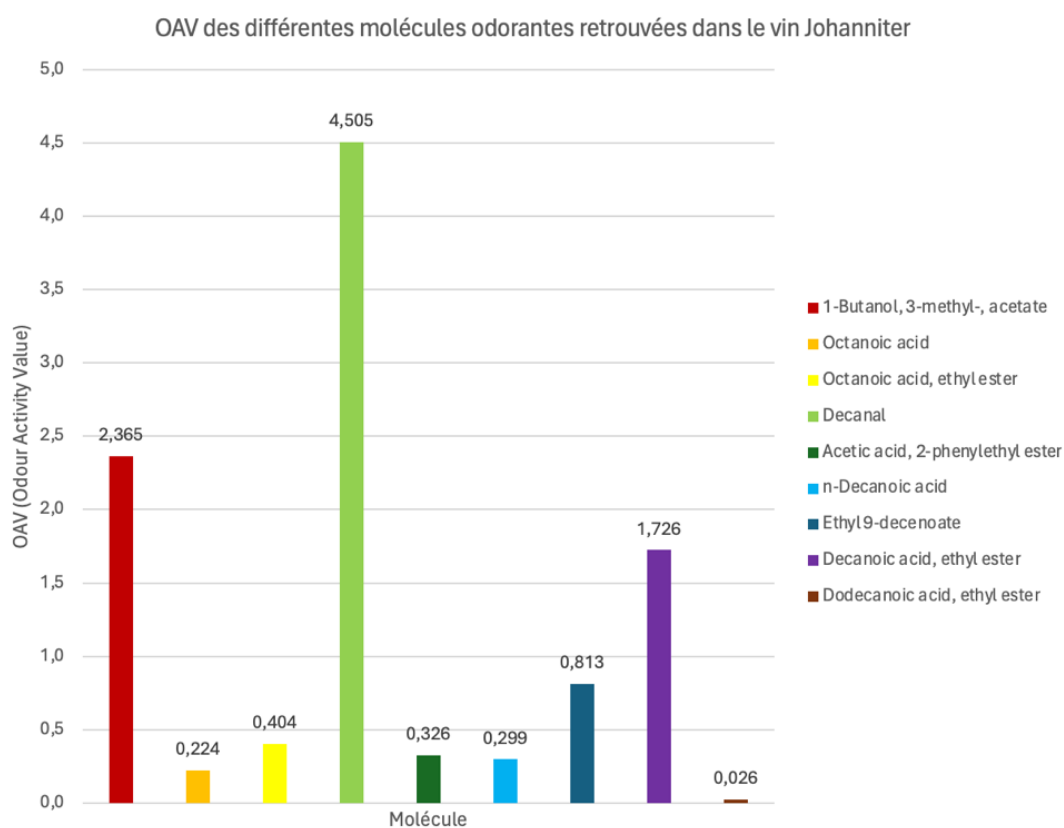
### A. Analyse chimique

L'ensemble des résultats suivants, issus de l'analyse des COV des différents cépages, est présenté afin d'illustrer leur pertinence au regard des paramètres retenus. Leur interprétation et leur discussion figurent dans la section "Interprétation des résultats et discussion".

## 1. Analyse du cépage résistant Johanniter

**Tableau 8 :** Tableau récapitulatif des composés volatils identifiés dans le vin issu du cépage résistant Johanniter. Pour chaque composé, sont indiqués : le temps de rétention, le numéro CAS, le pourcentage de correspondance avec la base de données spectrale, le pourcentage de surface relative (Area%), l'aire du pic, l'indice de rétention de Kovats calculé, le décalage par rapport à la valeur de référence (delta RI), le seuil de perception olfactive théorique (en µg/L), le descripteur aromatique associé, et la concentration estimée (en µg/L) (Lambrechts et al., 2000; Li et al., 2013; Welke et al., 2014; Zhao, Wu, et al., 2019).

Temps de rétention	Nom	N°CAS	Pourcentage de correspondance	Area%	Aires du pic	Kovats calculé	Kovats théorique	delta RI	Seuil de perception théorique (µg L <sup>-1</sup> )	Descripteur aromatique	Concentration (µg L <sup>-1</sup> )
0,99	1-Butanol, 3-méthyl-, acetate	123-92-2	94,40	2,55	19416073,70	880,00	876,00	4,00	30	Banane, fruité, sucré	70,95
15,85	Octanoic acid	124-07-2	95,90	4,02	30656378,70	1182,00	1178,95	3,05	500	Gras, rance, amande	112,02
16,32	Octanoic acid, ethyl ester	106-32-1	98,40	8,41	64144515,90	1199,00	1195,00	4,00	580	Sucré, fruité, poire	234,39
16,54	Decanal	112-31-2	92,00	1,62	12328065,40	1207,00	1204,90	2,10	10	Herbacé, orange, cuir	45,05
18,04	Acetic acid, 2-phenylethyl ester	103-45-7	94,80	2,92	22307556,60	1261,00	1256,00	5,00	250	Floral	81,51
21,11	n-Decanoic acid	334-48-5	95,80	10,74	81947450,50	1376,00	1377,00	1,00	1000	Gras, rance	299,45
21,48	Ethyl 9-decenoate	67233-91-4	91,30	2,92	22238025,60	1390,00	1387,20	2,80	100	Rose	81,26
21,68	Decanoic acid, ethyl ester	110-38-3	98,40	12,38	94465994,40	1398,00	1397,00	1,00	200	Fruité, raisin	345,19
26,51	Dodecanoic acid, ethyl ester	106-33-2	93,20	1,42	10852586,10	1597,00	1597,00	0,00	1500	Sucré, floral, crémeux	38,66
31,15	n-Hexadecanoic acid	57-10-3	88,40	4,02	30637920,60	1966,00	1972,00	6,00	e = 10000	Marin, gras, fruité	111,96



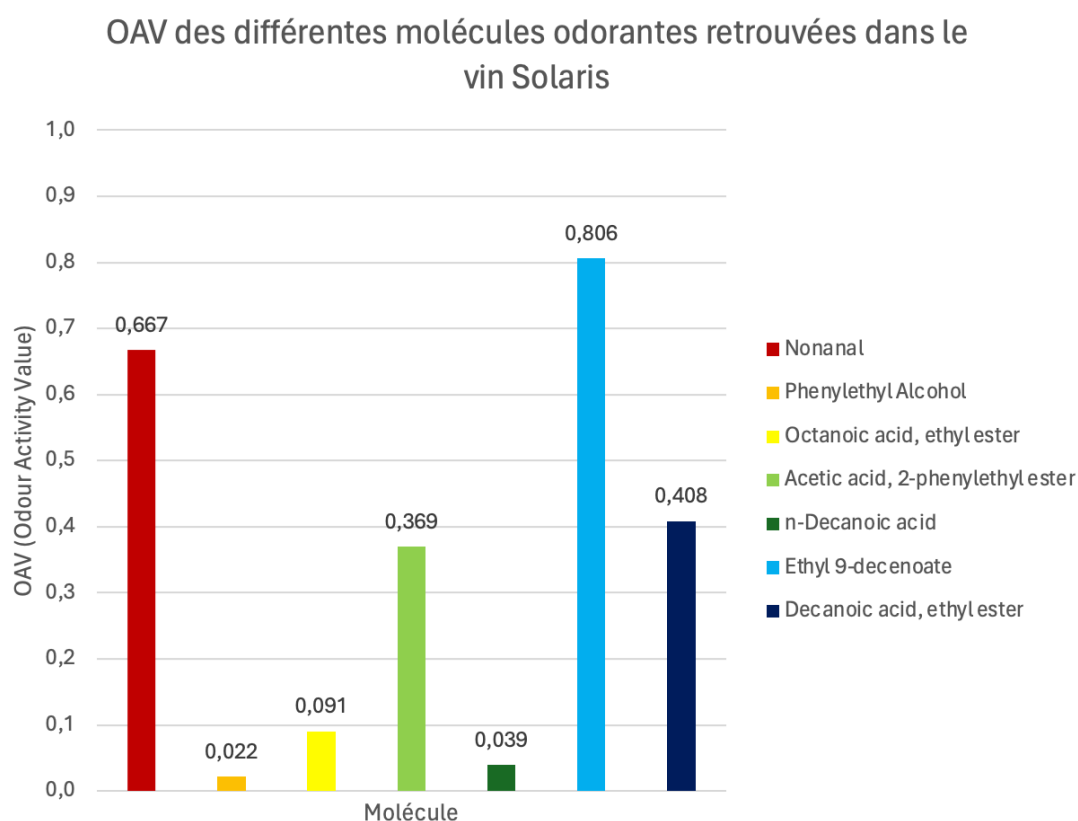
**Figure 15 :** Graphique des OAV (Odour Activity Values) des différentes molécules identifiées dans le vin issu du cépage résistant Johanniter. Les molécules indiquées de haut en bas dans la légende à droite correspondent respectivement aux barres du graphique de gauche à droite. Une OAV supérieure à 1 indique que la concentration du composé dépasse son seuil de perception, et qu'il est donc potentiellement détectable par les sens humains.



## 2. Analyse du cépage résistant Solaris

**Tableau 9** : Tableau récapitulatif des composés volatils identifiés dans le vin issu du cépage résistant Solaris. Pour chaque composé, sont indiqués : le temps de rétention, le numéro CAS, le pourcentage de correspondance avec la base de données spectrale, le pourcentage de surface relative (Area%), l'aire du pic, l'indice de rétention de Kovats calculé, le décalage par rapport à la valeur de référence (delta RI), le seuil de perception olfactive théorique (en µg/L), le descripteur aromatique associé, et la concentration estimée (en µg/L) (Lambrechts et al., 2000; Li et al., 2013; Welke et al., 2014; Zhao, Wu, et al., 2019).

Temps de rétention	Nom	N°CAS	Pourcentage de correspondance	Area%	Aires du pic	Kovats calculé	Kovats théorique	delta RI	Seuil de perception théorique (µg L <sup>-1</sup> )	Descripteur aromatique	Concentration (µg L <sup>-1</sup> )
13,63	Nonanal	124-19-6	80,70	0,31	1455382,90	1106,00	1105,00	1,00	15	Citron, floral	10,01
13,92	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	94,90	9,31	44217814,20	1115,00	1115,00	0,00	14000	Rose, mielleux	304,13
16,34	Octanoic acid, ethyl ester	106-32-1	92,90	1,61	7648799,30	1199,00	1195,00	4,00	580	Sucré, fruité, poire	52,61
18,06	Acetic acid, 2-phenylethyl ester	103-45-7	89,70	2,83	13429721,00	1262,00	1256,00	6,00	250	Floral	92,37
21,26	n-Decanoic acid	334-48-5	84,50	1,21	5731278,10	1381,00	1377,00	4,00	1000	Gras, rance	39,42
21,52	Ethyl 9-decenoate	67233-91-4	93,50	2,47	11715547,20	1391,00	1387,20	3,80	100	Rose	80,58
21,71	Decanoic acid, ethyl ester	110-38-3	89,10	2,50	11870297,70	1399,00	1397,00	2,00	200	Fruité, raisin	81,65

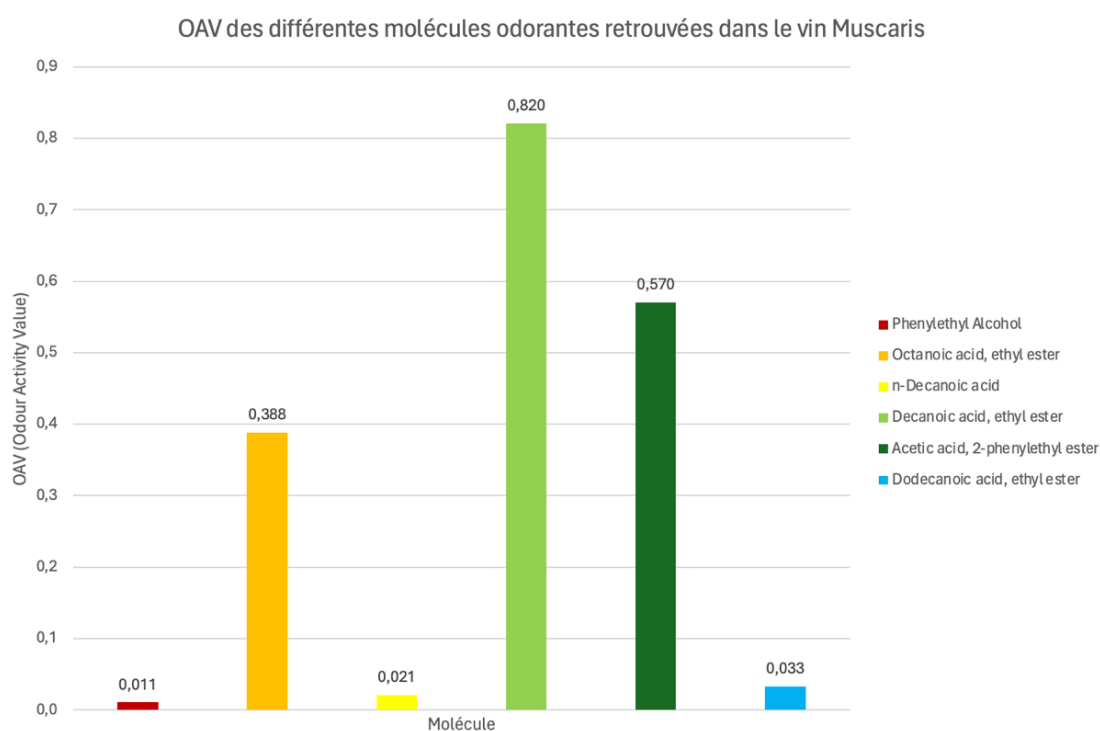


**Figure 16** : Graphique des OAV (Odour Activity Values) des différentes molécules identifiées dans le vin issu du cépage résistant Solaris. Les molécules indiquées de haut en bas dans la légende à droite correspondent respectivement aux barres du graphique de gauche à droite. Une OAV supérieure à 1 indique que la concentration du composé dépasse son seuil de perception, et qu'il est donc potentiellement détectable par les sens humains.

### 3. Analyse du cépage résistant Muscaris

**Tableau 10 :** Tableau récapitulatif des composés volatils identifiés dans le vin issu du cépage résistant Muscaris. Pour chaque composé, sont indiqués : le temps de rétention, le numéro CAS, le pourcentage de correspondance avec la base de données spectrale, le pourcentage de surface relative (Area%), l'aire du pic, l'indice de rétention de Kovats calculé, le décalage par rapport à la valeur de référence (delta RI), le seuil de perception olfactive théorique (en µg/L), le descripteur aromatique associé, et la concentration estimée (en µg/L) (Lambrechts et al., 2000; Li et al., 2013; Welke et al., 2014; Zhao, Wu, et al., 2019).

Temps de rétention	Nom	N°CAS	Pourcentage de correspondance	Area%	Aires du pic	Kovats calculé	Kovats théorique	delta RI	Seuil de perception théorique (µg L <sup>-1</sup> )	Descripteur aromatique	Concentration (µg L <sup>-1</sup> )
14,14	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	93,4	6,741	31896988,5	1123	1115	8,00	14000	Rose, mielleux	149,23
16,34	Octanoic acid, ethyl ester	106-32-1	98	10,162	48081915,4	1199	1195	4,00	580	Sucré, fruité, poire, ananas	224,95
21,21	n-Decanoic acid	334-48-5	91,6	0,933	4413462,4	1379	1377	2,00	1000	Gras, rance	20,65
21,70	Decanoic acid, ethyl ester	110-38-3	97,9	7,412	35069347,1	1398	1397	1,00	200	Fruité, raisin	164,07
18,08	Acetic acid, 2-phenylethyl ester	103-45-7	94,2	6,44	30470897,6	1262	1256	6,00	250	Floral	142,56
26,52	Dodecanoic acid, ethyl ester	106-33-2	93,4	2,216	10487170,5	1597	1597	0,00	1500	Sucré, floral, doux, crémeux	49,06



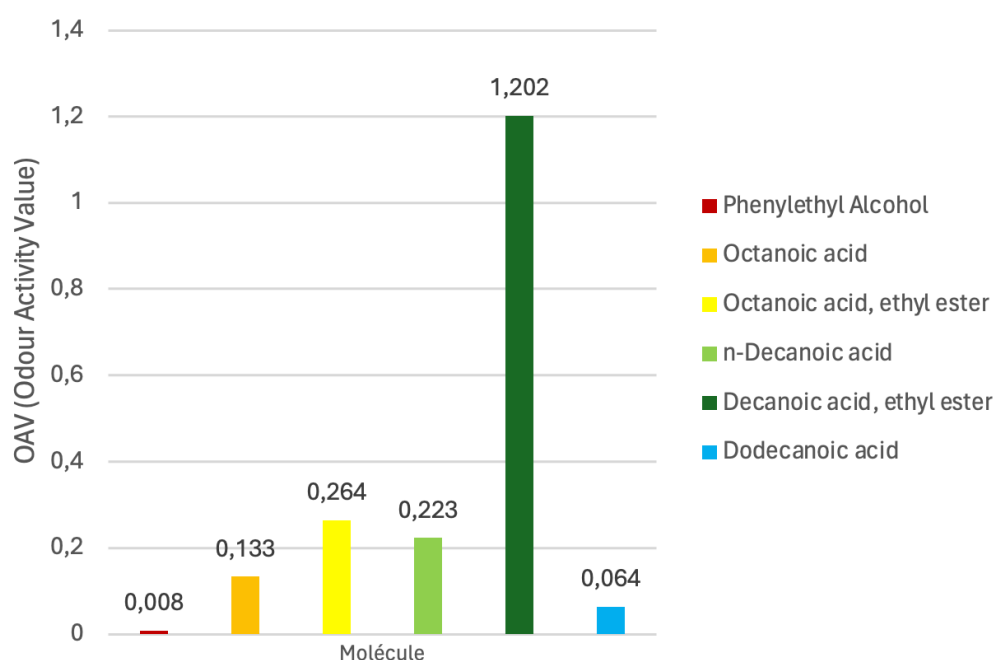
**Figure 17 :** Graphique des OAV (Odour Activity Values) des différentes molécules identifiées dans le vin issu du cépage résistant Muscaris. Les molécules indiquées de haut en bas dans la légende à droite correspondent respectivement aux barres du graphique de gauche à droite. Une OAV supérieure à 1 indique que la concentration du composé dépasse son seuil de perception, et qu'il est donc potentiellement détectable par les sens humains.

## 4. Analyse du cépage résistant Régent

**Tableau 11** : Tableau récapitulatif des composés volatils identifiés dans le vin issu du cépage résistant Régent. Pour chaque composé, sont indiqués : le temps de rétention, le numéro CAS, le pourcentage de correspondance avec la base de données spectrale, le pourcentage de surface relative (Area%), l'aire du pic, l'indice de rétention de Kovats calculé, le décalage par rapport à la valeur de référence (delta RI), le seuil de perception olfactive théorique (en µg/L), le descripteur aromatique associé, et la concentration estimée (en µg/L) (Lambrechts et al., 2000; Li et al., 2013; Welke et al., 2014; EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids (CEP) et al., 2020).

Temps de rétention	Nom	N°CAS	Pourcentage de correspondance	Area%	Aires du pic	Kovats calculé	Kovats théorique	delta RI	Seuil de perception théorique (µg L <sup>-1</sup> )	Descripteur aromatique	Concentration (µg L <sup>-1</sup> )
13,92	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	87,60	0,85	9699291,00	1116,00	1115,00	1,00	14000	Rose, mielleux	116,94
15,79	Octanoic acid	124-07-2	87,80	0,48	5505765,00	1180,00	1178,95	1,05	500	Gras, rance, amande	66,38
16,33	Octanoic acid, ethyl ester	106-32-1	96,90	1,11	12678543,40	1199,00	1195,00	4,00	580	Sucré, fruité, poire	152,86
21,12	n-Decanoic acid	334-48-5	93,20	1,62	18454871,70	1376,00	1377,00	1,00	1000	Gras, rance	222,51
21,68	Decanoic acid, ethyl ester	110-38-3	97,60	1,75	19934661,40	1398,00	1397,00	1,00	200	Fruité, raisin	240,35
25,82	Dodecanoic acid	143-07-7	85,30	0,46	5273571,90	1568,00	1569,50	1,50	1000	Métallique, sec	63,58
30,21	Tetradecanoic acid	544-63-8	95,00	2,78	31677481,30	1766,00	1783,50	17,50	e= 10000	Marin, gras, fromage	381,93
31,15	n-Hexadecanoic acid	57-10-3	96,00	16,99	193435509,00	1970,00	1972,00	2,00	e=10000	Marin, gras, fruité	2332,20
31,15	Oleic Acid	112-80-1	87,40	2,04	23258426,00	2141,00	2141,00	0,00	-	Plastique, alcooléux, terreux	280,42
31,15	Palmitoleic acid	373-49-9	95,10	6,84	77896422,70	1947,00	-	-	-	-	939,17

OAV des différentes molécules odorantes retrouvées dans le vin Régent

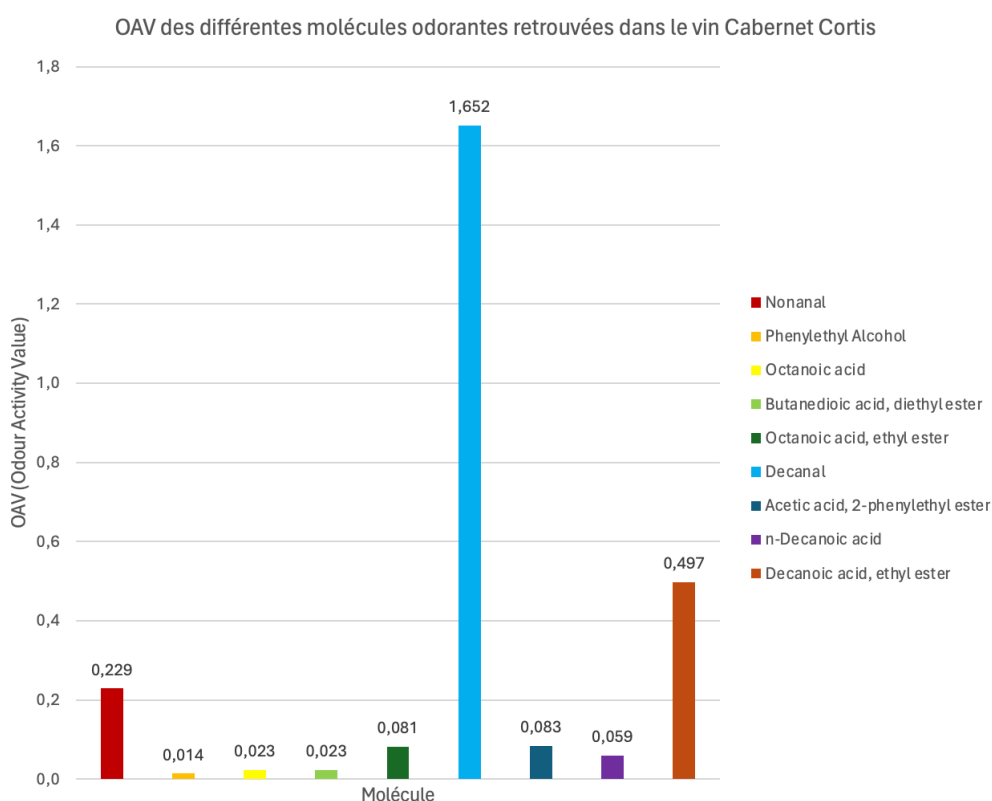


**Figure 18** : Graphique des OAV (Odour Activity Values) des différentes molécules identifiées dans le vin issu du cépage résistant Régent. Les molécules indiquées de haut en bas dans la légende à droite correspondent respectivement aux barres du graphique de gauche à droite. Une OAV supérieure à 1 indique que la concentration du composé dépasse son seuil de perception, et qu'il est donc potentiellement détectable par les sens humains.

## 5. Analyse du cépage résistant Cabernet Cortis

**Tableau 12 :** Tableau récapitulatif des composés volatils identifiés dans le vin issu du cépage résistant Cabernet Cortis. Pour chaque composé, sont indiqués : le temps de rétention, le numéro CAS, le pourcentage de correspondance avec la base de données spectrale, le pourcentage de surface relative (Area%), l'aire du pic, l'indice de rétention de Kovats calculé, le décalage par rapport à la valeur de référence (delta RI), le seuil de perception olfactive théorique (en µg/L), le descripteur aromatique associé, et la concentration estimée (en µg/L) (Lambrechts et al., 2000; Li et al., 2013; Welke et al., 2014; Zhao, Wu, et al., 2019).

Temps de rétention	Nom	N°CAS	Pourcentage de correspondance	Area%	Aires du pic	Kovats calculé	Kovats théorique	delta RI	Seuil de perception théorique (µg L <sup>-1</sup> )	Descripteur aromatique	Concentration (µg L <sup>-1</sup> )
13,62	Nonanal	124-19-6	80,80	0,25	1282698,30	1105,00	1105,00	0,00	15	Citron, floral	3,43
13,90	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	92,60	14,25	72585198,90	1115,00	1115,00	0,00	14000	Rose, mielleux	194,35
15,76	Octanoic acid	124-07-2	83,80	0,83	4242236,70	1179,00	1178,95	0,05	500	Gras, rance	11,36
15,96	Butanedioic acid, diethyl ester	123-25-1	83,20	2,01	10222213,50	1186,00	1182,00	4,00	1200	Fruité	27,37
16,33	Octanoic acid, ethyl ester	106-32-1	96,30	3,44	17525215,70	1199,00	1195,00	4,00	580	Sucré, fruité, poire	46,92
16,56	Decanal	112-31-2	84,00	1,21	6171740,60	1207,00	1204,90	2,10	10	Herbacé, orange, cuir	16,52
18,06	Acetic acid, 2-phenylethyl ester	103-45-7	80,90	1,53	7769525,50	1262,00	1256,00	6,00	250	Floral	20,80
21,20	n-Decanoic acid	334-48-5	88,30	4,33	22023380,10	1379,00	1377,00	2,00	1000	Gras, rance	58,97
21,69	Decanoic acid, ethyl ester	110-38-3	97,20	7,29	37146733,10	1398,00	1397,00	1,00	200	Fruité, raisin	99,46

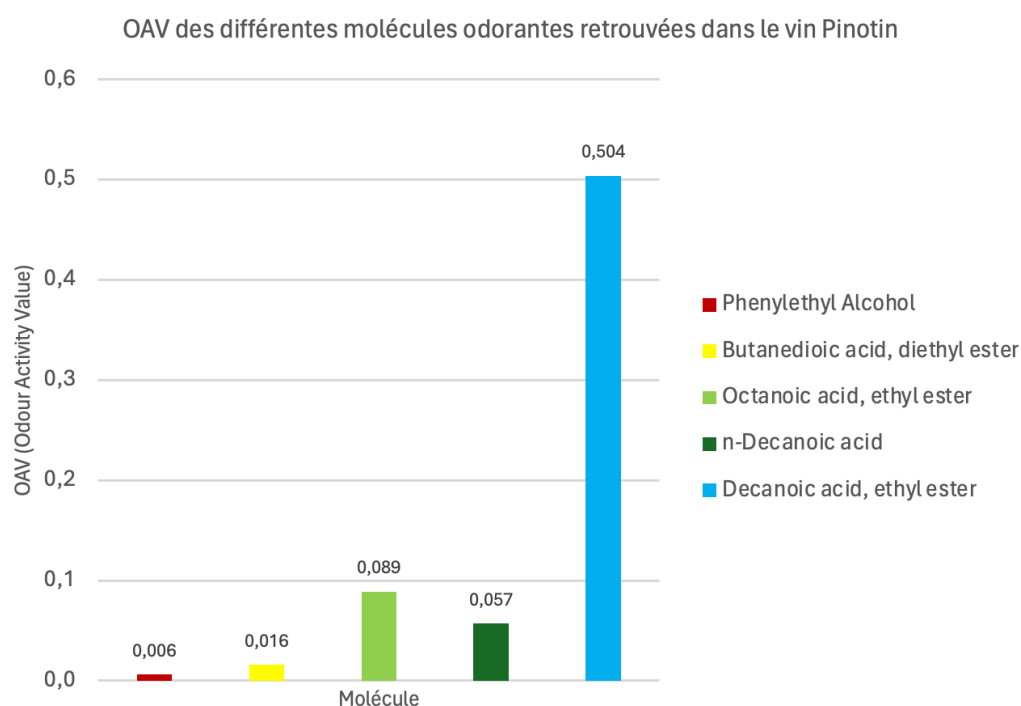


**Figure 19 :** Graphique des OAV (Odour Activity Values) des différentes molécules identifiées dans le vin issu du cépage résistant Cabernet Cortis. Les molécules indiquées de haut en bas dans la légende à droite correspondent respectivement aux barres du graphique de gauche à droite. Une OAV supérieure à 1 indique que la concentration du composé dépasse son seuil de perception, et qu'il est donc potentiellement détectable par les sens humains.

## 6. Analyse du cépage résistant Pinotin

**Tableau 13 :** Tableau récapitulatif des composés volatils identifiés dans le vin issu du cépage résistant Pinotin. Pour chaque composé, sont indiqués : le temps de rétention, le numéro CAS, le pourcentage de correspondance avec la base de données spectrale, le pourcentage de surface relative (Area%), l'aire du pic, l'indice de rétention de Kovats calculé, le décalage par rapport à la valeur de référence (delta RI), le seuil de perception olfactive théorique (en µg/L), le descripteur aromatique associé, et la concentration estimée (en µg/L) (Welke et al., 2014; Zhao, Wu, et al., 2019; Rao et al., 2023).

Temps de rétention	Nom	N°CAS	Pourcentage de correspondance	Area%	Aires du pic	Kovats calculé	Kovats théorique	delta RI	Seuil de perception théorique (µg/L-1)	Descripteur aromatique	Concentration (µg/L-1)
13,92	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	94,20	4,65	30955993,50	1116,00	1115,00	1,00	14000	Rose, mielleux	90,09
15,90	Butanedioic acid, diethyl ester	123-25-1	90,00	0,99	6576894,40	1184,00	1182,00	2,00	1200	Fruité, fruits sec	19,14
16,33	Octanoic acid, ethyl ester	106-32-1	97,50	2,65	17639493,90	1199,00	1195,00	4,00	580	Sucré, fuité, poire	51,34
21,15	n-Decanoic acid	334-48-5	93,20	2,93	19529221,90	1377,00	1377,00	0,00	1000	Gras, rance	56,84
21,69	Decanoic acid, ethyl ester	110-38-3	96,90	5,19	34604567,20	1398,00	1397,00	1,00	200	Fruité, raisin	100,71
22,58	Butanedioic acid, ethyl 3-methylbutyl ester	28024-16-0	83,20	0,37	2474093,40	1434,00	1432,60	1,40	-	Jujube	7,20

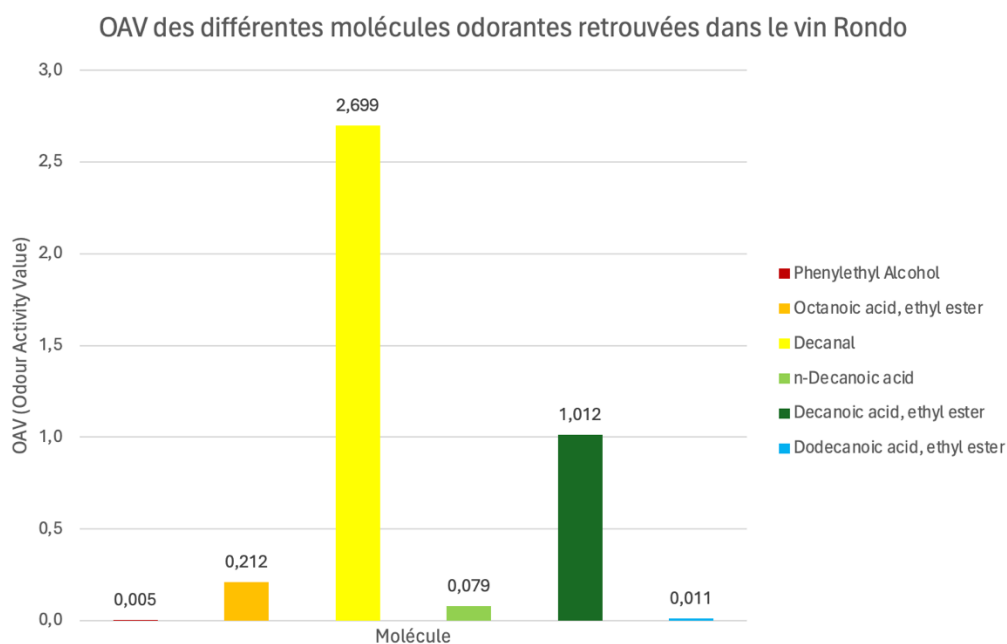


**Figure 20 :** Graphique des OAV (Odour Activity Values) des différentes molécules identifiées dans le vin issu du cépage résistant Pinotin. Les molécules indiquées de haut en bas dans la légende à droite correspondent respectivement aux barres du graphique de gauche à droite. Une OAV supérieure à 1 indique que la concentration du composé dépasse son seuil de perception, et qu'il est donc potentiellement détectable par les sens humains.

## 7. Analyse du cépage résistant Rondo

**Tableau 14 :** Tableau récapitulatif des composés volatils identifiés dans le vin issu du cépage résistant Rondo. Pour chaque composé, sont indiqués : le temps de rétention, le numéro CAS, le pourcentage de correspondance avec la base de données spectrale, le pourcentage de surface relative (Area%), l'aire du pic, l'indice de rétention de Kovats calculé, le décalage par rapport à la valeur de référence (delta RI), le seuil de perception olfactive théorique (en µg/L), le descripteur aromatique associé, et la concentration estimée (en µg/L) (Lambrechts et al., 2000; Li et al., 2013; Welke et al., 2014; Zhao, Wu, et al., 2019).

Temps de rétention	Nom	N°CAS	Pourcentage de correspondance	Area%	Aires du pic	Kovats calculé	Kovats théorique	delta RI	Seuil de perception théorique (µg L <sup>-1</sup> )	Descripteur aromatique	Concentration (µg L <sup>-1</sup> )
14,08	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	85,60	2,04	11572800,50	1121,00	1115,00	6,00	14000	Rose, mielleux	65,42
16,34	Octanoic acid, ethyl ester	106-32-1	97,20	3,84	21787756,10	1199,00	1195,00	4,00	580	Sucré, fruité, poire	123,17
16,57	Decanal	112-31-2	88,60	0,84	4774435,20	1208,00	1204,90	3,10	10	Herbacé, orange, cuir	26,99
21,16	n-Decanoic acid	334-48-5	93,00	2,46	13988877,50	1378,00	1377,00	1,00	1000	Gras, rance	79,08
21,70	Decanoic acid, ethyl ester	110-38-3	97,90	6,30	35803331,80	1398,00	1397,00	1,00	200	Fruité, raisin	202,40
26,53	Dodecanoic acid, ethyl ester	106-33-2	83,90	0,53	2986965,60	1598,00	1597,00	1,00	1500	Sucré, floral, crémeux	16,89
30,19	Tetradecanoic acid	544-63-8	82,00	0,56	3181125,00	1765,00	1783,50	18,50	e = 10000	Marin, gras, fromage	17,98
31,15	n-Hexadecanoic acid	57-10-3	91,10	11,61	65928911,40	1965,00	1972,00	7,00	e = 10000	Marin, gras, fruité	372,70



**Figure 21 :** Graphique des OAV (Odour Activity Values) des différentes molécules identifiées dans le vin issu du cépage résistant Rondo. Les molécules indiquées de haut en bas dans la légende à droite correspondent respectivement aux barres du graphique de gauche à droite. Une OAV supérieure à 1 indique que la concentration du composé dépasse son seuil de perception, et qu'il est donc potentiellement détectable par les sens humains.

## 8. Interprétation des résultats et discussion

**Tableau 15 :** Concentration relative ( $\mu\text{g/L}$ ) des composés volatils détectés par SBSE-CG-MS dans les sept cépages (Johanniter, Muscaris, Solaris, Rondo, Régent, Pinotin, Cabernet Cortis), classés par famille chimique. La concentration relative de chaque composé est représentée par un gradient de couleur allant du vert clair (valeur la plus faible) au rouge (valeur la plus élevée), en passant par du jaune et du orange.

		Johanniter	Muscaris	Solaris	Rondo	Régent	Pinotin	Cabernet Cortis
alcool	Phenylethyl Alcohol	-	149,23	304,13	65,42	116,94	90,09	194,35
Ester	Octanoic acid, ethyl ester	234,39	224,95	52,61	123,17	152,86	51,34	46,92
	1-Butanol, 3-methyl-, acetate	70,95	-	-	-	-	-	-
	Acetic acid, 2-phenylethyl ester	81,51	142,56	92,37	-	-	-	20,80
	Decanoic acid, ethyl ester	345,19	164,07	81,65	202,4	240,35	100,71	99,46
	Ethyl 9-decenoate	81,26	-	80,58	-	-	-	-
	Dodecanoic acid, ethyl ester	39,66	49,06	-	16,89	-	-	-
	Butanedioic acid, diethyl ester	-	-	-	-	-	19,14	27,37
	Butanedioic acid, ethyl 3-methylbutyl ester	-	-	-	-	-	7,20	-
Acide	n-Decanoic acid	299,45	20,65	39,42	79,08	222,51	56,84	58,97
	Tetradecanoic acid	-	-	-	17,98	381,93	-	-
	n-Hexadecanoic acid	111,96	-	-	372,70	2332,20	-	-
	Octanoic acid	112,02	-	-	-	66,38	-	11,36
	Dodecanoic acid	-	-	-	-	63,58	-	-
	Oleic Acid	-	-	-	-	280,42	-	-
	Palmitoleic acid	-	-	-	-	939,17	-	-
aldéhyde	Nonanal	-	-	10,01	-	-	-	3,43
	Decanal	45,05	-	-	26,99	-	-	16,52

L'analyse des différents cépages a permis d'identifier quatre grandes familles de composés volatils : les alcools, les esters, les acides gras et les aldéhydes. Parmi les alcools, seul le 2-phényléthanol (2-PE) s'est distingué. Présent dans tous les cépages sauf le Johanniter, sa concentration varie de 65 à 304  $\mu\text{g/L}$  selon les vins. Toutefois, son seuil de perception très élevé (14 000  $\mu\text{g/L}$ ) limite considérablement son impact olfactif (Welke et al., 2014). Lorsqu'il est perceptible, il évoque des arômes floraux de rose et des nuances miellées. Ce composé, tout comme son ester associé, le 2-phényléthyl acétate (2-PEA), provient de la L-phénylalanine (L-Phe) (Cordente et al., 2018), un acide aminé peu utilisé par les levures car il n'est pas une source d'azote privilégiée (Dai et al., 2021). Cela explique les faibles concentrations observées, inférieures à celles rapportées dans la littérature (Lei et al., 2025). Le 2-PEA a été détecté dans quelques cépages, avec des valeurs également faibles, et n'est pas systématiquement corrélé à la présence du 2-PE, comme en témoigne le cas du Johanniter où seul le 2-PEA est détecté.

Les esters identifiés, au nombre de huit, comprennent notamment l'éthyl octanoate (octanoic acid, ethyl ester), l'éthyl décanoate (decanoic acid, ethyl ester), l'acétate d'isoamyle (1-butanol, 3-methyl-, acetate) et le diéthyl succinate (butanedioic acid, diethyl ester). Individuellement, leurs concentrations sont inférieures à leurs seuils de perception, parfois élevés. Toutefois, ils jouent un rôle important dans le profil aromatique du vin grâce à leurs effets synergiques, en particulier dans les vins jeunes où ils participent aux arômes fruités (Sumbly et al., 2010). L'acétate d'isoamyle, connu pour ses notes de banane, a été détecté uniquement dans le cépage Johanniter, ce qui est en accord avec la description sensorielle obtenue. À noter que l'acétate d'éthyle, pourtant fréquemment rencontré dans les vins, n'a pas été identifié ici, en raison de l'absence simultanée de ses précurseurs (éthanol et acide acétique).

L'analyse a également permis de détecter sept acides gras à chaîne moyenne ou longue, dont l'acide caprylique, l'acide caprique et l'acide laurique. En faible concentration, ces composés peuvent contribuer positivement à l'équilibre aromatique (Yue et al., 2015). C'est le cas de la majorité des cépages analysés, à l'exception notable du Régent, où l'ensemble des acides gras a été retrouvé à des niveaux relativement élevés. Ce profil pourrait être cohérent avec les impressions de lourdeur notées lors d'une dégustation préliminaire, justifiant son exclusion des tests sensoriels. Les acides caprique et caprylique, quant à eux, sont également des précurseurs d'esters fruités. L'acide caprylique, aux notes d'amande, est retrouvé en quantité notable dans le Johanniter, ce qui renforce les observations sensorielles.

Deux aldéhydes ont été identifiés : le nonanal et le décanal. Le premier, présent en très faibles concentrations, ne dépasse pas son seuil de perception. Le second, en revanche, est détecté à des niveaux bien supérieurs à son seuil (1 µg/L), notamment dans le Johanniter, le Solaris et le Cabernet Cortis. Il est associé à des notes herbacées, d'orange, et parfois de cuir léger, contribuant ainsi au profil sensoriel des vins concernés.

Pour évaluer l'impact réel de ces composés sur l'arôme des vins, les valeurs d'activité odorante (OAV) ont été calculées. Elles montrent que seuls certains cépages présentent des composés au-dessus des seuils de perception. Le Johanniter révèle des notes de banane, de fleurs, d'orange et de cuir ; le Solaris, bien que n'ayant aucun composé dépassant le seuil, suggère des arômes floraux et citronnés ; le Cabernet Cortis et le Rondo contiennent quelques composés perceptibles associés à des notes fruitées et herbacées. En revanche, les cépages Muscaris, Pinotin et Régent montrent peu ou pas de composés au-dessus des seuils. L'analyse chimique partielle, limitée à certaines familles de composés, rends inaccessibles à ce stade la



détermination d'un profil aromatique complet reste difficile. Les OAV, bien qu'imparfaits, permettent toutefois d'identifier certains composés clés. Par ailleurs, les interactions physico-chimiques, notamment les effets synergiques, modulent profil aromatique final.

De manière générale, cette faible diversité en composés aromatique, aussi bien au sein des cépages qu'entre eux, peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Le premier est lié aux conditions du millésime 2024, marqué par des contraintes climatiques ayant retardé les vendanges, sans pour autant permettre d'atteindre pleinement la maturité alcoolique. Ce manque de maturité limite la production de précurseurs aromatiques et de nutriments nécessaires à la fermentation, ce qui réduit la formation de composés volatils. (Zhao, Wu, et al., 2019 ; R et al., 1979) Le deuxième facteur concerne la vinification : un protocole standard a été appliqué à tous les cépages, sans recours à des techniques favorisant l'expression aromatique (ajout d'enzymes, d'acides gras ou choix de levures spécifiques) (Rodríguez-Nogales et al., 2024 ; Hu et al., 2018). Or, il est bien établi que la souche de levure influence fortement le profil sensoriel (Cordente et al., 2018).

Enfin, certaines familles chimiques, pourtant importantes pour le profil aromatique du vin (terpènes, thiols, phénols, etc.), n'ont pas été détectées. Cela s'explique par leur très faible concentration naturelle dans les vins (Zhao, Wu, et al., 2019) et leur sensibilité à la méthode analytique employée. En effet, la technique d'extraction SBSE utilisée favorise les composés apolaires et volatils, mais est moins efficace pour les composés polaires et très volatils (Nogueira, 2012). De plus, une dilution des échantillons par un facteur 20 a été réalisée, réduisant encore les chances de détecter les composés présents à faible concentration.

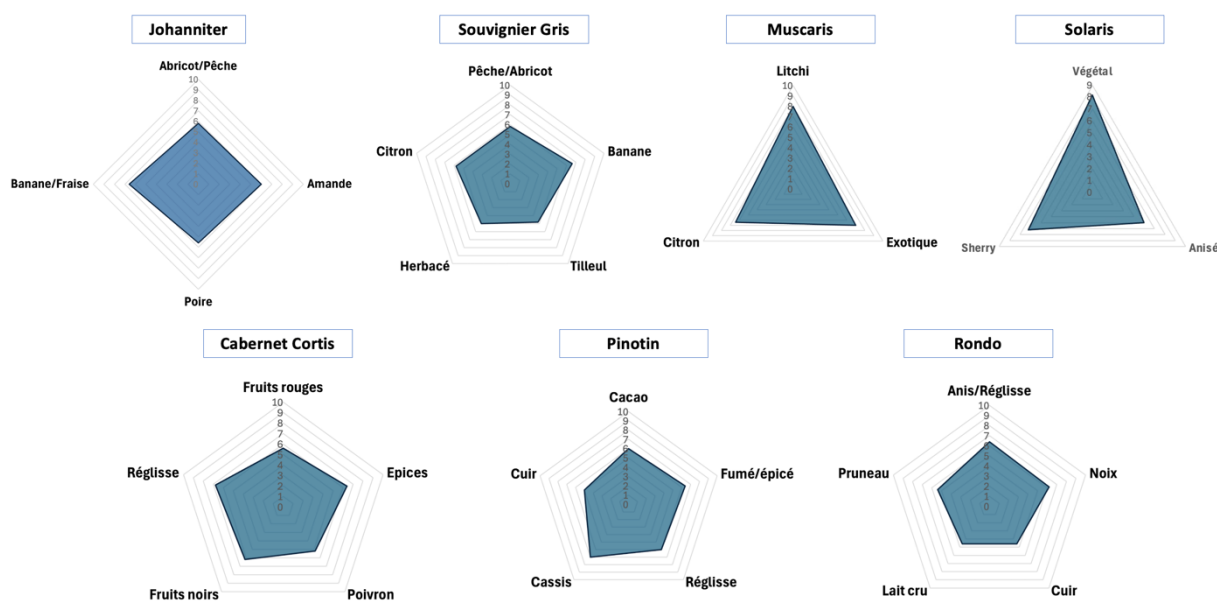
En conclusion, la faible diversité aromatique observée s'explique par une combinaison de facteurs liés à la viticulture, à la vinification, et à la méthode analytique employée. Premièrement, l'impact viti-vinicole avec un millésime peu qualitatif et une vinification standard. Deuxièmement, la faible concentration de certaines familles chimiques, phénomène accentué par la dilution des échantillons. Finalement, la spécificité de la SBSE excluant la grande famille des composés polaires. Malgré ces limites, l'analyse a permis de mettre en évidence certains marqueurs aromatiques pertinents, et d'observer des différences significatives entre cépages.

Pour aller plus loin, une analyse qualitative des molécules détectées dans les échantillons se trouve en **Annexes 3 – 9**.

## B. Analyse sensorielle descriptive

### 1. Résultats de l'analyse sensorielle descriptive

**NB :** Le vin issu du cépage résistant Régent a été exclu des analyses sensorielles descriptives à la suite d'un défaut majeur, en principe dû à la vinification révélé par une analyse préliminaire.



**Figure 22 :** Profils sensoriels des vins issus des cépages résistants Johanniter, Souvignier Gris, Muscaris, Solaris, Cabernet Cortis, Pinotin et Rondo (de gauche à droite et de haut en bas). Digramme radar représentant les intensités moyennes perçues pour chaque descripteur aromatique.

### 2. Interprétation des résultats de l'analyse sensorielle descriptive

Les arômes identifiés par les œnologues se retrouvent dans la littérature. Ainsi, le Johanniter est notamment décrit par des notes d'amande, de pêche et de poire, le Solaris par des arômes de fruits exotiques, le Souvignier Gris par des arômes d'agrumes et de pêche, le Muscaris par des notes d'agrumes et le Cabernet Cortis par des notes de fruits rouges et d'épices (Observatoire national des cépages résistants, 2017. ; Institut Coopératif du Vin [ICV], n.d.). La récurrence de ces arômes dans plusieurs sources suggère qu'ils pourraient constituer les marqueurs variétaux de ces cépages. Ensuite, les vins blancs expriment bien leurs arômes fruités et floraux typiques de leur catégorie (pêche, citron, fruits exotiques, ...), tandis que les vins rouges expriment les notes caractéristiques de fruits rouges, d'épices et animales. La différence de procédés de vinification entre les études peut expliquer la présence d'arômes divergents pour un même cépage, ceux-ci relèveraient alors d'arômes secondaires (Alexi et al., 2015; Zhang et

al., 2015; Patauner et al., 2020; Moser et al., 2023; Leis, Dorothea et al., n.d.). De manière générale, les vins rouges présentent un plus grand nombre de descripteurs que les vins blancs, ce qui peut être interprété comme une complexité aromatique plus élevée. En réalité, cela s'explique en partie par l'omission volontaire de certains descripteurs liés aux défauts du vin. Dégustés après les vins blancs, les vins rouges ont naturellement bénéficié d'une attention accrue portée aux arômes jugés plus attrayants.

Toutefois, la comparaison directe avec la littérature reste biaisée. Les cépages résistants sont issus de croisements et assez peu documentés, différents vins d'un même cépage sont susceptibles d'avoir des profils très variés selon le millésime, le terroir et les pratiques de vinification. Les procédés utilisés dans les études publiées diffèrent de ceux appliqués ici, tant sur le plan technique (vinification, micro-vinification) que méthodologique. Les analyses sensorielles descriptives classiques reposent généralement sur un panel entraîné et une liste prédéfinie de descripteurs, alors que ce travail s'est appuyé sur l'expertise d'œnologues générant librement les descripteurs. Aucun profil sensoriel n'est rapporté dans la littérature pour des vins issus de cépages résistants cultivés en Belgique et produits par micro-vinification.

Les radars aromatiques, élaborés avec l'expertise d'œnologues, synthétisent le profil aromatique des vins issus de cépages résistants. Leur lecture met en évidence des différences marquées entre cépages. En tant qu'outil visuel, ces radars permettent une communication claire auprès des consommateurs, facilitant la compréhension du profil aromatique et potentiellement influençant leur préférence. Cette approche originale veut illustrer, de manière synthétique et adaptée au contexte belge, le potentiel aromatique de cépages encore peu connus, et constitue un outil de communication pertinent pour les acteurs de la filière. Certaines données sont difficilement perceptibles sous forme de tableau ou de texte. Plus le nombre de données et leur variabilité augmentent, plus certains outils comme les graphiques en barres, les textes, les nuages de points ou les diagrammes deviennent complexes et incompréhensibles (Saary, 2008). Les graphiques en radar par contre visualisent les données, comparent aisément plusieurs profils, et sont particulièrement efficaces pour 5 à 7 variables (Kantabutra et al., 2025). Simple à percevoir (Narra et al., 2020), ils sont a priori parfaitement adaptés pour le consommateur.

Pour aller plus loin, des radars aromatiques des goûts du vin et les tableaux reprenant tous les arômes perçus par les œnologues sont consultables en **Annexes 1 – 2**.

## C. Approche consommateur

### 1. Influence du support aromatique sur l'appréciation du vin

L'objectif est de déterminer si le type de support (texte, radar, aucun support) influence significativement l'appréciation des vins par les consommateurs. Pour chaque vin, une question sur l'appréciation générale a été posée (voir formulaire **Annexe 10 – 11**). Les réponses, à choix multiple, allaient de 1 (« je n'ai pas du tout apprécié ») à 7 (« j'ai beaucoup apprécié »). Pour répondre à cette question, l'hypothèse nulle suivante a été formulée :

**H<sub>0</sub>** = Le type de support aromatique utilisé n'a aucun effet sur l'appréciation du vin exprimée par les consommateurs.

**Tableau 16** : Statistiques descriptives de l'appréciation des vins, les moyennes sont calculées pour la totalité des vins par modalité. La variable d'intérêt (appréciation des vins) est numérique (échelle de 1 à 7) et la variable explicative (modalité) a trois niveaux (radar, texte, vide).

Modalité	Moyenne
Radar	4,41
Texte	4,42
Vide	4,43

Les moyennes d'appréciation sont très proches entre les trois modalités : Radar (4,41), Texte (4,42), et sans support (4,43), ce qui tend à suggérer une absence d'effet à ce stade. Les moyennes d'appréciation se situent toutes entre 4 (« je n'ai ni apprécié, ni pas apprécié ») et 5 (« j'ai plutôt apprécié »).

#### a) *Test de Kruskal-Wallis*

**Tableau 17** : Résultat du test de Kruskal-Wallis, test non paramétrique, qui examine plus robustement l'influence du support aromatique sur l'appréciation des vin par les consommateurs.

Test	p-valeur	Conclusion
Kruskal-Wallis	0,968	H <sub>0</sub> non rejetée

Les conditions d'applications de l'ANOVA ne sont que partiellement respecté (voir **annexe 17**). Le test de Kruskal-Wallis, non paramétrique, plus robuste dans cette situation est utilisé. Il confirme ces résultats avec une p-valeur de 0,968, largement supérieur à 0,05 : l'hypothèse nulle n'est pas rejetée. Il n'y a donc pas de différence significative, aucune modalité ne se

démarque statistiquement par une appréciation plus élevée ou plus faible en fonction des trois modalités (texte, radar, vide)

## ***b) Conclusion***

L'ensemble des analyses statistiques (ANOVA, test de Kruskal-Wallis et Bootstrap voir **Annexe 18**) convergent vers une même conclusion : le type de support aromatique n'a pas d'impact significatif sur l'appréciation du vin par les consommateurs. Ce résultat indique que, contrairement à l'attente d'un effet de halo positif<sup>11</sup>, le support visuel (texte ou radar) ne suffit pas à modifier la perception globale du produit. Autrement dit, l'ajout d'un support d'information à propos d'une caractéristique gustative n'entraînerait pas obligatoirement d'amélioration ou de détérioration de l'évaluation sensorielle. Un biais évident apparaît toutefois dans cette expérience : le vin lui-même. Même si certains vins ont plu, ils étaient très différents de ceux du marché et parfois présentaient des défauts majeurs. Dans les conditions contrôlées de l'expérience, la suranalyse d'un produit de qualité réduite est très probable.

Ainsi, la taille limitée de l'échantillon, les conditions de dégustations et l'échantillonnage peu hétérogène (majorité de 25 – 30 ans) invitent à rester prudent dans l'interprétation des résultats.

## **2. Influence du support aromatique sur son utilisation par les consommateurs**

L'objectif est de déterminer si le type de support (radar ou texte) influence la fréquence d'utilisation du support par les consommateurs. Pour cela, les participants ont répondu à une question portant sur l'utilisation du support aromatique (voir **Annexe 11**, question 11) avec comme réponse possible : « oui » ou « non ». L'hypothèse nulle suivante a été formulée.

**H<sub>0</sub>** = Le type de support aromatique n'a aucun effet sur la fréquence d'utilisation du support par les consommateurs.

---

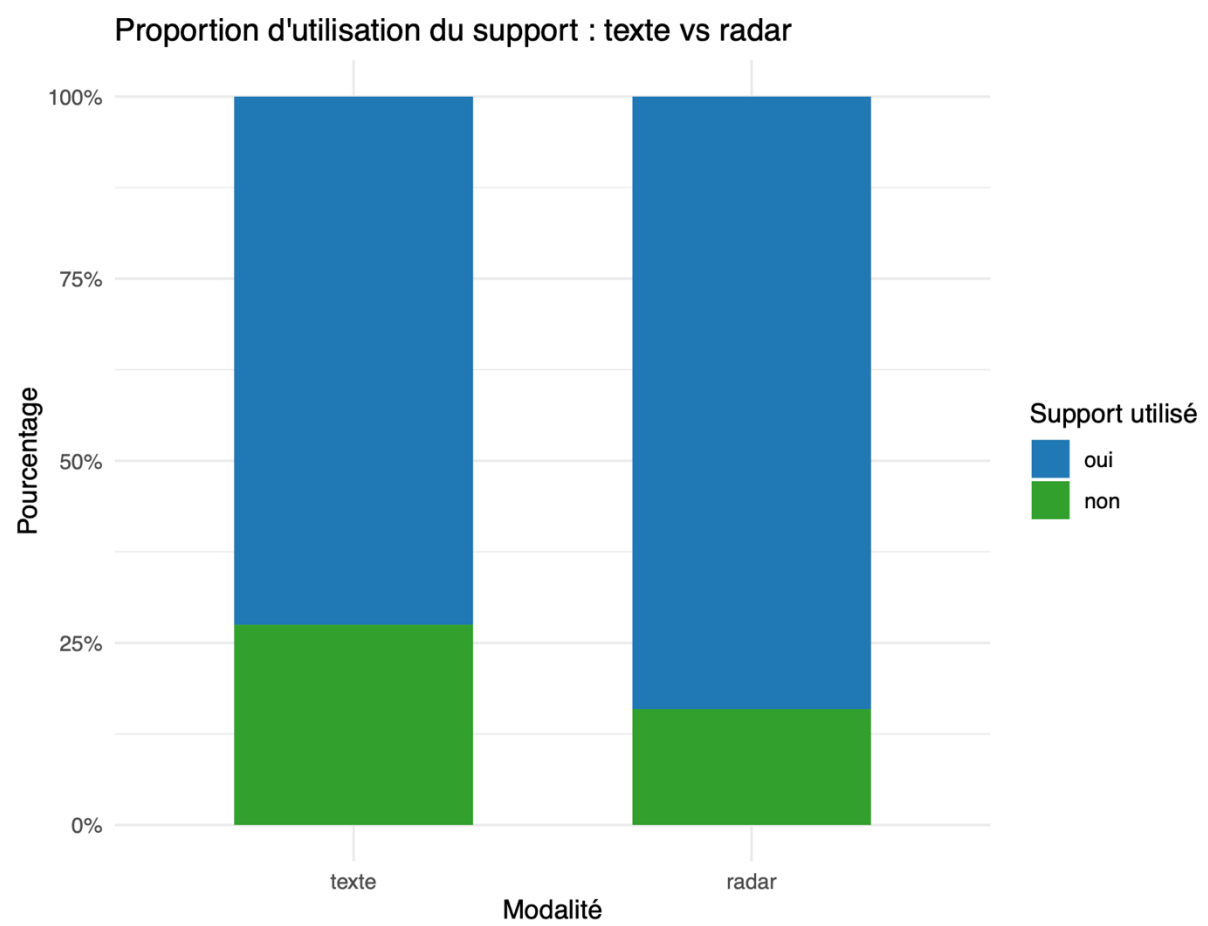
<sup>11</sup> L'effet de halo est un biais cognitif par lequel une impression générale, souvent fondée sur un seul élément, influence la perception globale d'un objet, d'une personne ou d'un produit. Par exemple, un packaging attrayant ou un discours vendeur peut amener un consommateur à juger un produit meilleur au goût, même sans changement de la qualité gustative (Nicolau et al., 2020).

a) *Test  $\chi^2$  d'indépendance*

**Tableau 18** : Table de contingence exprimant les nombres totaux et les pourcentage d'utilisation des supports aromatiques en fonction des deux modalités texte et radar. Vérification des conditions d'application du test  $\chi^2$  : aucun effectif < 1 et pas plus de 20 % des cases avec effectif entre 1 et 5.

Modalité	Oui (n, %)	Non (n, %)	Condition d'application
Texte	87 (72,5%)	33 (27,5%)	Validé
Radar	111 (84,1%)	21 (15,9%)	Validé

La table de contingence valide les conditions d'application nécessaire au test  $\chi^2$  d'indépendance. En effet, toutes les cases ont un effectif largement supérieur à 1.



**Figure 23** : Proportion d'utilisation du support : texte VS radar. En bleu la proportion ayant utilisé le support, en vert la proportion n'ayant pas utilisé le support.

Les statistiques descriptives suggèrent une influence du type de support aromatique sur sa fréquence d'utilisation par les consommateurs. Le support radar a été utilisé dans 84,1% des cas, contre 72,5% pour le support texte. Une Cela représentation visuelle attirerait d'avantage les consommateurs.

**Tableau 19** : Résultat du test  $\chi^2$  d'indépendance.

Test	p-valeur	Conclusion
Test $\chi^2$ d'indépendance	0,025	H <sub>0</sub> rejetée

Le test du  $\chi^2$  d'indépendance donne une p-valeur de 0,025, inférieure au seuil de 0,05. L'hypothèse nulle est donc rejetée : le type de support influence significativement son utilisation par les consommateurs. L'écart observé (~12%) entre les deux modalités (texte VS radar) est statistiquement significatif.

#### ***b) Conclusion***

D'après ces résultats, la présentation radar incite d'avantage les dégustateurs à consulter le support aromatique qu'une présentation textuelle. Ils soulignent l'intérêt d'un support visuel attractif pour le consommateur. Les radars, qui rassemblent les données dans une structure unique bidimensionnel offre une comparaison rapide et simultanée de plusieurs variables (Kantabutra et al., 2025). Le temps alloué par les consommateurs à la lecture d'une étiquette est court. Il semble logique qu'une représentation efficace impact plus les consommateurs. Ce phénomène serait a priori plus prononcé dans une situation réelle d'achat que dans une expérimentation contrôlée. Une grande partie de la population possède une forme d'intelligence visuelle ou, du moins, s'identifie en tant que telle (Silverman, 1989). Pour ces personnes, les représentations graphiques et très visuelles comme le radar, sont plus attirantes que les textes. Une autre explication serait le caractère innovant du radar. Les textes descriptifs, fréquemment rencontrés, sont peu utilisés par les consommateurs (Borrello et al., 2021), tandis que l'originalité du radar peut intriguer et attirer leur attention.

### 3. Influence du support aromatique sur la reconnaissance des arômes

L'objectif est de déterminer si le type de support aromatique (texte ou radar) influence la capacité des consommateurs à reconnaître les arômes présents dans le vin. Pour cela, une question sur l'aide à l'identification des arômes (voir **Annexe 11**, question 12) a été posée : « Le support aromatique vous a-t-il aidé à identifier les arômes ? ». Trois réponses étaient possibles : « Oui, beaucoup », « Un peu », « Non, pas du tout ». Pour répondre à cet objectif, l'hypothèse nulle suivante a été formulée :

$H_0$  = Le type de support aromatique n'a aucun effet sur la reconnaissance des arômes par les consommateurs.

#### a) *Test $\chi^2$ d'indépendance*

**Tableau 20** : Table de contingence exprimant les nombres totaux et les pourcentages d'identification des arômes en fonction des deux modalités texte et radar. Vérification des conditions d'application nécessaires au test  $\chi^2$  : aucun effectif < 1 et pas plus de 20 % des cases avec effectif entre 1 et 5.

Modalité	Oui, beaucoup (n, %)	Un peu (n, %)	Non, pas du tout (n, %)	Condition d'application
Texte	33 (38,8%)	38 (44,7%)	14 (16,5%)	Validé
Radar	44 (39,6%)	47 (42,3%)	20 (18%)	Validé

Les statistiques descriptives présentent les fréquences de reconnaissance des arômes par les consommateurs. La réponse « oui, beaucoup » indique que le support a été perçu comme utile dans l'identification et la reconnaissance des arômes. La réponse « un peu » signifie que certains arômes ont été reconnus, mais que le support n'a pas été particulièrement efficace. Enfin, « non, pas du tout » traduit une absence totale d'aide perçue de la part du support.

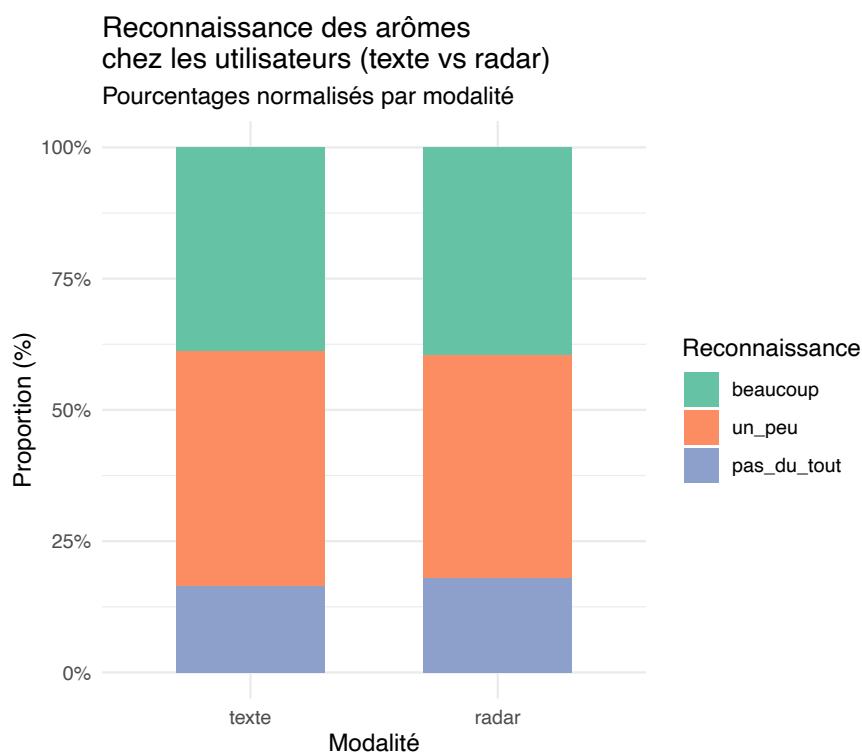
Les moyennes des différentes réponses, et donc de l'efficacité perçue des supports dans la reconnaissance des arômes, sont très proches. On observe une légère supériorité des réponses positives pour le support radar (39,6%) par rapport au support texte (38,8%). Cependant, les réponses négatives (« non, pas du tout ») sont également plus nombreuses pour le radar (18%) que pour le texte (16,5%). Ces deux tendances sont contradictoires et suggèrent qu'aucun des supports ne facilite davantage la reconnaissance des arômes.



**Tableau 21** : Résultat du test  $\chi^2$  d'indépendance.

Test	p-valeur	Conclusion
$\chi^2$ d'indépendance	0,934	$H_0$ non rejetée

La p-valeur de 0,934 est largement supérieure à 0,05. L'hypothèse nulle est donc acceptée : il n'y a aucune différence significative entre les modalités radar et texte concernant la reconnaissance des arômes par les consommateurs.



**Figure 24** : Reconnaissance des arômes chez les consommateurs (texte VS radar). Barplot empilé en pourcentages, normalisés par modalités – chaque barre représente 100 %.

Le graphique en barres empilées confirme visuellement les résultats statistiques : les distributions sont très similaires entre les deux supports. Cela corrobore l'idée que le type de support n'influence pas la reconnaissance des arômes, du moins dans les conditions de cette étude.

## ***b) Conclusion***

Aucune différence significative n'a été observée entre les supports texte et radar concernant la reconnaissance des arômes. Les deux supports auraient donc une efficacité similaire. Cependant, ces résultats reposent uniquement sur les personnes ayant répondu « oui » à la question : « Avez-vous utilisé le support aromatique ? » Or, comme l'a démontré le deuxième test statistique, la proportion de participants ayant utilisé le support radar est plus élevée. On peut donc conclure, in fine, à une meilleure performance globale du support radar. Plusieurs biais peuvent néanmoins entrer en jeu. Les profils aromatiques décrits par les œnologues sont complets mais non exhaustifs : certains arômes présents dans le vin n'ont pas été mentionnés. Si ces arômes ont été perçus par les consommateurs mais absents du support, cela a pu générer une frustration perturbant l'évaluation. Par ailleurs, les descripteurs sensoriels, bien que volontairement simplifiés, n'étaient peut-être pas suffisamment explicites ou accessibles pour un public majoritairement non initié au monde du vin. De plus, certains défauts du vin, ainsi que des arômes dominants, ont pu masquer d'autres arômes plus subtils. Les œnologues, grâce à leur expérience et à leur sens affûtés, ont probablement fait abstraction de ces défauts, contrairement aux consommateurs, qui ont pu avoir du mal à analyser le vin avec autant de finesse. Enfin, les conditions contrôlées de l'expérience ont transformé la dégustation en un véritable exercice d'analyse. Les participants ont sans doute mobilisé au maximum leurs capacités sensorielles, ce qui a pu accentuer les divergences entre leur perception et les profils aromatiques décrits, générant à nouveau une certaine frustration.

## **4. Influence du support aromatique sur le consentement à payer (WTP)**

L'objectif est d'évaluer si la modalité d'affichage (texte, radar ou sans support) influence le consentement à payer (Willingness To Pay, WTP) exprimé par les consommateurs. Pour y répondre, trois questions ont été posées: 1) Quel prix payez-vous habituellement pour une bouteille de vin ? réponse libre ; 2) Seriez-vous prêt(e) à acheter le vin que vous venez de déguster ? avec trois possibilités « Oui, Non, Peut-être » ; 3) Par rapport à un vin classique, quelle différence de prix seriez-vous prêt(e) à payer pour ce vin ? Réponses à choix multiple allaient de -10 € à +10 € par tranche de 2 €. Pour déterminer l'influence du support aromatique sur le consentement à payer, l'hypothèse nulle suivante a été formulée :

**H<sub>0</sub>** = Le consentement à payer est identique entre les différentes modalités de support aromatique.

### a) *Statistiques descriptives*

**Tableau 22** : Statistiques descriptives du WTP par modalité. N (répétitions) = nombre de réponses totales ; Moyenne (€) = moyenne des différences de prix par rapport à un vin classique ; Médiane (€) = médiane qui correspond à la valeur centrale du consentement à payer.

Modalité	N (répétitions)	Moyenne (€)	Médiane (€)
Texte	120	-1.18€	0
Radar	132	-0.23€	0
Vide	93	-1.20€	0

La majorité des participants ne souhaite pas payer plus qu'un vin classique. Toutefois, la modalité radar semble générer un consentement à payer légèrement plus élevé (moyenne la moins négative), et un peu plus positif que les deux autres modalités.

Des études préliminaires ont déjà montré que la valeur monétaire attribuée aux cépages résistants était généralement inférieure à celle accordée aux vins traditionnels (Fuentes Espinoza et al., 2018). Les vins proposés lors de cette expérience étaient de type « artisanal » et possédaient des caractéristiques pouvant être perçue comme peu qualitative (non filtrés, non assemblés et jeunes). Une caractéristique positive relevée dans les analyses est leur originalité, souvent décrite par les participants comme « vin léger » ou aux « arômes surprenants ». Néanmoins, comme le montre le premier test statistique, leur appréciation globale n'était pas au rendez-vous. Ces éléments permettent de comprendre pourquoi une valeur moindre leur a été attribuée.

### b) *Test de Kruskal-Wallis*

**Tableau 23**: Résultat test de Kruskal-Wallis (analyse non paramétrique) permettant de définir si il y a une différence significative du WTP entre les trois modalités.

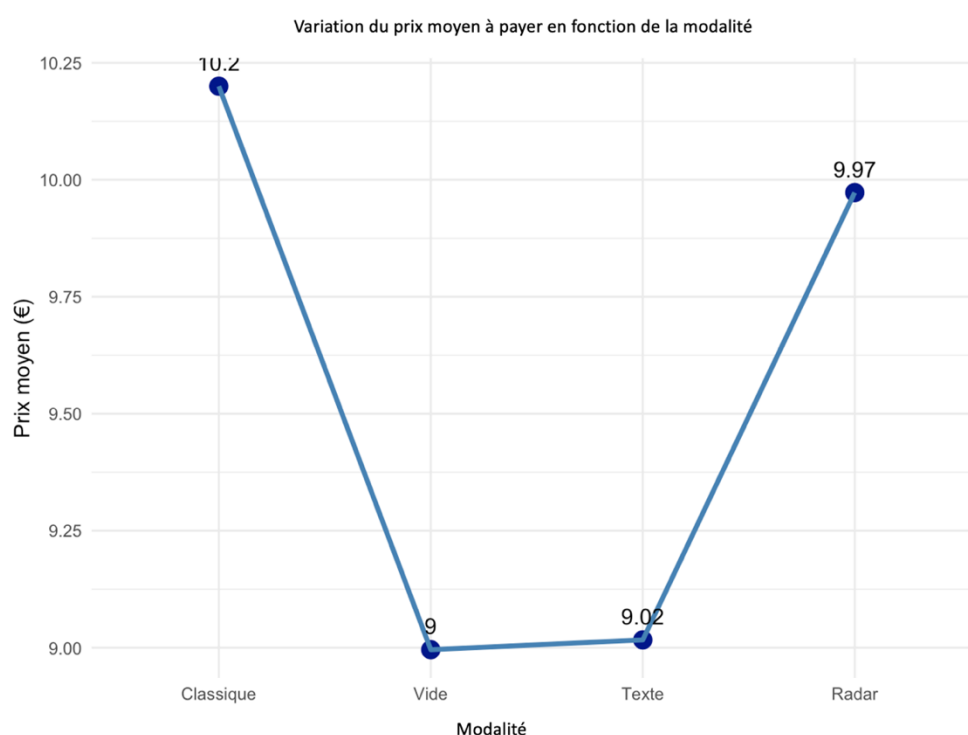
Test	p-valeur	Conclusion
Kruskal-Wallis	0,124	H <sub>0</sub> non rejetée

En raison du non-respect de la normalité, le test de Kruskal-Wallis a été réalisé à la place de l'ANOVA (**voir annexe 18**). Sa p-valeur > 0,05 confirme l'absence de différence significative entre les groupes.

**Tableau 24** : Résultats du test post-hoc de Dunn (non paramétrique) qui permet la comparaison des consentements à payer (WTP) entre les trois modalités (Texte, Radar, Vide) prises par paire.

Comparaison	p-valeur ajustée	Interprétation
Radar – Texte	0.249	Non significatif
Radar – Vide	0.247	Non significatif
Texte – Vide	1.000	Non significatif

Aucune des comparaisons n'indique de différence significative. Les résultats sont cohérents avec ceux du test de Tukey **Voir Annexe 18** . Il n'y a donc aucune différence significative du consentement à payer entre les trois modalités.



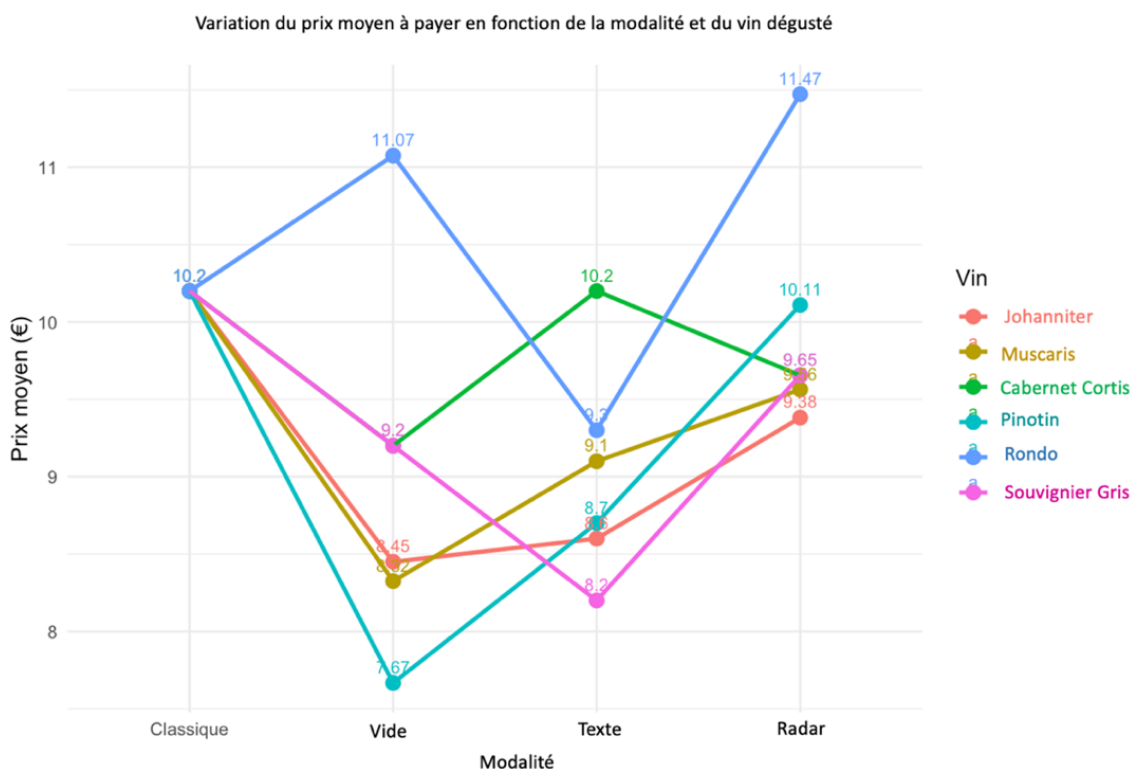
**Figure 25** : Consentement moyen à payer pour le vin en général selon la modalité. Prix moyen que les consommateurs sont prêts à mettre pour un vin en fonction des différentes modalités : Classique = pour un vin classique ; Vide = pour les vins dégustés sans aucun support de communication aromatique ; Texte = pour les vin dégustés avec un support de communication textuel ; Radar = pour les vins dégustés avec un support de communication visuel (radar aromatique).

La **Figure 25** montre qu'en moyenne, les vins dégustés ont été moins appréciés que les vins classiques du commerce. Elle suggère également que le support texte a peu d'impact sur l'augmentation de la valeur monétaire attribuée par les consommateurs.

De nombreuses études démontre que fournir de l'information augmente la valeur monétaire attribuée par le consommateur aux vin. Par exemple, des informations sur les performances environnementales incitent le consommateur à leurs attribuer une valeur monétaire plus élevée

que sans information, et plus ces informations sont précises, plus la valeur attribuée augmente (Fuentes Espinoza et al., 2018). L'objectif est ici d'évaluer si cela s'applique également à la composante aromatique, considérée comme un élément central de l'appréciation par les consommateurs (Yue et al., 2015). Ici, ce n'est pas significativement le cas. Cela peut être expliqué de plusieurs manières. Contrairement à une information non évaluée par le consommateur, la perception aromatique est subjective et personnelle. De plus, l'information apportée ici (profil aromatique) est comparée à celle d'un vin traditionnel plus qualitatif et ne met donc pas en valeur le vin dégusté et l'information apportée. À l'inverse, les performances environnementales présentent un avantage des cépages résistants par rapport à une faiblesse des cépages traditionnels. Pour ces raisons, il serait pertinent de réitérer cette expérience avec des vins produits professionnellement.

Concernant la modalité radar, on observe une légère augmentation de la valeur monétaire. Cette hausse n'étant pas liée à une appréciation accrue du vin (prouvé avec le premier test sur l'appréciation). Elle pourrait être due à l'outil lui-même : le support radar, sans doute perçu comme innovant ou original, influencerait positivement la valeur globale du produit.



**Figure 26 :** Consentement moyen à payer selon la modalité et le type de vin. Prix moyen que les consommateurs sont prêts à mettre pour un vin en fonction des différentes modalités : Classique = pour un vin classique ; Vide = pour les vins dégustés sans aucun support de communication aromatique ; Texte = pour les vins dégustés avec un support de communication textuel ; Radar = pour les vins dégustés avec un support de communication visuel (radar aromatique).

La **Figure 26** montre les valeurs moyennes attribuées à chaque vin en fonction des différentes modalités, elles correspondent au prix moyen mis par les consommateurs pour un vin classique affecté de la différence de prix qu'ils sont prêts à mettre en plus ou en moins par rapport aux vins dégustés. Cela permet d'étudier les différents vins un-à-un et de cibler les tendances de préférences intra-vin. Les consommateurs qui ont réalisé cette expérience mettent en moyenne 10,2€ pour une bouteille de vin classique issue du commerce (point de départ du graphique). Les valeurs émises avec la modalité vide représentent une estimation objective de la valeur monétaire attribuée aux différents vins de cette expérience (celle-ci n'apporte aucune composante supplémentaire). Ici, certains vins apparaissent comme ayant plus plu, c'est le cas du Rondo, qui se situe en général au-dessus des autres. Avec la modalité radar, il surpasse un vin classique du commerce.

Le Johanniter et le Muscaris, peu appréciés à travers les trois modalités, sont les vins auxquels les valeurs monétaires les plus basses ont été attribuées dans la modalité radar. Or, ce sont les deux seuls vins dont le radar présente moins de cinq descripteurs aromatiques (quatre pour le Johanniter et trois pour le Muscaris). Fournir un profil aromatique perçu comme peu complexe pourrait induire, chez le consommateur, une dévalorisation du produit. En psychologie, la théorie de la stimulation explique que l'attractivité d'un objet dépend de sa capacité à stimuler. Cette attraction est faible lorsqu'il y a peu de stimuli, puis elle augmente jusqu'à atteindre un pic. Au-delà de ce point, un excès de stimulation devient perturbant (Palczak, 2019). Dans le cas des radars aromatiques, cela signifie qu'un nombre trop faible de descripteurs serait peu stimulant, tandis qu'un trop grand nombre pourrait dérouter le consommateur. Dans le contexte des radars aromatiques, la complexité ne dépend pas uniquement du nombre de descripteurs. Par exemple, les radars multisensoriels, qui combinent descripteurs qualifiant le goût et les arômes, font appel à plusieurs sens. Plus complexes, ils pourraient générer un impact plus fort sur le consommateur.

Ce graphique montre que la dispersion des valeurs attribuées aux différents vins tend à diminuer de la modalité vide à la modalité texte, puis diminue encore avec la modalité radar. Il est possible que l'information fournie donne au vin une connotation professionnelle et que, grâce à celle-ci, le consommateur juge davantage les informations présentées que le vin lui-même. L'interprétation de donnée objective, plus homogène, réduirait les écarts entre les évaluations. À l'inverse, avec la modalité vide, les valeurs attribuées reposent uniquement sur les préférences et interprétations personnelles.

Une autre piste pourrait être que l'évaluation ne dépend presque pas des cépages. Les consommateurs ayant participé à l'expérience sont, pour la majorité, des novices ne reconnaissant à priori pas les différents cépages. La vinification, quant à elle, constitue le facteur prépondérant des arômes du vin. Dans le cadre de cette étude, il s'agissait de micro-vinifications, instables. Il est possible que les consommateurs aient davantage évalué ce processus que l'influence du cépage. Ainsi, les différences de valeur attribuées aux vins pourraient résulter de variations dans la vinification, causées par des paramètres non pris en compte lors de cette expérience.

## VI. Conclusions

---

Apparus vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle pour lutter contre le phylloxéra, les cépages résistants, d'abord largement adoptés, ont ensuite été abandonnés, notamment en raison de leur profil aromatique jugé médiocre. Les avancées récentes en biologie moléculaire et en sélection variétale ont toutefois permis d'améliorer considérablement leur qualité. Malgré cela, ils ne représentent encore qu'environ 6 % du vignoble mondial. Leur faible diffusion s'explique par plusieurs facteurs : la mauvaise réputation héritée des anciens hybrides, l'attachement aux cépages traditionnels, des réglementations longtemps restrictives, des doutes persistants quant à la durabilité de leur résistance, ainsi qu'un profil aromatique encore perçu comme inférieur.

Ce travail a pour objectif de caractériser le profil aromatique de huit cépages résistants (Rondo, Régent, Cabernet Cortis, Johanniter, Solaris, Muscaris et Souvignier gris), à travers une approche multisectorielle : chimique, œnologique et basée sur les préférences des consommateurs. En complément de cette caractérisation, l'étude vise également à explorer des pistes de valorisation commerciale. Etant donné leur implantation limitée et leur relative nouveauté, leur potentiel aromatique reste aujourd'hui peu exploré, une lacune que cette étude se propose de combler.

Pour ce faire, les huit cépages ont été vinifiés par micro-vinification. La caractérisation des composés organiques volatils (COV) a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Leur profil aromatique a ensuite été établi à partir d'analyses sensorielles descriptives menées par des œnologues. Enfin, un test hédonique a été conduit auprès des consommateurs. Cette dernière phase a permis de mesurer l'impact de la connaissance préalable du profil aromatique sur l'appréciation du vin, en comparant deux

types de supports d'information : un support de type scientifique (radar aromatique) et un support de type marketing (description textuelle).

Les différentes hypothèses et leurs résultats sont les suivants : Y a-t-il une influence du support sur l'appréciation du vin par le consommateur ? Les résultats indiquent que le type de support aromatique n'influence pas significativement l'appréciation globale du vin. Y a-t-il un type de support plus utilisé par le consommateur ? Le radar apparaît comme un support plus attractif et est significativement plus utilisé que le support textuel. Y a-t-il une influence du type de support sur la reconnaissance des arômes par le consommateur ? Le type de support n'influence pas la reconnaissance des arômes. Y a-t-il une influence du type de support sur le consentement à payer (WTP) ? Bien qu'une légère tendance se dessine en faveur du radar, le consentement à payer est significativement le même pour les deux types de support.

## VII. Perspectives

---

L'analyse CG-MS a depuis longtemps fait ses preuves. Extrêmement sensible, elle est parfaitement adaptée à l'analyse de composés volatils, parfois présents à l'état de traces. Néanmoins, la confrontation à un nouveau produit dont la composition est inconnue, exige des analyses préliminaires. Cette première étape acquise et la composition globale en composés volatils connue, il est désormais possible d'optimiser la méthode. L'approche qualitative peut être perfectionnée par l'ajustement des paramètres d'extraction, tels que le facteur de dilution et l'utilisation de méthodes d'extraction adaptée à la diversité physico-chimique des composés présents. Cette connaissance préalable constitue également une base essentielle pour une approche quantitative précise où l'utilisation de plusieurs standards internes pallient aux effets de compétition des composés entre eux lors de l'extraction.

Les arômes d'un vin pour un cépage donné dépendent de nombreuses variables, telles que le millésime, le terroir, la vinification. Pour les caractériser pleinement, de nombreuses analyses chimiques et sensorielles prenant en compte ces variables seront nécessaires. Ce travail gargantuesque augmenterait la crédibilité et l'authenticité de ces cépages encore peu connus et documentés.

Le comportement du consommateur est influencé par de nombreux facteurs autres que la seule qualité intrinsèque du produit. En Belgique, où le marché du vin est en plein développement,



une meilleure compréhension du comportement des consommateurs s'avère essentielle. Dans ce contexte, l'exploration de nouveaux supports de communication, en particulier pour des produits marginaux, semble une piste prometteuse. Pour aller plus loin, l'exploration de nouveaux supports multisensoriels, associant goût et arômes et leur impact sur le consommateur constitue une piste particulièrement prometteuse.

La combinaison d'approches chimiques, sensorielles descriptives et hédoniques centrées sur le consommateur est très intéressante. L'analyse chimique détermine la composition d'un produit, l'analyse sensorielle descriptive caractérise l'impact de cette composition sur la perception humaine et enfin, l'approche consommateur évalue les préférences du public en lien avec cette double caractérisation.

Cette approche combinée, transversale à toute une filière, qui prend en compte la multitude de variables depuis la vigne jusqu'au verre de vin, mérite d'être perfectionnée. Globale, elle met en lumière l'ensemble des facteurs du secteur qui influence son objectif, plaire au consommateur. Finalement, elle constitue un levier précieux pour une meilleure compréhension, une optimisation accélérée et, à terme, une valorisation de ces cépages. .

Cette approche globale et transversale, qui englobe l'ensemble de la filière, de la vigne au verre de vin, mérite d'être approfondie et perfectionnée. En intégrant la diversité des variables qui influencent la perception du vin, elle met en lumière les leviers essentiels permettant d'atteindre l'objectif ultime : séduire le consommateur. Elle s'impose ainsi comme un outil stratégique, à la fois pour mieux comprendre, accélérer l'optimisation et valoriser pleinement le potentiel des cépages innovants.

## VIII. Contribution personnelle

---

Le présent travail a été entièrement conceptualisé et réalisé personnellement. Il se distingue par son originalité, tant sur le fond que sur la forme. Il aborde un produit innovant à travers une approche cohérente et pluridisciplinaire. J'ai assuré chaque étape du projet : de la conception des vins jusqu'à la mise en œuvre des analyses dans le but d'évaluer ce qui constitue l'objectif ultime d'un vin : plaire au consommateur.

Ce projet m'a conduit à explorer un domaine très vaste sous quatre angles complémentaires : chimique, sensoriel, économique et comportemental. Pour répondre aux objectifs ambitieux que je m'étais fixé, je me suis entouré de profils variés issus de secteurs très différents : le laboratoire de chimie générale ; le Smart Gastronomy Lab ; l'Institut Condorcet d'Ath ; le regroupement des œnologues de Belgique ; et enfin, le service d'économie rurale. Rassembler autant de compétences et de visions dans un même travail de fin d'études a représenté un véritable défi, mais aussi une opportunité rare d'apprentissage, de vulgarisation scientifique et de dialogue interdisciplinaire. Il m'a fallu m'imposer, défendre ma vision et mes objectifs face à des professionnels au sein de leur propre domaine d'expertise.

Ce travail a permis une première caractérisation de produits encore peu étudiés dans un tel contexte, ouvrant ainsi la voie à des recherches futures pour approfondir cette caractérisation. L'originalité de cette démarche se reflète dans l'approche de caractérisation des cépages, eux-mêmes innovants, et dans l'exploration de nouvelles voies de valorisation, sujets encore peu expérimentés. Il ne s'inscrit pas dans la continuité d'un projet existant : il n'a pas pour objectif de consolider un modèle établi, mais bien d'initier de nouvelles pistes.

## IX. Références bibliographiques

---

- Alexi N., Byrne D.V., Toldam-Andersen T.B., Allesen-Holm B.H. & Petersen M.A., 2015. A sense of place: uniqueness in aroma and flavour potential of interspecific red wine varieties cultivated in the cool climate of Denmark.
- Andrивon D. & Savini I. (Eds.), 2019. *Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques ?*, éditions Quae.
- Anne, 2021. C'est quoi le goût? Odeur, saveur, flaveur... *Goûts Papilles*.
- Arnoldo C. & GILLET F., 1998. Situation de la vigne sauvage *Vitis vinifera* ssp. *silvestris* en Europe. *ResearchGate*.
- Arslan E., Çelik Z.D. & Cabaroğlu T., 2018. Effects of Pure and Mixed Autochthonous *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae* on Fermentation and Volatile Compounds of Narince Wines. *Foods* **7**(9), 147, DOI:10.3390/foods7090147.
- Bakker J. & Clarke R.J., 2011. *Wine: Flavour Chemistry*, John Wiley & Sons, 453.
- Bamba B.S.B., Shi J., Tranchant C.C., Xue S.J., Forney C.F. & Lim L.-T., 2018. Influence of Extraction Conditions on Ultrasound-Assisted Recovery of Bioactive Phenolics from Blueberry Pomace and Their Antioxidant Activity. *Molecules* **23**(7), 1685, DOI:10.3390/molecules23071685.
- Barbu C., Aulagnier A., Walker A.S., Labeyrie B., Maugin E., Le Bellec F., Omnes F., Richard F.-J., Ozier-Lafontaine H. & Aubertot J.-N., 2024. Plan Ecophyto: tout comprendre aux annonces du gouvernement.
- Bavaresco L., 2018. Impact of grapevine breeding for disease resistance on the global wine industry. In: *XII International Conference on Grapevine Breeding and Genetics* 1248. 7–14.
- Black C. a., Parker M., Siebert T. e., Capone D. l. & Francis I. l., 2015. Terpenoids and their role in wine flavour: recent advances. *Aust. J. Grape Wine Res.* **21**(S1), 582–600, DOI:10.1111/ajgw.12186.

- Blanc S., 2012. Cartographie génétique et analyse de la résistance au mildiou et à l'oïdium de la vigne chez *Muscadinia Rotundifolia* (phdthesis).
- Blonde P., Barbier J.-M., Hochereau F. & Touzard J.-M., 2015. Cépages résistants à l'oïdium et au mildiou en Languedoc-Roussillon.
- Bonn M.A., Cronin Jr. J.J. & Cho M., 2016. Do Environmental Sustainable Practices of Organic Wine Suppliers Affect Consumers' Behavioral Intentions? The Moderating Role of Trust. *Cornell Hosp. Q.* **57**(1), 21–37, DOI:10.1177/1938965515576567.
- Borrello M., Cembalo L. & Vecchio R., 2021a. Consumers' acceptance of fungus resistant grapes: Future scenarios in sustainable winemaking. *J. Clean. Prod.* **307**, 127318, DOI:10.1016/j.jclepro.2021.127318.
- Borrello M., Cembalo L. & Vecchio R., 2021b. Consumers' acceptance of fungus resistant grapes: Future scenarios in sustainable winemaking. *J. Clean. Prod.* **307**, 127318, DOI:10.1016/j.jclepro.2021.127318.
- Câmara J.S., Perestrelo R., Berenguer C.V. & Pereira J.A.M., 2024. Wine Volatilomics. In: Pozo-Bayón, M.Á., Muñoz González, C. eds. *Wine Analysis and Testing Techniques*. Springer US, New York, NY, 93–130.
- Chambers E. & Koppel K., 2013. Associations of Volatile Compounds with Sensory Aroma and Flavor: The Complex Nature of Flavor. *Molecules* **18**(5), 4887–4905, DOI:10.3390/molecules18054887.
- Chaya C. & Mora M., 2024. Evaluation of Hedonic and Emotional Response Evoked by Wines. In: Pozo-Bayón, M.Á., Muñoz González, C. eds. *Wine Analysis and Testing Techniques*. Springer US, New York, NY, 225–232.
- Chizzola R., 2013. Regular Monoterpenes and Sesquiterpenes (Essential Oils). In: *Natural Products*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2973–3008.
- Choi N.-E. & Han J.H., 2015. *How Flavor Works: The Science of Taste and Aroma*, John Wiley & Sons, 247.
- Cholette S., Castaldi R.M. & Fredrick A., 2005. THE GLOBALIZATION OF THE WINE INDUSTRY: IMPLICATIONS FOR OLD AND NEW WORLD PRODUCERS.

- Combris P., Bazoche P., Giraud-Héraud E. & Issanchou S., 2009. Food choices: What do we learn from combining sensory and economic experiments? *Food Qual. Prefer.* **20**(8), 550–557, DOI:10.1016/j.foodqual.2009.05.003.
- Cordente A.G., Curtin C.D., Solomon M., Kulcsar A.C., Watson F., Pisaniello L., Schmidt S.A. & Espinase Nandorfy D., 2022. Modulation of Volatile Thiol Release during Fermentation of Red Musts by Wine Yeast. *Processes* **10**(3), 502, DOI:10.3390/pr10030502.
- Cordente A.G., Espinase Nandorfy D., Solomon M., Schulkin A., Kolouchova R., Francis I.L. & Schmidt S.A., 2021. Aromatic Higher Alcohols in Wine: Implication on Aroma and Palate Attributes during Chardonnay Aging. *Molecules* **26**(16), 4979, DOI:10.3390/molecules26164979.
- Cordente A.G., Solomon M., Schulkin A., Leigh Francis I., Barker A., Borneman A.R. & Curtin C.D., 2018. Novel wine yeast with ARO4 and TYR1 mutations that overproduce “floral” aroma compounds 2-phenylethanol and 2-phenylethyl acetate. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **102**(14), 5977–5988, DOI:10.1007/s00253-018-9054-x.
- Dai J., Xia H., Yang C. & Chen X., 2021. Sensing, uptake and catabolism of L-phenylalanine during 2-phenylethanol biosynthesis via the Ehrlich pathway in *Saccharomyces cerevisiae*. *Front. Microbiol.* **12**, 601963.
- Dan T., Jin R., Ren W., Li T., Chen H. & Sun T., 2018. Characteristics of Milk Fermented by *Streptococcus thermophilus* MGA45-4 and the Profiles of Associated Volatile Compounds during Fermentation and Storage. *Molecules* **23**(4), 878, DOI:10.3390/molecules23040878.
- de Castilhos M.B.M., Del Bianchi V.L., Gómez-Alonso S., García-Romero E. & Hermosín-Gutiérrez I., 2019. Sensory descriptive and comprehensive GC–MS as suitable tools to characterize the effects of alternative winemaking procedures on wine aroma. Part I: BRS Carmem and BRS Violeta. *Food Chem.* **272**, 462–470, DOI:10.1016/j.foodchem.2018.08.066.
- del Barrio Galán R., Bueno-Herrera M., de la Cuesta P.L. & Pérez-Magariño S., 2022. Volatile composition of Spanish red wines: effect of origin and aging time. *Eur. Food Res. Technol.* **248**(7), 1903–1916, DOI:10.1007/s00217-022-04014-x.

- Delière L., SchnelDeR C., AUdegUIn Laur., CUnff L.L. & CAILLIAte R., 2017. Cépages résistants : la vigne contre-attaque !
- Delteil D., 2000. Positionnement d'un vin par test consommateur et analyse sensorielle descriptive quantifiée - L'exemple de la Cartographie des Préférences.
- Ebeler S.E. & Thorngate J.H., 2009. Wine Chemistry and Flavor: Looking into the Crystal Glass. *J. Agric. Food Chem.* **57**(18), 8098–8108, DOI:10.1021/jf9000555.
- EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes and Processing Aids (CEP), Silano V., Barat Baviera J.M., Bolognesi C., Chesson A., Cocconcelli P.S., Crebelli R., Gott D.M., Grob K., Lambré C., Lampi E., Mengelers M., Mortensen A., Steffensen I.-L., Tlustos C., Van Loveren H., Vernis L., Zorn H., Benfenati E., Castle L., Di Consiglio E., Franz R., Hellwig N., Milana M.R., Pfaff K., Civitella C., Lioupi A., Pizzo F. & Rivière G., 2020. Review and priority setting for substances that are listed without a specific migration limit in Table 1 of Annex 1 of Regulation 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. *EFSA J.* **18**(6), e06124, DOI:10.2903/j.efsa.2020.6124.
- Ehrlich F., 1907. Über die Bedingungen der Fuselölbildung und über ihren Zusammenhang mit dem Eiweißaufbau der Hefe. *Berichte Dtsch. Chem. Ges.* **40**(1), 1027–1047, DOI:10.1002/cber.190704001156.
- Fassier-Boulanger S., 2014. Les mutations de la filière viticole en France. *Rev. Géographique Est* **54**(1–2), DOI:10.4000/rge.5165.
- Francis I.L. & Williamson P.O., 2015. Application of consumer sensory science in wine research. *Aust. J. Grape Wine Res.* **21**, 554–567, DOI:10.1111/ajgw.12169.
- Fuentes Espinoza A., Hubert A., Raineau Y., Franc C. & Giraud-Héraud É., 2018. Resistant grape varieties and market acceptance: an evaluation based on experimental economics. *OENO One* **52**(3), DOI:10.20870/oeno-one.2018.52.3.2316.
- Furtuna N., 2012. L'ANALYSE SENSORIELLE DU VIN: APPROCHES METHODOLOGIQUES.

- Gambetta J.M., Bastian S.E.P., Cozzolino D. & Jeffery D.W., 2014. Factors Influencing the Aroma Composition of Chardonnay Wines. *J. Agric. Food Chem.* **62**(28), 6512–6534, DOI:10.1021/jf501945s.
- Gammacurta M., 2016. Approches sensorielle et analytique de l'arôme fruité des vins rouges: influence relative des levures et des bactéries lactiques.
- García-Estévez I., Salas E., Escribano-Bailón M.T. & Alcalde-Eon C., 2024. Mass Spectrometry-Based Methods for the Characterization of Wine Flavonoids. In: Pozo-Bayón, M.Á., Muñoz González, C. eds. *Wine Analysis and Testing Techniques*. Springer US, New York, NY, 39–58.
- Gere A. & Kókai Z., 2024. Wine Descriptive Sensory Profiling. In: Pozo-Bayón, M.Á., Muñoz González, C. eds. *Wine Analysis and Testing Techniques*. Springer US, New York, NY, 145–169.
- Ghadiriasli R., Lorber K., Wagenstaller M. & Buettner A., 2019. Smoky, Vanilla, or Clove-Like? In: *Sex, Smoke, and Spirits: The Role of Chemistry*, ACS Symposium Series. American Chemical Society, 43–54.
- Glories Y., 1984. La couleur des vins rouges. *Conn Vigne Vin* **18**(4), 253–271.
- González-Barreiro C., Rial-Otero R., Cancho-Grande B. & Simal-Gándara J., 2015. Wine Aroma Compounds in Grapes: A Critical Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **55**(2), 202–218, DOI:10.1080/10408398.2011.650336.
- He Y., Wang X., Li P., Lv Y., Nan H., Wen L. & Wang Z., 2023. Research progress of wine aroma components: A critical review. *Food Chem.* **402**, 134491, DOI:10.1016/j.foodchem.2022.134491.
- Hirst M.B. & Richter C.L., 2016. Review of Aroma Formation through Metabolic Pathways of *Saccharomyces cerevisiae* in Beverage Fermentations. *Am. J. Enol. Vitic.* **67**, DOI:10.5344/ajev.2016.15098.
- Hochereau F., 2023. L'évolution du rapport au risque par l'adoption de variétés résistantes en viticulture. In: Sitnikoff, F., Assegond, C., Chazal, H. eds. *Vignes et Vignerons*.

- Evolutions Des Métiers, Des Pratiques et Des Territoires*. Presses Universitaires François Rabelais, 67–84.
- Huang L., Ma Y., Tian X., Li J., Li L., Tang K. & Xu Y., 2018. Chemosensory characteristics of regional Vidal icewines from China and Canada. *Food Chem.* **261**, 66–74, DOI:10.1016/j.foodchem.2018.04.021.
- Inderbitzin J. & Roth-Kahrom L., 2020. Principes de base de l'analyse sensorielle (339).
- Institut Coopératif du Vin (ICV), July-14-2025. Institut Coopératif du Vin (ICV). <https://www.icv.fr>. <https://www.icv.fr>, (14/07/2025).
- Institut Oenologique de Champagne IOC, n.d. Fiche technique IOC REVELATION TERROIR™ Levures sèches actives.
- Iriti M. & Faoro F., 2006. Grape phytochemicals: a bouquet of old and new nutraceuticals for human health. *Med. Hypotheses* **67**(4), 833–838, DOI:10.1016/j.mehy.2006.03.049.
- Ivić I., Kopjar M., Jukić V., Bošnjak M., Maglica M., Mesić J. & Pichler A., 2021. Aroma Profile and Chemical Composition of Reverse Osmosis and Nanofiltration Concentrates of Red Wine Cabernet Sauvignon. *Molecules* **26**(4), 874, DOI:10.3390/molecules26040874.
- Jiang B., Xi Z., Luo M. & Zhang Z., 2013. Comparison on aroma compounds in Cabernet Sauvignon and Merlot wines from four wine grape-growing regions in China. *Food Res. Int.* **51**(2), 482–489, DOI:10.1016/j.foodres.2013.01.001.
- Julius Kühn-Institut (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Grapevine Breeding, Geilweilerhof ,Siebeldingen, Röckel Franco, Erika Maul, Reinhard Töpfer, Alina, July-21-2025. Vitis International Variety Catalogue (VIVC). <https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Findex>, (21/07/2025).
- Kantabutra S. & Tangmanee C., 2025. Perceptual Bias in Mobile Radar Chart Visualization: Untangling the Effects of Radial Axes, Data Series, and Screen Refresh. *Int. J. Anal. Appl.* **23**, 85–85, DOI:10.28924/2291-8639-23-2025-85.
- Koppmann R., 2008. *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere*, John Wiley & Sons, 523.



*La viticulture belge en chiffres : récolte et reconnaissances en 2024 | SPF Economie, 2025. .*

Lambrechts M.G. & Pretorius I.S., 2000. Yeast and its Importance to Wine Aroma - A Review. *South Afr. J. Enol. Vitic.* **21**(1), 97–129, DOI:10.21548/21-1-3560.

Legras J.-L., Merdinoglu D., Cornuet J.-M. & Karst F., 2007. Bread, beer and wine: *Saccharomyces cerevisiae* diversity reflects human history. *Mol. Ecol.* **16**(10), 2091–2102, DOI:10.1111/j.1365-294X.2007.03266.x.

Lei X., Chen Y., Gao B., Zhao X., Sun Q., Qin Y., Song Y., Jiang J. & Liu Y., 2025. Adaptive laboratory evolution of *Lachancea thermotolerans* for enhanced production of 2-Phenylethanol and 2-Phenylethyl acetate in wine. *Food Chem. X* **27**, 102483, DOI:10.1016/j.fochx.2025.102483.

Leis, Dorothea, Renner, Wolfgang, & Leitner, Erich, n.d. Characterisation of Wines Produced from Fungus Resistant Grape Varieties.

Les Cépages.fr, July-21-2025. Les cépages résistants : définitions, croisements et évolution. *Cépagesfr*. <http://www.lescepages.fr/cepmc.html>, (21/07/2025).

*LES CHIFFRES-CLÉS DE LA FILIÈRE VIGNE ET VIN*, 2025. .

Les fiches cépages résistants, 2017. . *Obs. Natl. Déploiement Cépages Résistants*.

Li C., Wu J., Li Y. & Dai Z., 2013. Identification of the aroma compounds in stinky mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and comparison of volatiles during fermentation and storage. *Int. J. Food Sci. Technol.* **48**(11), 2429–2437, DOI:10.1111/ijfs.12254.

Li X., Ren J.-N., Fan G., Zhang L.-L. & Pan S.-Y., 2021. Advances on (+)-nootkatone microbial biosynthesis and its related enzymes. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **48**(7–8), kuab046, DOI:10.1093/jimb/kuab046.

Lockshin L. & Corsi A.M., 2012a. Consumer behaviour for wine 2.0: A review since 2003 and future directions. *Wine Econ. Policy* **1**(1), 2–23, DOI:10.1016/j.wep.2012.11.003.

Lockshin L. & Corsi A.M., 2012b. Consumer behaviour for wine 2.0: A review since 2003 and future directions. *Wine Econ. Policy* **1**(1), 2–23, DOI:10.1016/j.wep.2012.11.003.

- López-Garzón C.S. & Straathof A.J.J., 2014. Recovery of carboxylic acids produced by fermentation. *Biotechnol. Adv.* **32**(5), 873–904, DOI:10.1016/j.biotechadv.2014.04.002.
- Mackie-Haas K., Egli-Künzler L., Wins T., Blackford M. & Hoffet F., 2022. Du vignoble au verre: the current state of robust grape cultivars in Switzerland. In: *XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on the Vitivinicultural Sector: Which Tools to 1370*. 67–82.
- Maicas S. & Mateo J.J., 2020. Sustainability of Wine Production. *Sustainability* **12**(2), 559, DOI:10.3390/su12020559.
- Marín-San Román S., Carot-Sierra J.M., Sáenz de Urturi I., Rubio-Bretón P., Pérez-Álvarez E.P. & Garde-Cerdán T., 2022. Optimization of stir bar sorptive extraction (SBSE) and multi-stir bar sorptive extraction (mSBSE) to improve must volatile compounds extraction. *LWT* **172**, 114182, DOI:10.1016/j.lwt.2022.114182.
- Moisseeff M. & Casamayor P., 2018. *Les arômes du vin*, Hachette Pratique, 274.
- Moser S., Roman T., Larcher R., Bottura M., Osorio J., Boido E. & Dellacassa E., 2023. Profundización del conocimiento sobre el aroma de las variedades de vinos tintos resistentes a los hongos producidos en Trentino. *BIO Web Conf.* **56**, 01018, DOI:10.1051/bioconf/20235601018.
- Murphy C., Cain W.S. & Bartoshuk L.M., 1977. Mutual action of taste and olfaction. *Sens. Processes* **1**(3), 204–211.
- Narra V.R. & Julapally Y., 2020. *Evaluation for an Effective Data Visualization Method in Safety Radar System Demonstrator*.
- Nesselhauf L., Fleuchaus R. & Theuvsen L., 2019. What about the environment?: A choice-based conjoint study about wine from fungus-resistant grape varieties. *Int. J. Wine Bus. Res.* **32**(1), 96–121, DOI:10.1108/IJWBR-09-2018-0049.
- Nicolau J.L., Mellinas J.P. & Martín-Fuentes E., 2020. The halo effect: A longitudinal approach. *Ann. Tour. Res.* **83**, 102938, DOI:10.1016/j.annals.2020.102938.

- Niu Y., Liu Y. & Xiao Z., 2020. Evaluation of Perceptual Interactions between Ester Aroma Components in Langjiu by GC-MS, GC-O, Sensory Analysis, and Vector Model. *Foods* **9**(2), 183, DOI:10.3390/foods9020183.
- Nogueira J.M.F., 2012. Novel sorption-based methodologies for static microextraction analysis: A review on SBSE and related techniques. *Anal. Chim. Acta* **757**, 1–10, DOI:10.1016/j.aca.2012.10.033.
- NRA (Institut national de la recherche agronomique), 2018. Vignes résistantes : l'INRA engagé dans de nouvelles solutions pour la viticulture française.
- Nykänen L., 1986. Formation and Occurrence of Flavor Compounds in Wine and Distilled Alcoholic Beverages. *Am. J. Enol. Vitic.* **37**(1), 84–96, DOI:10.5344/ajev.1986.37.1.84.
- Palczak J., 2019. La complexité sensorielle : définition, création et influence sur les préférences des consommateurs. Application aux desserts frais lactés (phdthesis).
- Palczak J., n.d. La complexité sensorielle: définition, création et influence sur les préférences des consommateurs. Application aux desserts frais lactés.
- Paluch J., Kozak J., Mermer K., Molęda I., Wieczorek M., Kalinowski S. & Kościelniak P., 2021. Novel Integrated Flow-Based Steam Distillation and Titration System for Determination of Volatile Acidity in Wines. *Molecules* **26**(24), 7673, DOI:10.3390/molecules26247673.
- Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2021. Règlement (UE) 2021/2117 du Parlement européen et du Conseil du 2 décembre 2021 modifiant les règlements (UE) no 1308/2013, (UE) no 1151/2012, (UE) no 251/2014 et (UE) no 228/2013 (No. L 435), Journal officiel de l'Union européenne, Bruxelles.
- Patauner C., Pedri U. & Sanoll C., 2020. Die Optimierung des Weinausbaues von Cabernet Cortis. *Laimburg J.* **2**, DOI:10.23796/LJ/2020.002.
- Pedneault K. & Provost C., 2016. Fungus resistant grape varieties as a suitable alternative for organic wine production: Benefits, limits, and challenges. *Sci. Hortic.*, Recent advances in organic horticulture technology and management - Part 1 **208**, 57–77, DOI:10.1016/j.scienta.2016.03.016.

- Peressotti E., Wiedemann-Merdinoglu S., Delmotte F., Bellin D., Di Gaspero G., Testolin R., Merdinoglu D. & Mestre P., 2010. Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety. *BMC Plant Biol.* **10**(1), 147, DOI:10.1186/1471-2229-10-147.
- Pisaniello L., Watson F., Siebert T., Francis L. & Hixson J.L., 2022. The Varietal Influence of Flavour Precursors from Grape Marc on Monoterpene and C13-Norisoprenoid Profiles in Wine as Determined by Membrane-Assisted Solvent Extraction (MASE) GC-MS. *Molecules* **27**(7), 2046, DOI:10.3390/molecules27072046.
- Plutowska B. & Wardencki W., 2007. Aromagrams – Aromatic profiles in the appreciation of food quality. *Food Chem.* **101**(2), 845–872, DOI:10.1016/j.foodchem.2005.12.028.
- Pomarici E. & Vecchio R., 2019. Will sustainability shape the future wine market? *Wine Econ. Policy* **8**(1), 1–4, DOI:10.1016/j.wep.2019.05.001.
- Pozo-Bayón M.Á. & Muñoz González C. (Eds.), 2024. *Wine Analysis and Testing Techniques, Methods and Protocols in Food Science*, Springer US, New York, NY.
- Rao W., Li X., Ouyang L., Zhu S., Hu S. & Zhou J., 2023. Characterization of key aroma compounds in Rice flavor baijiu from different rice raw materials by gas chromatography-ion mobility spectrometry and gas chromatography-olfactometry-quadrupole time of flight mass spectrometry. *Food Biosci.* **56**, 103370, DOI:10.1016/j.fbio.2023.103370.
- Révillon S., Hoffet F., Gerz A., Mackie-Haas K., Künzler L., Blackford M., Jans K., Burdet F., Deneulin P. & Mondoux A., 2022a. Vins suisses du futur: quelle place pour les cépages tolérants? *Vignes Vergers*.
- Révillon S., Hoffet F., Gerz A., Mackie-Haas K., Künzler L., Blackford M., Jans K., Burdet F., Deneulin P. & Mondoux A., 2022b. Vins suisses du futur: quelle place pour les cépages tolérants? *Vignes Vergers*.
- Rodríguez-Nogales J.M., Fernández-Fernández E., Ruipérez V. & Vila-Crespo J., 2024. Selective Wine Aroma Enhancement through Enzyme Hydrolysis of Glycosidic Precursors. *Molecules* **29**(1), 16, DOI:10.3390/molecules29010016.

- Roland A., Schneider R., Razungles A. & Cavelier F., 2011. Varietal Thiols in Wine: Discovery, Analysis and Applications. *Chem. Rev.* **111**(11), 7355–7376, DOI:10.1021/cr100205b.
- Rollero S., Mouret J.-R., Bloem A., Sanchez I., Ortiz-Julien A., Sablayrolles J.-M., Dequin S. & Camarasa C., 2017. Quantitative <sup>13</sup>C-isotope labelling-based analysis to elucidate the influence of environmental parameters on the production of fermentative aromas during wine fermentation. *Microb. Biotechnol.* **10**(6), 1649–1662, DOI:10.1111/1751-7915.12749.
- Rossi L., Foschi M., Biancolillo A., Maggi M.A. & D'Archivio A.A., 2023. Optimization of HS-SPME-GC/MS Analysis of Wine Volatiles Supported by Chemometrics for the Aroma Profiling of Trebbiano d'Abruzzo and Pecorino White Wines Produced in Abruzzo (Italy). *Molecules* **28**(4), 1534, DOI:10.3390/molecules28041534.
- Rousseau J., Chanfreau S., Borgo C.P.D. & de Maurin L.J., 2017. Les cépages résistants aux maladies : panorama européen.
- Saary M.J., 2008. Radar plots: a useful way for presenting multivariate health care data. *J. Clin. Epidemiol.* **61**(4), 311–317, DOI:10.1016/j.jclinepi.2007.04.021.
- Secrétariat général à la planification écologique, 2024. La planification écologique dans l'agriculture (Rapport gouvernemental), France Nation Verte, Paris, France.
- Silverman L.K., 1989. The Visual-Spatial Learner. *Prev. Sch. Fail. Altern. Educ. Child. Youth* **34**(1), 15–20, DOI:10.1080/1045988X.1989.9944547.
- Styger G., Prior B. & Bauer F.F., 2011. Wine flavor and aroma. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **38**(9), 1145, DOI:10.1007/s10295-011-1018-4.
- Šuklje K., Antalick G., Buica A., Coetzee Z.A., Brand J., Schmidtke L.M. & Vivier M.A., 2016. Inactive dry yeast application on grapes modify Sauvignon Blanc wine aroma. *Food Chem.* **197 Pt B**, 1073–1084, DOI:10.1016/j.foodchem.2015.11.105.
- Sumby K.M., Grbin P.R. & Jiranek V., 2010. Microbial modulation of aromatic esters in wine: Current knowledge and future prospects. *Food Chem.* **121**(1), 1–16, DOI:10.1016/j.foodchem.2009.12.004.

- Swiegers J.H. & Pretorius I.S., 2005. Yeast modulation of wine flavor. *Adv. Appl. Microbiol.* **57**, 131–175, DOI:10.1016/S0065-2164(05)57005-9.
- Tabouret S., 2021. Les cépages résistants, du labo à la vigne. Quand l'expérimentation met à l'épreuve les pratiques vitivinicoles, les variétés de vigne et les propriétés du vin.
- Terral J.-F., Tabard E., Bouby L., Ivorra S., Pastor T., Figueiral I., Picq S., Chevance J.-B., Jung C., Fabre L., Tardy C., Compan M., Bacilieri R., Lacombe T. & This P., 2010. Evolution and history of grapevine (*Vitis vinifera*) under domestication: new morphometric perspectives to understand seed domestication syndrome and reveal origins of ancient European cultivars. *Ann. Bot.* **105**(3), 443–455, DOI:10.1093/aob/mcp298.
- This P., Lacombe T. & Thomas M., 2006. Historical origins and genetic diversity of wine grapes. *Trends Genet.* **22**(9), 511–519, DOI:10.1016/j.tig.2006.07.008.
- Töpfer R. & Trapp O., 2022. A cool climate perspective on grapevine breeding: climate change and sustainability are driving forces for changing varieties in a traditional market. *Theor. Appl. Genet.* **135**(11), 3947–3960, DOI:10.1007/s00122-022-04077-0.
- Tufariello M., Capozzi V., Spano G., Cantele G., Venerito P., Mita G. & Grieco F., 2020. Effect of Co-Inoculation of *Candida zemplinina*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* for the Industrial Production of Negroamaro Wine in Apulia (Southern Italy). *Microorganisms* **8**(5), 726, DOI:10.3390/microorganisms8050726.
- Vanilline, July-13-2025. . *wein.plus*. <https://glosario.wein.plus/vanilline>, (13/07/2025).
- Vasylyk I., Александровна В.И., Levchenko S. & Валентиновна Л.С., 2024. Development of grape breeding as an effective way to combine resistance and quality. Scientific review. *Contemp. Hortic.* (1), 1–21.
- Vermeulen C., Gijs L. & Collin S., 2005. Sensorial Contribution and Formation Pathways of Thiols in Foods: A Review. *Food Rev. Int.* **21**(1), 69–137, DOI:10.1081/FRI-200040601.
- Versari A., du Toit W. & Parpinello G. p., 2013. Oenological tannins: a review. *Aust. J. Grape Wine Res.* **19**(1), 1–10, DOI:10.1111/ajgw.12002.

- Walton N.J., Mayer M.J. & Narbad A., 2003. Vanillin. *Phytochemistry* **63**(5), 505–515, DOI:10.1016/S0031-9422(03)00149-3.
- Waterhouse A.L., 2002. Wine Phenolics. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **957**(1), 21–36, DOI:10.1111/j.1749-6632.2002.tb02903.x.
- Wei R., Wang L., Ding Y., Zhang L., Gao F., Chen N., Song Y., Li H. & Wang H., 2023. Natural and sustainable wine: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **63**(26), 8249–8260, DOI:10.1080/10408398.2022.2055528.
- Welke J.E., Zanusi M., Lazzarotto M. & Alcaraz Zini C., 2014. Quantitative analysis of headspace volatile compounds using comprehensive two-dimensional gas chromatography and their contribution to the aroma of Chardonnay wine. *Food Res. Int.* **59**, 85–99, DOI:10.1016/j.foodres.2014.02.002.
- WEP : wine economics and policy : 13, 2, 2024, 2024. . *WEP Wine Econ. Policy - Semest. Six-Mon.* **13**(2), 1–124.
- Wess J., Brinek M. & Boles E., 2019. Improving isobutanol production with the yeast *Saccharomyces cerevisiae* by successively blocking competing metabolic pathways as well as ethanol and glycerol formation. *Biotechnol. Biofuels* **12**, 173, DOI:10.1186/s13068-019-1486-8.
- Wüstinger G., 2021. PIWIS - dans le monde. *PIWI Int.*
- Yamada Y. & Yukphan P., 2008. Genera and species in acetic acid bacteria. *Int. J. Food Microbiol., Vinegars and Acetic Acid Bacteria 2005* **125**(1), 15–24, DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.077.
- Yue T.-X., Chi M., Song C.-Z., Liu M.-Y., Meng J.-F., Zhang Z.-W. & Li M.-H., 2015. Aroma Characterization of Cabernet Sauvignon Wine from the Plateau of Yunnan (China) with Different Altitudes Using SPME-GC/MS. *Int. J. Food Prop.* **18**(7), 1584–1596, DOI:10.1080/10942912.2014.923442.
- Zhang S., Petersen M.A., Liu J. & Toldam-Andersen T.B., 2015. Influence of Pre-Fermentation Treatments on Wine Volatile and Sensory Profile of the New Disease Tolerant Cultivar Solaris. *Molecules* **20**(12), 21609–21625, DOI:10.3390/molecules201219791.

- Zhang X., Xiao J., Guo Z., Zhong H., Luo Y., Wang J., Tang Z., Huang T., Li M., Zhu J. & Ao Q., 2022. Transcriptomics integrated with metabolomics reveals the effect of *Lycium barbarum* polysaccharide on apoptosis in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Genomics* **114**(1), 229–240, DOI:10.1016/j.ygeno.2021.12.009.
- Zhao L., Liu F., Wu L., Xue X. & Hou F., 2017. Fate of triadimefon and its metabolite triadimenol in jujube samples during jujube wine and vinegar processing. *Food Control* **73**, 468–473, DOI:10.1016/j.foodcont.2016.08.039.
- Zhao T., Wu J., Meng J., Shi P., Fang Y., Zhang Z. & Sun X., 2019. Harvesting at the Right Time: Maturity and its Effects on the Aromatic Characteristics of Cabernet Sauvignon Wine. *Molecules* **24**(15), 2777, DOI:10.3390/molecules24152777.
- Zhao X., Ju Y., Wei X., Dong S., Sun X. & Fang Y., 2019. Significance and Transformation of 3-Alkyl-2-Methoxypyrazines Through Grapes to Wine: Olfactory Properties, Metabolism, Biochemical Regulation, and the HP–MP Cycle. *Molecules* **24**(24), 4598, DOI:10.3390/molecules24244598.
- Zhu B.-Q., Cai J., Wang Z.-Q., Xu X.-Q., Duan C.-Q. & Pan Q.-H., 2014. Identification of a Plastid-Localized Bifunctional Nerolidol/Linalool Synthase in Relation to Linalool Biosynthesis in Young Grape Berries. *Int. J. Mol. Sci.* **15**(12), 21992–22010, DOI:10.3390/ijms151221992.