

**Compte rendu scientifique de la subvention du conseil
Départemental du Puy de Dôme à l'association VINORA**



**RECHERCHE DE MARQUEURS VOLCANIQUES
DANS LES VINS GAMAY DE L'AOC COTES
D'Auvergne**

Présenté par

COELHO CHRISTIAN, coelho.christian63@gmail.com

Enseignant Chercheur à l'Institut universitaire de la vigne et du vin, Dijon, France

MARSAN BENOIT, marsan.benoit@uqam.ca

Enseignant Chercheur à l'Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada

SZABO JOHN, john@johnszabo.com

John Szabo MS, Toronto, Canada

JUIN 2021

SOMMAIRE

CONTEXTE DE L'ETUDE	1
PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION VINORA 2020	2
COMPOSITION DES VINS DE GAMAY DE L'AOC COTES D'Auvergne – MILLESIME 2020.....	5
1. Paramètres liés à l'acidité des vins	5
2. Paramètres liés à la couleur des vins	6
3. Empreinte moléculaire des vins	8
4. Empreinte minérale des vins	9
ANALYSE DU CONTINUUM MOULTS/VINS DE L'AOC COTES D'Auvergne – MILLESIME 2020.	12
ANALYSE SENSORIELLE DES VINS DE GAMAY DE L'AOC COTES D'Auvergne – MILLESIME 2020	14
1. Dégustation comparative : vins issus des parcelles argilo-calcaires vs basaltiques	14
2. Paramètres organoleptiques qui semblent distinguer le plus les vins volcaniques	19
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	20
ANNEXES	22

CONTEXTE DE L'ETUDE

Suite au premier salon international des vins volcaniques organisé à Vulcania (Puy de Dôme) en janvier 2020 par l'association Vinora, un échange autour de la valorisation du territoire volcanique sur les dimensions chimiques et sensorielles des vins est né entre les acteurs de la filière de l'AOC Côtes d'Auvergne, représentée par Vinora et son président **Pierre Desprat**, deux scientifiques en chimie/sensorialité du vin : **Christian Coelho** et **Benoît Marsan**, et un Master Sommelier globetrotter expert en vins volcaniques du Monde : **John Szabo**. Par cette confrontation des esprits est né un projet de valorisation des vins volcaniques de l'AOC Côtes d'Auvergne visant à répondre aux questions soulevées par les consommateurs : « Qu'est-ce qu'un vin volcanique ? Quelles sont leurs particularités ? Quelles sont leurs caractéristiques communes ? Qu'est-ce que le volcanisme apporte à nos vins ? ».

Afin d'apporter des éléments scientifiquement robustes et donner de la crédibilité à la communication faite autour des vins volcaniques, un plan d'expériences devait être construit en concertation avec les vignerons de l'AOC et la cave coopérative Desprat Saint Verny. Pour cela, il a été décidé de travailler sur le cépage Gamay représenté par 4 producteurs différents (domaine Miolanne, Cave Pélissier, Domaine Tour de Pierre, Cave Desprat Saint Verny) présentant l'intérêt de réaliser des vendanges parcellaires et de pouvoir remonter au travers de leurs vins à leur identité territoriale. Pour cela, deux types de parcelles bien distinctes ont été choisies par producteur : une parcelle témoin non volcanique de nature argilo-calcaire et une parcelle volcanique de nature basaltique. Afin de valider la nature volcanique des parcelles choisies, une collaboration avec le laboratoire Magma Volcan a été engagée avec les scientifiques **Charley Merciecca**, **Abdelmouhcine Gannoun** et **Yvan Vlastelic**.

L'étude a commencé pendant la phase de maturation des raisins en août 2020 par des prélèvements de raisins et de moûts de Gamay sur les différentes parcelles choisies pour l'étude. Les macérations se sont déroulées en septembre et les dernières fermentations se sont achevées début décembre avant que les vins des 8 parcelles ne soient embouteillés. Les analyses chimiques des moûts et vins se sont déroulées entre décembre 2020 et mars 2021, et l'analyse sensorielle des vins a été réalisée en mai (France) et juin (Canada) 2021.

Un travail d'analyse statistique et chimiométrique sur le millésime 2020 s'est donc orienté à la recherche de marqueurs chimiques et sensoriels des vins Gamay de l'AOC Côtes d'Auvergne. L'ensemble des paramètres est commenté individuellement pour déterminer leur contribution statistique en matière de différenciation vins issus des deux types de parcelles choisies pour cette étude, puis globalement par analyses multivariées dans le but d'établir des modèles prédictifs utilisables par la profession.

PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION VINORA 2020

Les parcelles argilo-calcaires, considérées comme les parcelles témoin et non volcaniques, représentées par une étoile verte sur la Figure 1A, se situent sur les communes de Neschers, Plauzat, Vic le Comte et Boudes. Les parcelles volcaniques, quant à elles sur substratum basaltique, représentées par un cercle noir, se situent sur les communes de La Roche Blanche, Pérignat les Sarlièves, Saint George sur Allier et Boudes.

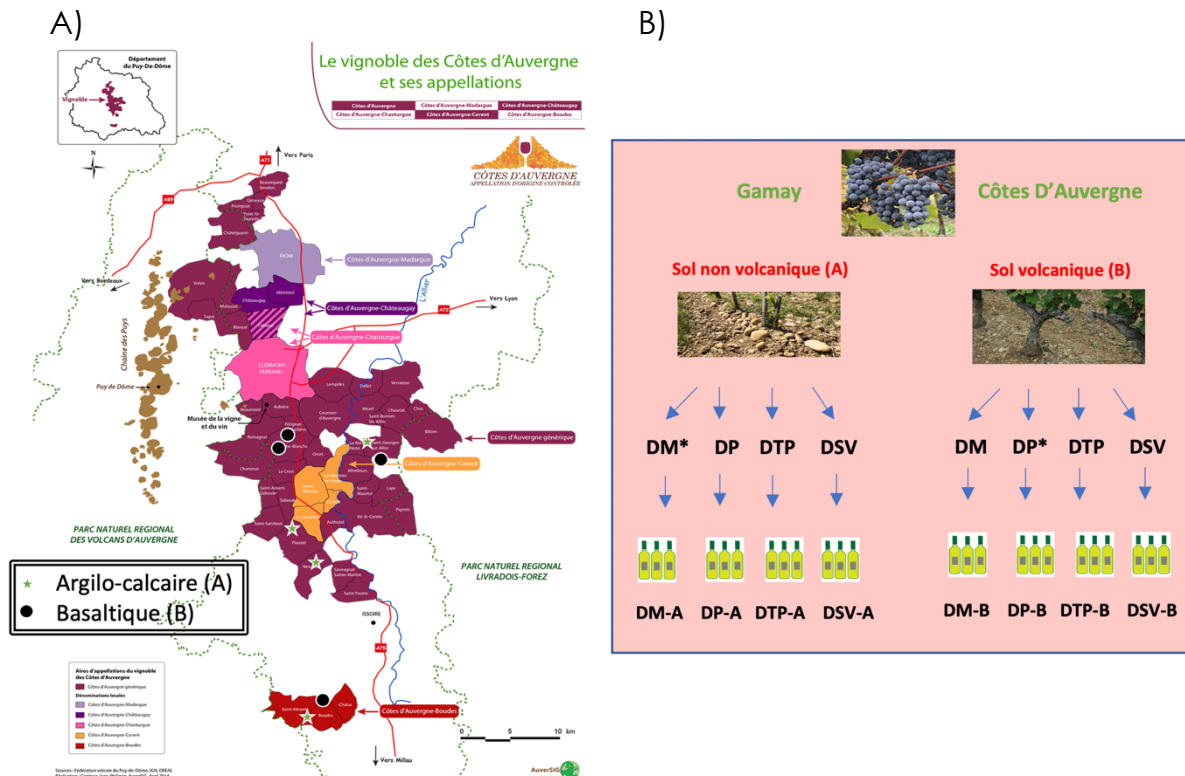


Figure 1 : (A) Carte du vignoble des Côtes d'Auvergne et localisation des parcelles. (B) Présentation de l'expérimentation menée sur l'empreinte chimique et sensorielle des vins de Gamay de Côtes d'Auvergne.

Quatre producteurs de vins de Gamay de l'AOC Côtes d'Auvergne ont été suivis dans cette étude entre fin août et décembre 2020. Il s'agit des domaines DM (Domaine Miolanne), DP (Cave Pélissier), DTP (Domaine Tour de Pierre) et DSV (Cave coopérative Saint VERNY). Tous ont réalisé des vinifications parcelaires à partir de raisin Gamay issu du millésime 2020 en ne modifiant aucun paramètre sur leur matériel végétal et leurs itinéraires habituels de vinification. L'Annexe 1 présente ces spécificités en matière de viticulture et de techniques de vinification pour chacun d'entre eux.

Pour deux producteurs, symbolisés par une étoile sur la Figure 1B, un prélèvement de sol a été réalisé le 23 octobre 2020. Il s'agit du domaine Miolanne avec un prélèvement sur la parcelle argilo-calcaire à Neschers, ainsi que le domaine Pélissier avec un prélèvement sur la parcelle volcanique à Boudes. Les résultats de lixiviation de la fraction minérale de ces deux sols,

présentés sur la Figure 2, ont permis de confirmer le caractère témoin et volcanique des deux types de parcelles choisis pour cette étude.

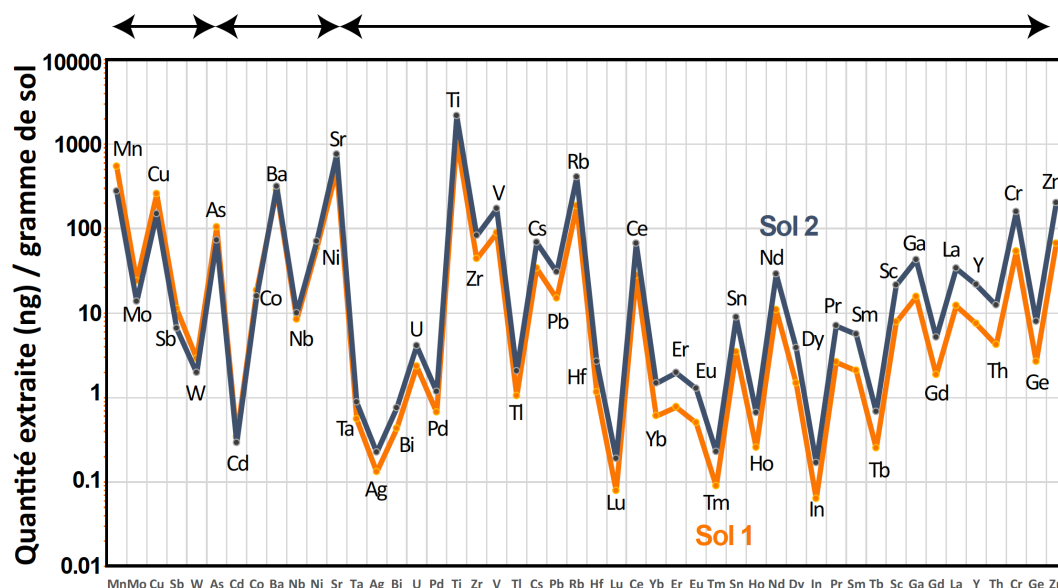


Figure 2 : Analyse des éléments minéraux présents dans les lixiviats de sol 1 (argilo-calcaire) et sol 2 (basaltique).

L'étude des terroirs s'est poursuivie par une analyse du déficit hydrique des différentes parcelles de l'étude. La Figure 3 montre que pour les 8 parcelles de l'étude, **globalement le déficit hydrique y est faible**. Ceci est en lien direct avec une climatologie plutôt humide sur les Côtes d'Auvergne. Il y a une tendance (mais non validée ici statistiquement au seuil de significativité de 95%) d'un déficit en eau encore plus faible pour l'ensemble des parcelles dites volcaniques comparativement aux parcelles argilo-calcaires. De manière générale, les quatre **parcelles volcaniques présentent une plus grande homogénéité** de stress hydrique comparativement aux quatre parcelles argilo-calcaires. Les plus grands écarts de contrainte hydrique entre les deux types de parcelle d'étude reviennent aux domaines DP et DM, et les plus faibles écarts aux domaines DTP et DSV.

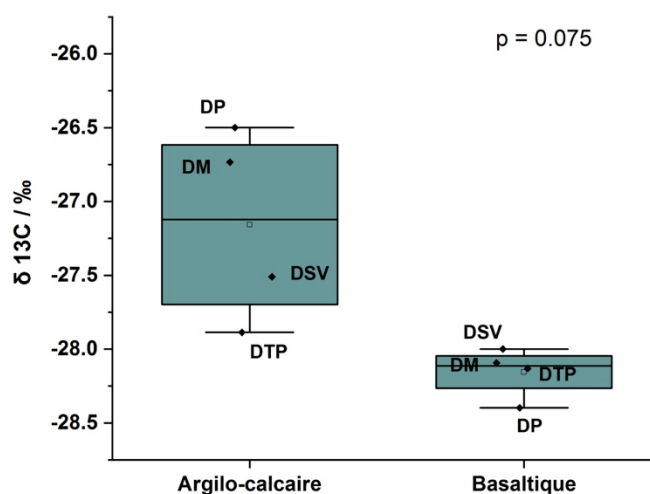


Figure 3 : Valeurs du rapport isotopique $\delta^{13}\text{C}$ (‰) des différentes parcelles de l'étude. Pour des valeurs de $\delta^{13}\text{C} < -26,2$ ‰, la contrainte hydrique est considérée comme faible voire nulle.

L'étude s'est poursuivie avec l'intention d'échantillonner à quatre stades clé préalablement établis : T1 (à la mi-maturité des raisins à la parcelle), T2 (à maturité, le jour de la vendange), T3 (à la fin de la fermentation alcoolique en cuve) et T4 (sur vin fini embouteillé avec une fermentation malolactique terminée). Un total de 8 échantillons devait donc être collectés pour chacun des quatre stades précités, générant ainsi 32 échantillons. Pour des raisons d'organisation de la vendange, de mise en place de l'expérimentation et de gestion des fermentations, seulement un total de 19 échantillons a été prélevé réparti comme suit : 4 au stade T1, 5 au stade T2, 2 au stade T3 et 8 au stade T4.

Pour une exploitation optimale et statistiquement valable des données, il a été décidé de focaliser l'étude sur le stade T4, c'est-à-dire sur vin fini, seul jeu de données complètes. Pour exploiter le reste des données, il a été décidé de mener une analyse non supervisée de l'ensemble des données et de comparer entre eux les moûts de raisin, c'est-à-dire les stades T1 et T2. Pour le stade T3, la plupart des producteurs n'ont pas pu isoler le stade fermentation alcoolique (T3) du stade fermentation malolactique (T4), excepté pour DP.

COMPOSITION DES VINS DE GAMAY DE L'AOC COTES D'AUVERGNE – MILLESIME 2020

Lors de cette étude, les vins rouges ont été caractérisés par leurs paramètres œnologiques classiques, leur couleur, leur fraction minérale et isotopique et leur empreinte chimique de fluorescence dans le but d'identifier des marqueurs géochimiques qui se retrouveraient potentiellement différenciant entre des vins provenant de parcelles dites volcaniques comparativement aux parcelles témoin argilo-calcaire. Les données chiffrées sont données en Annexe 2. De façon systématique, une analyse de variance des données a donné lieu à des graphiques représentant en rouge les éléments discriminants et validés statistiquement au seuil de significativité de 95% et en bleu, ceux qui ne pourront pas être considérés comme statistiquement discriminants en considérant les données provenant des huit vins rouges du cépage Gamay du millésime 2020.

Un deuxième type d'analyse des données a consisté à rassembler l'ensemble des analyses de l'étude et d'appliquer des statistiques multivariées afin d'obtenir une vision plus globale de l'étude et de tenter d'établir des modèles prédictifs de différenciation des vins volcaniques. Il a été logique de tout d'abord analyser le **pourcentage volumique en éthanol**, mais aucune différence significative n'a été retrouvée avec en moyenne une teneur de $(12,7 \pm 0,5) \%$ pour les vins issus de parcelles argilo-calcaires et de $(13,1 \pm 0,7) \%$ pour les vins provenant des parcelles basaltiques.

1. Paramètres liés à l'acidité des vins

Parmi les paramètres œnologiques liés à l'acidité, il a été retrouvé sur la Figure 4 que les vins de parcelles volcaniques présentaient une valeur de pH plus élevée de 0,2 unité que les vins de parcelles non volcaniques. L'acidité volatile est également retrouvée en moyenne plus élevée de 0,3 g.L⁻¹ équivalent H₂SO₄. Il est à noter que pour les deux types de parcelles, les vins présentent des valeurs en dessous des valeurs réglementaires (20 mEq.L⁻¹).

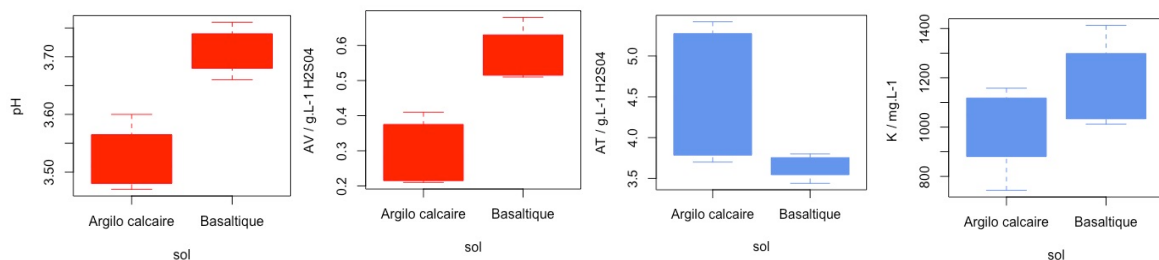


Figure 4 : Valeurs de pH, Acidité volatile (AV) exprimée en g.L⁻¹ équivalent H₂SO₄, Acidité Totale (AT) exprimée en g.L⁻¹ équivalent H₂SO₄ et potassium exprimée en mg.L⁻¹ présentes dans les 4 vins issus des parcelles argilo-calcaires vs basaltiques.

L'acidité totale n'est pas différenciante mais présente des valeurs plus homogènes (autour de 3,7 g.L⁻¹ équivalent H₂SO₄) pour les vins issus des parcelles basaltiques. Ces valeurs ont tendance à être généralement moins élevées que celles associées aux parcelles argilo-calcaires. Pour le potassium, il y a une tendance à observer des valeurs plus élevées (autour de 1200 mg.L⁻¹) dans les vins de parcelles basaltiques. La différence n'est pas significative mais reste en lien avec la valeur de pH plus élevée de ces vins.

Dans un second temps, les différents acides organiques des vins ont été analysés et les valeurs médianes de concentration sont indiquées sur la Figure 5. Seuls les acides tartrique et lactique sont discriminants des deux types de parcelles au seuil de significativité de 95%, le premier provenant uniquement du raisin et des étapes de macération du raisin, et le second étant le résultat des étapes fermentaires. L'acide malique est quasi nul sur tous les vins analysés, révélant que les fermentations malolactiques sont terminées sur l'ensemble des vins de l'étude. L'acide citrique présente des valeurs de concentration autour de 0,15 g.L⁻¹. L'acide succinique n'est pas statistiquement discriminant mais a une tendance à être plus élevé dans les vins issus de parcelles basaltiques vs argilo-calcaires.

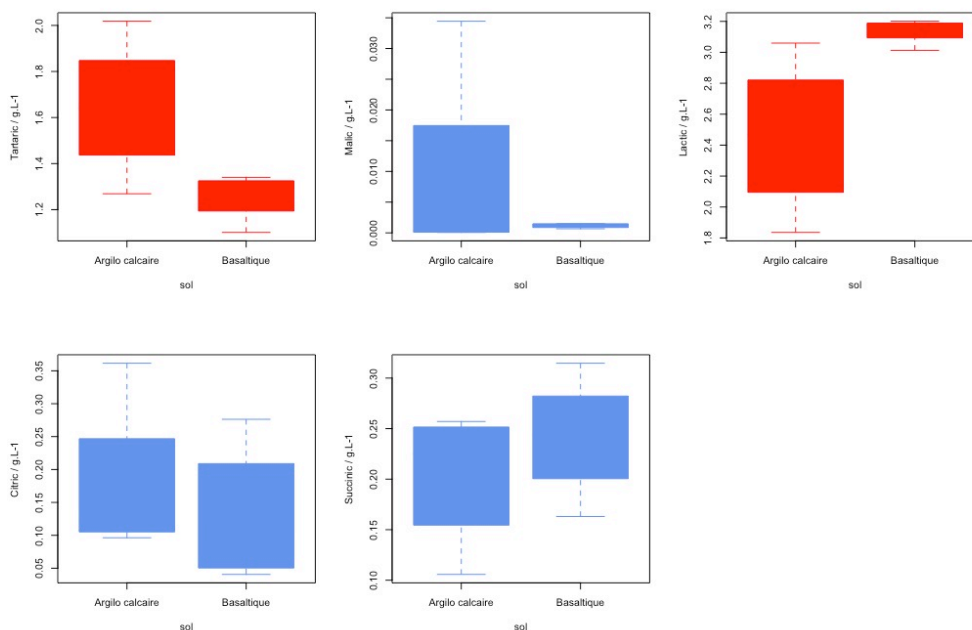


Figure 5 : Concentrations des principaux acides organiques présents dans les 4 vins issus des parcelles argilo-calcaires vs basaltiques.

2. Paramètres liés à la couleur des vins

Les valeurs moyennes de coordonnées tristimulaires des vins (L,a,b,C,h), les valeurs d'absorbance à 420, 520 et 620 nm, la teinte, l'intensité colorante IC ainsi que les analyses globales en composés phénoliques (IPT), anthocyanes (ANT) et tannins (TAN) sont données sur le Tableau 1 ci-dessous.

Parmi les différents paramètres analysés, il apparaît que la composante jaune, mesurée par la coordonnée tristimulaire b, ainsi que la valeur de la teinte des vins (correspondant à la prédominance de la couleur jaune devant la couleur

rouge, également appelée nuance) permettent une différenciation des vins issus des deux types de parcelles avec un intervalle de confiance de 95%, ces valeurs étant plus élevées pour les vins des parcelles volcaniques.

Les valeurs moyennes de teneurs en anthocyanes retrouvées dans les vins ne sont pas différenciantes bien que l'on puisse observer une tendance à être plus élevées pour les vins provenant des parcelles argilo-calcaires. Pour la teneur en composés phénoliques (IPT) et pour la charge tannique (TAN), il y a une tendance à une augmentation de ces deux paramètres sur les vins issus des sols basaltiques mais avec une grosse variabilité entre les différents producteurs qui ne permet pas d'être visualisée avec ce traitement de données. Pour ces deux paramètres, de gros écarts-types permettent toutefois d'avoir une idée de l'importance des variabilités.

Tableau 1 : Valeurs moyennes et écarts-types des 4 vins issus des parcelles argilo-calcaires vs basaltiques. La valeur de p correspond au test de student, il est significatif lorsqu'il est en dessous de 0,05 et indiqué par le symbole *.

	Argilo-Calcaire	Basaltique	Valeur de p
L	76.11 ± 6,52	78.58 ± 6,52	0,580
a	32.43 ± 6.64	23.49 ± 4.59	0.068
b	-2.37 ± 0.49	1.47 ± 2.51	0.024 *
C	32.52 ± 6.63	23.65 ± 4.46	0.069
h	355.74 ± 0.86	184.21 ± 201.33	0.139
A420	0.289 ± 0.08	0.31 ± 0.06	0.681
A520	0.52 ± 0.15	0.42 ± 0.10	0.326
A620	0.09 ± 0.03	0.11 ± 0.03	0.429
Teinte	0.56 ± 0.03	0.74 ± 0.07	0.002 *
IC	8.92 ± 2.61	8.35 ± 1.82	0.732
IPT	44.89 ± 12.06	55.92 ± 18.48	0.356
ANT (g.L ⁻¹)	0.34 ± 0.09	0.26 ± 0.03	0.132
TAN (g.L ⁻¹)	2.10 ± 1.43	2.87 ± 1.89	0.541

Cette variabilité est visualisée sur la Figure 6 pour ces trois derniers paramètres qui rendent compte de l'extractibilité des composés phénoliques, anthocyanes et tannins des raisins lors des étapes de macération des différents producteurs. Les domaines DP et DTP présentent systématiquement des valeurs plus élevées en IPT et tannins pouvant correspondre à une spécificité de techniques d'extractibilité ou de stabilisation de ces composés lors des étapes de macération (Annexe 1).

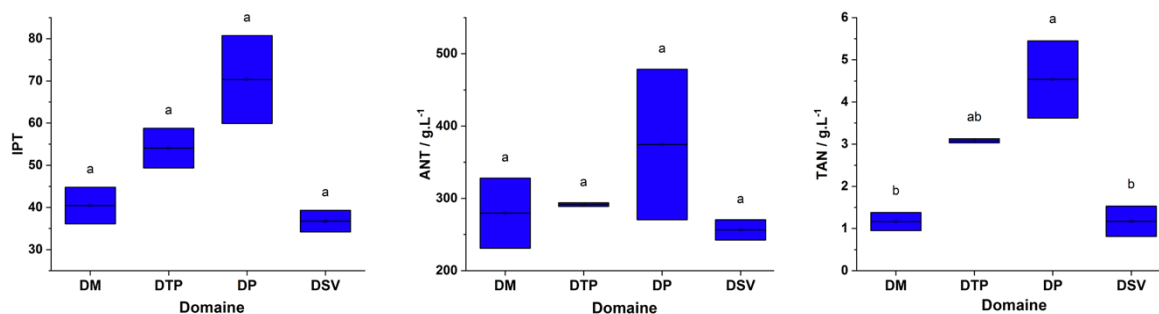


Figure 6 : Teneurs en IPT, anthocyanes et tannins présents dans les vins issus des deux parcelles pour les quatre domaines de l'étude. Les lettres a et b représentent la significativité des différences des valeurs par paramètre mesuré entre domaines.

3. Empreinte moléculaire des vins

L'empreinte moléculaire des vins de Gamay, obtenue par fluorescence tridimensionnelle, permet de réaliser un regroupement de familles chimiques des vins par des composantes définies par un modèle statistique appelé PARAFAC et générant 4 composantes, soit F_{max1} , F_{max2} , F_{max3} et F_{max4} . La Figure 7A illustre un exemple de cartographie moléculaire obtenue par fluorescence tridimensionnelle sur vin rouge Gamay du domaine DM issu d'une parcelle argilo-calcaire (DMAT4). La Figure 7B, qui présente l'ensemble des valeurs suite à un traitement par analyse de variance comparant l'effet sol, fait apparaître une augmentation des valeurs de F_{max1} , F_{max2} et F_{max3} pour les vins issus des sols basaltiques vs sols argilo-calcaires, mais dont les significativités sont en dessous du seuil de 95%. Il apparaît néanmoins (Figure 7C) que le modèle statistique généré à l'aide des indicateurs F_{max1} , F_{max2} , F_{max3} et F_{max4} permet de distinguer l'origine argilo-calcaire ou basaltique sur les vins, et ceci pour les quatre domaines étudiés. Ce modèle est essentiellement dirigé par la composante F_{max1} , composante qui est très fortement corrélée à la composante en anthocyanes. Cela pourrait signifier que la distribution des molécules d'anthocyanes dans les vins pourrait affecter cette distinction de composition moléculaire des vins en fonction des deux types de parcelles. Le modèle fait également ressortir deux groupes de domaines [DM et DSV] et [DTP et DP] potentiellement attribuable à une extractibilité différente des composés phénoliques lors des étapes de macération pour les deux groupes.

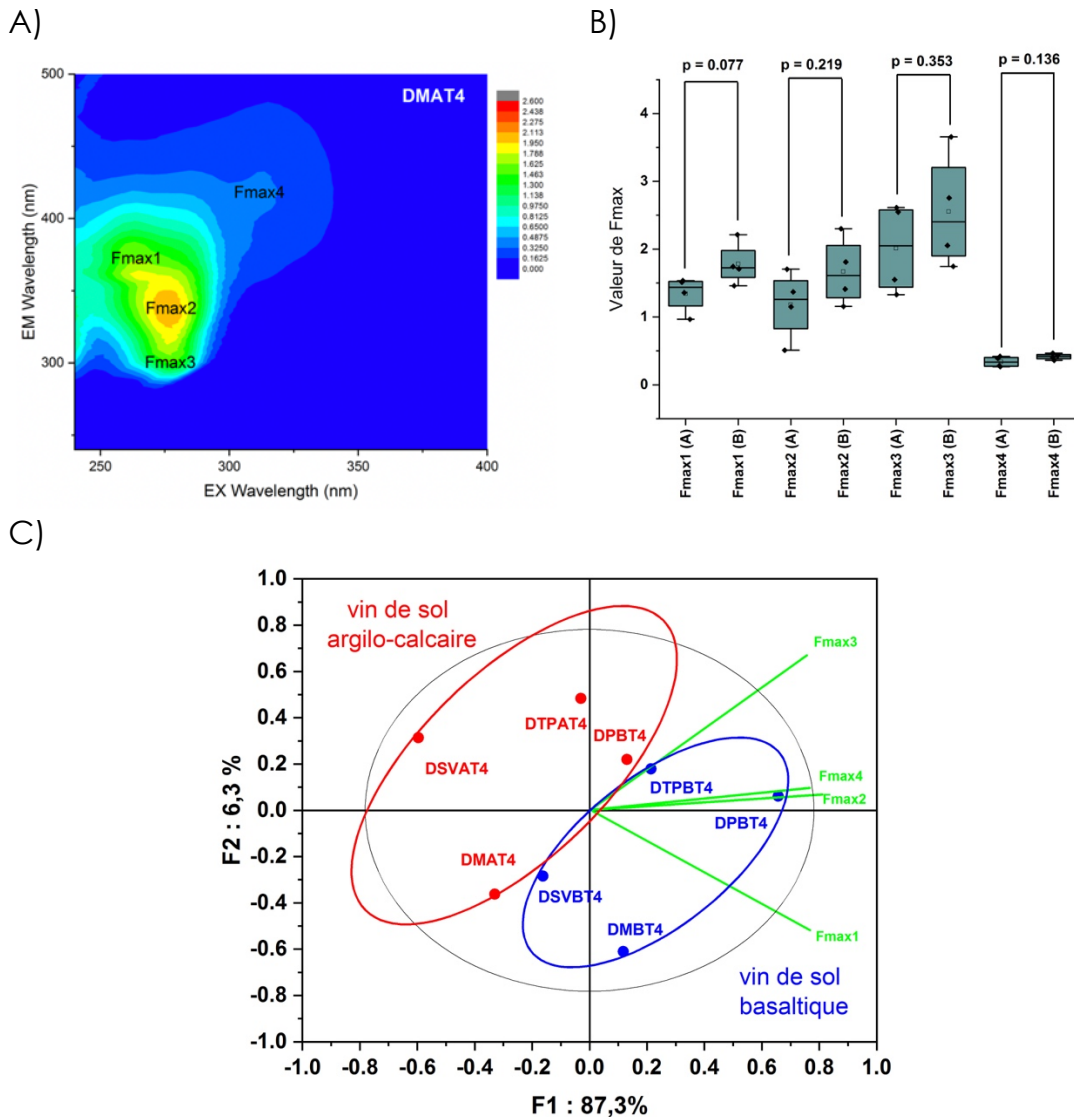


Figure 7 : (A) Cartographie de fluorescence tridimensionnelle sur vin rouge Gamay du domaine DM issu de la parcelle argilo-calcaire. (B) Analyse de variance des différents paramètres Fmax 1, 2, 3 et 4 entre les deux types de parcelles argilo-calcaire vs basaltique. (C) Analyse dirigée de type analyse discriminatoire par régression des moindres carrés basée sur la distinction des vins en fonction du type de parcelle qui permet de regrouper les 4 vins indépendamment du producteur.

4. Empreinte minérale des vins

L'étude de la composante minérale des vins a été réalisée en analysant les éléments suivants : Al, B, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Sr, Zn. Le cadmium et l'arsenic ont également été recherchés mais non retrouvés dans les vins à la limite de détection analytique de 0,2 µg/L. Parmi les différents éléments minéraux retrouvés dans les vins, seuls le **sodium (Na)**, le **strontium (Sr)** et le **manganèse (Mn)** ont permis une différenciation des vins de Gamay en fonction des deux types de parcelles. La Figure 8 indique les concentrations de ces trois éléments minéraux retrouvés dans les vins : le strontium et le sodium

sont statistiquement plus abondants dans les vins de sols basaltiques et le manganèse plutôt plus abondant dans les vins de sols sédimentaires.

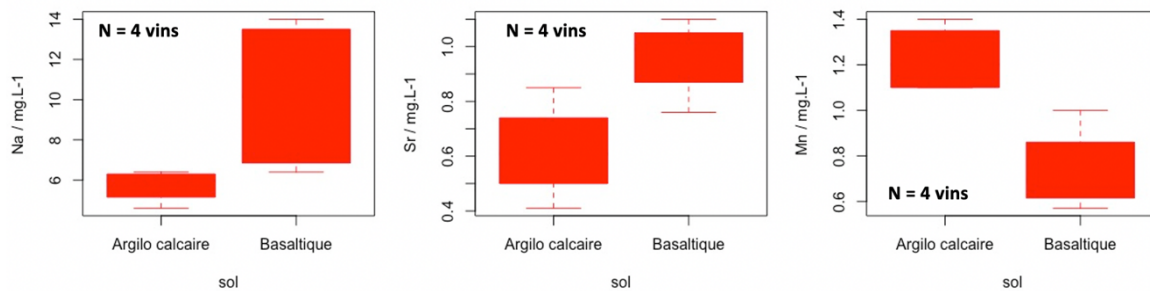


Figure 8 : Concentrations en éléments minéraux sodium (Na), strontium (Sr) et manganèse (Mn) retrouvées dans les vins issus des deux types de parcelles de l'étude.

Par analyse corrélative dirigée sur l'origine du sol dans les vins et en maintenant un intervalle de confiance de 95 %, les trois éléments cités précédemment sont les seuls à présenter des corrélations statistiquement validées.

Néanmoins, nous pouvons commenter cet effet sol sur les autres éléments et nous retrouvons que certains éléments ont tendance à davantage être présents dans les vins de sols basaltiques comme pour le potassium (K), précédemment présenté sur la Figure 4, et le bore (B). Au contraire, parmi les huit autres éléments analysés dans les vins (Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Zn), nous notons que le baryum (Ba), le calcium (Ca) et le cobalt (Co) ont une tendance claire à être plus abondants dans les vins de sols argilo-calcaires comparativement aux sols basaltiques, les autres éléments montrant des tendances moins claires sur la base des résultats analytiques retrouvés en Annexe 2. Néanmoins, derrière cette non significativité se cache de nouveau une grande variabilité de ces éléments dans les vins issus des 4 producteurs. Afin d'éclaircir ce point, une analyse non supervisée des 13 éléments analysés dans les vins des 4 producteurs a été faite et est présentée sur la Figure 9.

Celle-ci montre que les deux composantes du modèle non supervisé expliquent 59 % de la variabilité de la composition élémentaire des vins. Elle permet également de retrouver un poids plus important des variables Na, Sr, B et K dans les vins issus de parcelles volcaniques, sans aucune indication avec cette analyse de leur significativité. Et au contraire, elle permet de trouver le poids plus important des autres variables Mn, Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Zn dans les vins issus de parcelles argilo-calcaires. Cette représentation montre également une dispersité de la composition élémentaire des différents vins avec certains qui se regroupent, notamment les vins issus des parcelles basaltiques des domaines DM et DSV, par une fort poids dans la modélisation de la variable Na, et visualisée en Annexe 2 par des valeurs plus fortes de cet élément dans ces vins avec des concentrations de 14 et 13 mg/L, respectivement. De la même manière, les vins issus des parcelles argilo-calcaires des domaines DTP et DP sont très proches en composition élémentaire dans leur vin.

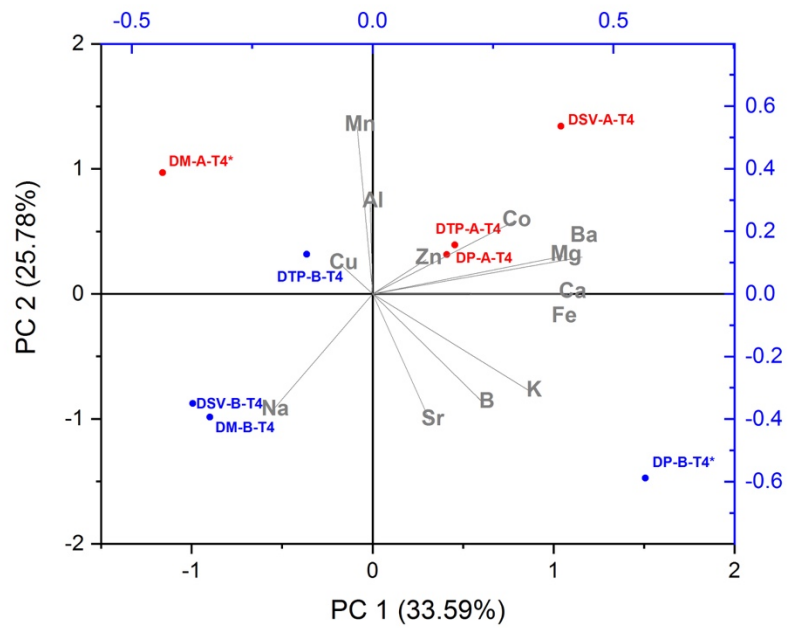


Figure 9 : Analyse en composante principale de l'analyse élémentaire des vins Gamay de l'AOC Côtes d'Auvergne issus des deux parcelles pour les quatre domaines de l'étude portant sur le millésime 2020.

ANALYSE DU CONTINUUM MOÛTS/VINS DE L'AOC COTES D'AUVERGNE – MILLESIME 2020

Afin de mettre en avant le continuum moût/vins, nous avons réalisé une analyse globale non supervisée sur l'analyse chimique des 9 moûts à disposition, comparativement à l'analyse des 10 vins de Gamay. La Figure 10A met en avant l'ensemble des données générées lors de cette étude pour l'ensemble des analyses effectuées aux quatre stades de prélèvement. Elle est obtenue par une analyse en composante principale qui permet de séparer les 9 moûts de Gamay aux stades T1 et T2 des vins de Gamay aux stades T3 et T4 sur la première composante PC1 traduisant 56,6 % de la variabilité des données. Elle permet de déterminer la contribution des différentes variables chimiques mesurées sur les moûts.

Les moûts présentent des valeurs de coordonnées tristimulaires L (mesure de la luminosité), b (mesure de la composante jaune), teinte (prédominance de la couleur jaune devant la couleur rouge) et de concentration en éléments minéraux calcium, potassium, cuivre et aluminium significativement plus importantes comparativement aux vins. La concentration en zinc a tendance à diminuer dans ce continuum mais est non significative. La diminution de ces paramètres dans les vins de Gamay est sûrement à attribuer aux étapes fermentaires et aux étapes de précipitation au cours des étapes de vinifications/macérations.

Au contraire, les concentrations de certains éléments comme le bore et le magnésium, et les valeurs de Fmax, d'intensité colorante et d'absorbance A420 et A520 sont statistiquement plus faibles dans les moûts de raisin de Gamay comparativement aux vins, voire même non détectés dans les moûts comme pour le cobalt. Il y a une tendance identique mais non statistique pour les éléments strontium, sodium, manganèse, fer, barium et la valeur d'absorbance A620. Cette augmentation au cours des étapes de macération doit conduire à une extractibilité préférentielle de ces différents éléments, ce qui fait qu'on les retrouve plus abondamment présents sur vins aux stades T3 et T4.

Afin d'identifier des marqueurs chimiques du sol d'origine de production des raisins Gamay, un travail identique a été mené mais avec une moins bonne fiabilité du fait du manque de données. Parmi l'ensemble des données, seul l'élément Strontium est de nouveau apparu comme discriminant les moûts de sols basaltiques comparativement aux moûts de sols argilo-calcaires (Figure 10B).

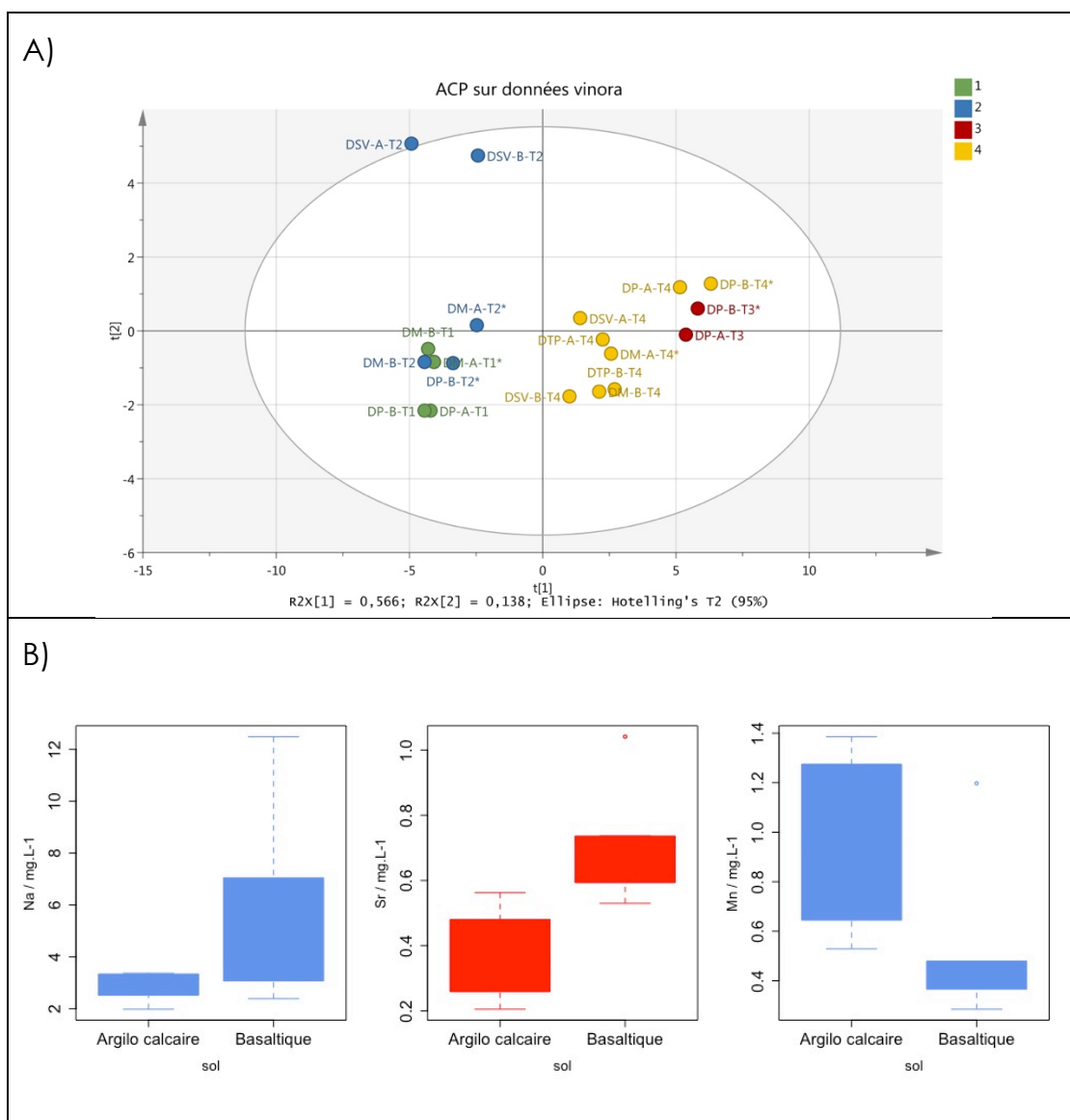


Figure 10 : (A) Analyse en composante principale des différentes analyses chimiques réalisées sur moûts (N=9) et vins (N=10) de Gamay de l'AOC Côtes d'Auvergne pour le millésime 2020. (B) Valeurs des concentrations en sodium, strontium et manganèse sur moûts (N=9) permettant de différencier l'effet sol et validé par une analyse de variance au seuil de significativité de 95%.

ANALYSE SENSORIELLE DES VINS DE GAMAY DE L'AOC COTES D'AUVERGNE – MILLESIME 2020

Un panel de vingt dégustateurs chevronnés français et canadiens sélectionnés pour leur capacité reconnue à détecter divers paramètres ciblés d'un vin a été mis en place pour réaliser l'analyse sensorielle des huit vins de Gamay au stade T4 faisant l'objet de cette étude (vins finis embouteillés avec une fermentation malolactique terminée). Parmi ces dégustateurs, on retrouve plusieurs producteurs de vins, des sommeliers de haut calibre (MS, MW), des écrivains du vin et des enseignants chercheurs liés au domaine du vin.

La tâche confiée aux dégustateurs consistait à quantifier, sur une échelle comprise entre 1 et 10, l'intensité de leurs perceptions liées aux sept paramètres suivants pour l'ensemble des vins préalablement numérotés aléatoirement et dégustés à l'aveugle : la couleur (de rouge jaunâtre à rouge bleuté), l'acidité volatile, l'acidité totale, la salinité, l'astringence des tannins, le caractère lactique et le caractère poivré.

Cet exercice, une fois complété, nous a permis d'identifier toute correspondance avec les analyses chimiques des mêmes vins dont les résultats ont déjà été présentés dans ce rapport. Mentionnons ici que les dégustateurs n'ont pas été instruits sur les tendances qui se sont dégagées de ces analyses afin de respecter la neutralité nécessaire au projet. La seule indication qui leur a été faite (qui a d'ailleurs fortement contribué à leur participation bénévole) est que certains échantillons de vin avaient été produits à partir de vignes cultivées dans des sols dérivés d'une géologie de nature volcanique (basalte), et d'autres de sols à caractère argilo-calcaire.

1. Dégustation comparative : vins issus des parcelles argilo-calcaires vs basaltiques

Les Figures 11 à 14 comparent, par producteur et sous forme de graphes RADAR, les résultats des analyses chimiques et sensorielles des vins issus des parcelles argilo-calcaires et basaltiques pour chacun des sept paramètres organoleptiques cités plus haut. Seul le caractère poivré associé à la rotundone n'a pas été analysé chimiquement lors de ce projet. Les paramètres identifiés d'un astérisque (*), soient la couleur, l'acidité volatile, la salinité et le caractère lactique (rondeur en bouche), ont montré une discrimination statistique entre les deux types de sols lors des analyses chimiques. Par ailleurs, les paramètres accompagnés d'un losange rouge (♦) ont présenté une discrimination significative mais non statistique lors de l'analyse sensorielle ; ces paramètres varient suivant le producteur.

La Figure 11 illustre les résultats associés aux vins du Domaine Tour de Pierre. Les graphes RADAR montrent que les dégustateurs ont globalement perçu les variations de couleur, d'acidité volatile, d'acidité totale et du caractère lactique des vins issus des deux types de sols avec la même tendance que

celle mesurée lors des analyses chimiques, avec une discrimination marquée pour les deux derniers paramètres. En effet, au moins 15 dégustateurs sur 20 (75%) ont noté les tendances révélées par les analyses chimiques pour l'acidité totale et le caractère lactique, avec des variations généralement claires entre les deux vins. De plus, fait intéressant, le caractère poivré du vin issu du sol basaltique a globalement été détecté avec plus d'intensité. Par contre, la salinité (peu de différence notée) et l'astringence des vins (liée aux tannins) ont été perçues sensoriellement avec une tendance inverse par rapport à celle mesurée lors des analyses chimiques. L'acidité plus élevée du vin issu du sol argilo-calcaire contribue très certainement à cet état de fait (on sait qu'une acidité plus élevée augmente la perception de salinité et d'astringence).

Domaine Tour de Pierre

Analyses chimique et sensorielle

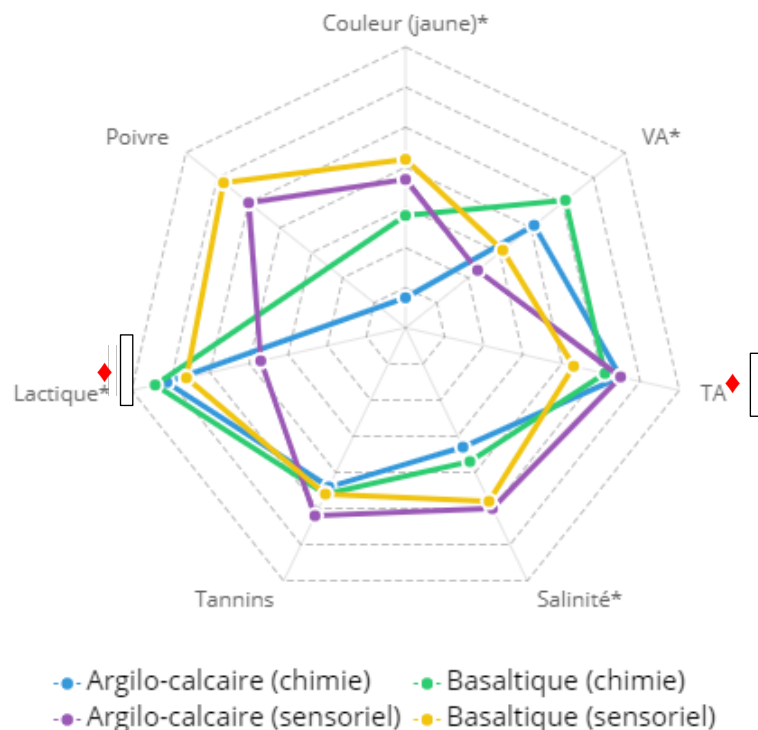


Figure 11 : Graphes RADAR associés aux analyses chimique et sensorielle des vins de Gamay du Domaine Tour de Pierre de l'AOC Côtes d'Auvergne pour le millésime 2020, issus de parcelles argilo-calcaire et basaltique, en regard de sept paramètres organoleptiques. * : paramètres ayant montré une discrimination statistique entre les deux types de sols (analyses chimiques) ; ♦ : paramètres ayant montré une discrimination significative non statistique (analyse sensorielle).

La Figure 12 présente les résultats associés aux vins de la Cave Pélissier qui montrent beaucoup moins de distinctions perçues au niveau sensoriel entre les échantillons issus des deux types de sols comparativement au producteur précédent. Cela est d'autant plus surprenant que les analyses chimiques ont signalé des différences plutôt marquées pour quatre des six paramètres ayant fait l'objet de mesures. Malgré les faibles différentiations sensorielles, nous notons toutefois avec intérêt que les dégustateurs ont globalement perçu les

variations de couleur, d'acidité totale (paramètre le plus différencié), de salinité, d'astringence et du caractère lactique des vins issus des deux types de sols (soit cinq paramètres sur les six analysées chimiquement) avec la même tendance que celle mesurée lors des analyses chimiques. La différence de perception d'acidité moins marquée entre les vins de ce producteur par rapport au précédent pourrait partiellement expliquer les perceptions de salinité et d'astringence des tannins plus élevées (même si les différences demeurent faibles) associées au vin issu du sol basaltique, en lien avec les tendances mesurées lors des analyses chimiques. Notons enfin, que cette fois, le caractère poivré du vin issu du sol argilo-calcaire a globalement été détecté avec légèrement plus d'intensité par les dégustateurs.

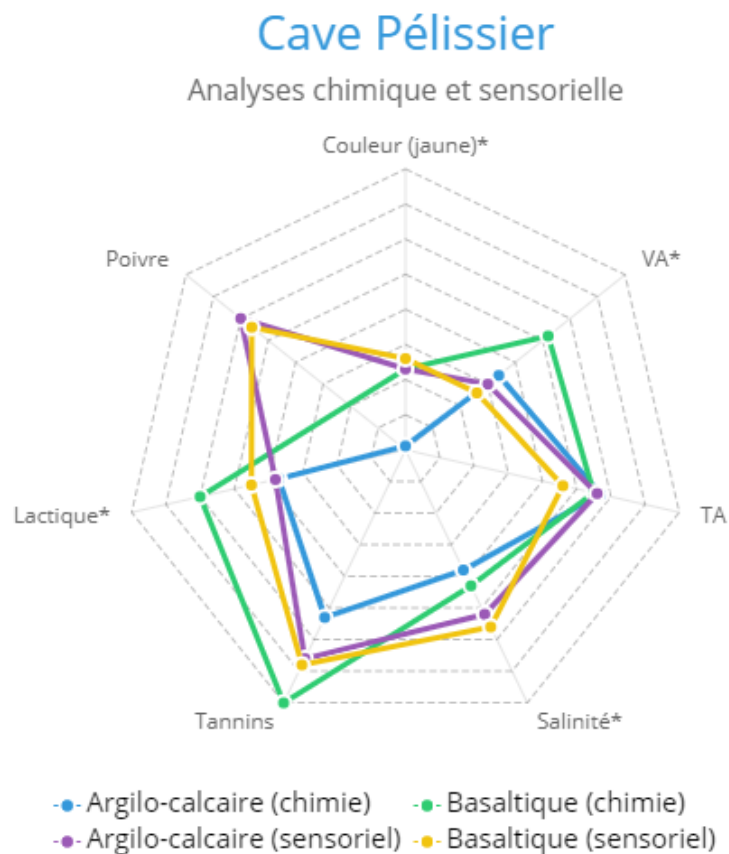


Figure 12 : Graphes RADAR associés aux analyses chimique et sensorielle des vins de Gamay de la Cave Pélissier de l'AOC Côtes d'Auvergne pour le millésime 2020, issus de parcelles argilo-calcaire et basaltique, en regard de sept paramètres organoleptiques. * : paramètres ayant montré une discrimination statistique entre les deux types de sols (analyses chimiques).

La Figure 13 illustre les résultats associés aux vins de la Cave Desprat Saint VERNY. On constate que les dégustateurs ont globalement perçu les variations de d'acidité totale et du caractère lactique des vins issus des deux types de sols avec la même tendance que celle mesurée lors des analyses chimiques, avec une discrimination marquée pour ces deux paramètres. Les résultats de l'analyse sensorielle de ces vins montrent effectivement que 89% et 74% des dégustateurs ont noté les tendances révélées par les analyses chimiques pour l'acidité totale et le caractère lactique, respectivement, avec des variations

généralement claires entre les deux vins. Par ailleurs, nous remarquons, non sans surprise, que la couleur des vins issus des deux types de sols n'a pas globalement été différenciée, bien que l'analyse chimique de ces mêmes vins montre au contraire une différenciation très marquée (la plus significative des quatre producteurs de l'étude). Mentionnons que le caractère poivré du vin issu du sol basaltique a globalement été détecté avec plus d'intensité, comme ce fut le cas pour le Domaine Tour de Pierre.

La Figure 13 montre également que l'acidité volatile, la salinité et l'astringence des vins ont été perçues sensoriellement avec une tendance inverse par rapport à celle mesurée lors des analyses chimiques. Comme dans le cas du Domaine Tour de Pierre, l'acidité plus élevée du vin issu du sol argilo-calcaire contribue très certainement aux tendances inverses notées pour les paramètres salinité et astringence. La tendance inverse observée pour l'acidité volatile, pourtant détectée en concentration trois fois plus élevée pour le vin issu du sol basaltique lors de l'analyse chimique, s'explique par une déviation acétique qui se serait produite en bouteille après les analyses, davantage pour le vin issu du sol argilo-calcaire, ce qui a d'ailleurs été rapporté par une majorité de dégustateurs, et avec une discrimination marquée, lors de l'analyse sensorielle.

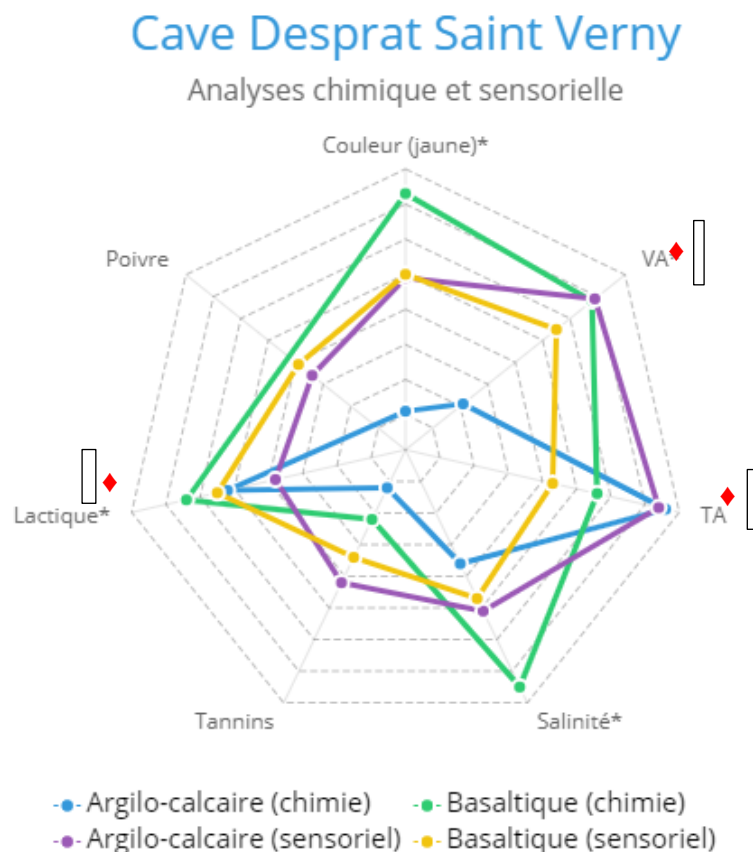


Figure 13 : Graphes RADAR associés aux analyses chimique et sensorielle des vins de Gamay de la Cave Desprat Saint Verny de l'AOC Côtes d'Auvergne pour le millésime 2020, issus de parcelles argilo-calcaire et basaltique, en regard de sept paramètres organoleptiques. * : paramètres ayant montré une discrimination statistique entre les deux types de sols (analyses chimiques) ; ♦ : paramètres ayant montré une discrimination significative non statistique (analyse sensorielle).

La Figure 14 présente les résultats associés aux vins du Domaine Miolanne. Les graphes RADAR montrent que les dégustateurs ont globalement perçu les variations de couleur, d'acidité totale, de salinité et du caractère lactique des vins issus des deux types de sols avec la même tendance que celle mesurée lors des analyses chimiques, avec une discrimination marquée pour le paramètre salinité (68% des dégustateurs dont la très grande majorité ont noté une variation claire entre les deux vins pour ce paramètre gustatif). Nous remarquons également que l'astringence des vins issus des deux types de sols n'a pas globalement été différenciée ; l'acidité plus élevée du vin issu du sol argilo-calcaire contribue probablement, tel que discuté précédemment, à atténuer la différence perçue par les dégustateurs, considérant la plus grande concentration en tannins mesurée pour le vin issu du sol basaltique. Par ailleurs, tel que constaté pour les vins de deux autres producteurs, le caractère poivré du vin issu du sol basaltique a globalement été détecté avec plus d'intensité.

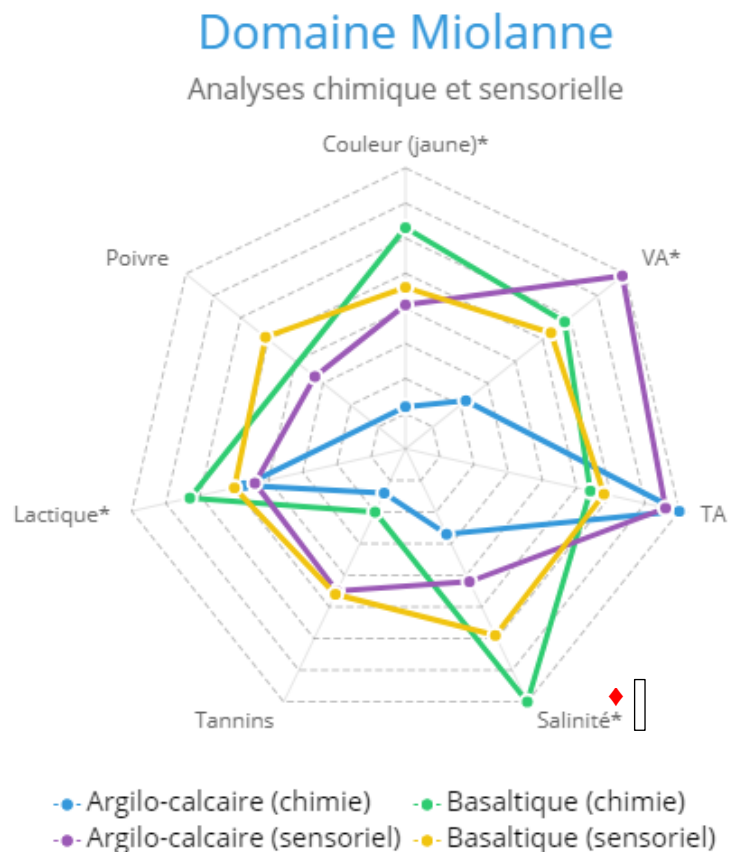


Figure 14 : Graphes RADAR associés aux analyses chimique et sensorielle des vins de Gamay du Domaine Miolanne de l'AOC Côtes d'Auvergne pour le millésime 2020, issus de parcelles argilo-calcaire et basaltique, en regard de sept paramètres organoleptiques. * : paramètres ayant montré une discrimination statistique entre les deux types de sols (analyses chimiques) ; ♦ : paramètres ayant montré une discrimination significative non statistique (analyse sensorielle).

La tendance inverse observée pour l'acidité volatile, pourtant détectée en concentration 2½ fois plus élevée pour le vin issu du sol basaltique lors de l'analyse chimique, s'explique encore une fois par une déviation acétique qui se serait produite en bouteille après les analyses, beaucoup plus importante

pour le vin issu du sol argilo-calcaire, ce qui a d'ailleurs été rapporté par 84% des dégustateurs avec une discrimination bien marquée lors de l'analyse sensorielle.

2. Paramètres organoleptiques qui semblent distinguer le plus les vins volcaniques

Suite aux résultats de l'analyse sensorielle des huit vins de Gamay de l'AOC Côtes d'Auvergne sur le millésime 2020 de la présente étude, nous avons tenté de dégager les paramètres organoleptiques les plus susceptibles de distinguer les vins issus de sols basaltiques de ceux liés aux sols argilo-calcaires. La section précédente montre que la couleur (rouge davantage teintée de jaune), une acidité totale plus faible, un caractère lactique plus élevé (rondeur en bouche accrue) ainsi qu'un caractère poivré plus accentué distinguent les vins volcaniques étudiés dans ce projet. Une distribution différente des molécules d'anthocyanes caractérisant ces vins explique probablement leur teinte plus jaunâtre. Par ailleurs, pour 50% des producteurs, la pratique d'une macération carbonique uniquement sur les moûts liés au sol basaltique a pu contribuer à une diminution de l'acidité totale des vins issus de leur fermentation (une portion non négligeable d'acide malique est alors métabolisée).

En dépit d'une concentration en tannins plus importante dans les vins issus de sols basaltiques (telle que mesurée lors des analyses chimiques et possiblement en lien avec des temps de macération plus longs lors des vinifications), la perception d'astringence ne suit pas toujours cette tendance ; l'acidité plus élevée des vins issus des sols argilo-calcaires contribue certainement à cet état de fait tel que mentionné précédemment. La même explication peut être suggérée pour comprendre la perception de salinité qui est, dans 50% des cas de cette étude, légèrement plus élevée pour les vins issus de sols argilo-calcaires. Rappelons toutefois, avec intérêt, que pour l'un des producteurs, la salinité a été perçue plus importante pour le vin lié au sol basaltique, avec une discrimination marquée, en dépit de la plus faible acidité de ce vin par rapport au vin issu du sol argilo-calcaire.

Finalement, une déviation acétique qui se serait produite en bouteille après les analyses chimiques, beaucoup plus importante pour les vins issus du sol argilo-calcaire de deux producteurs, explique la perception d'acidité volatile beaucoup plus marquée pour ces vins, notée lors de l'analyse sensorielle de l'étude.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

A l'issue de cette étude scientifique, neuf moûts et dix vins de Gamay de l'AOC Côtes d'Auvergne ont été chimiquement caractérisés dans le but d'identifier des marqueurs de terroir volcanique. Pour cela, deux typologies de parcelles ont été sélectionnées : sédimentaires avec des sols plutôt argilo-calcaires et volcaniques avec un substratum dominé par le basalte. Quatre producteurs de l'AOC ont réalisé des vinifications parcelaires sur le millésime 2020. Les deux types de parcelles se sont révélées géochimiquement distinctes et présentant un déficit hydrique faible, et encore plus faible pour les quatre parcelles basaltiques comparativement aux quatre parcelles argilo-calcaires ($p=0,075$). Les différentes analyses œnologiques conduites ont permis de distinguer des paramètres statistiquement plus importants dans les vins de sols basaltiques comparés aux vins de sols argilo-calcaires pour les quatre producteurs. Parmi ces paramètres, on retrouve le pH, l'acidité volatile, l'acide lactique, la coordonnée tristimulaire b, la teinte, le sodium et le strontium. Au contraire, ces mêmes vins présentaient une plus faible concentration en manganèse comme révélée par les tests de lixiviation des sols. Lorsque ces mêmes analyses sont conduites sur les moûts, parmi les éléments minéraux seul le strontium apparaît de nouveau statistiquement plus abondant dans les moûts de raisin Gamay de parcelles basaltiques comparativement aux parcelles argilo-calcaires.

L'analyse sensorielle des huit vins au stade T4 de l'étude (vins finis embouteillés avec une fermentation malolactique terminée), couplée à l'analyse chimique, a permis de croiser les différents paramètres dans le but de renforcer les attributs volcaniques des vins de l'AOC Côtes d'Auvergne. Il ressort de cette analyse, réalisée par un panel de vingt dégustateurs chevronnés français et canadiens, que les vins issus des sols basaltiques se distinguent par leur couleur (rouge davantage teintée de jaune), leur perception d'acidité moins intense, leur rondeur en bouche accrue (liée au caractère lactique) ainsi qu'à leurs notes poivrées plus accentuées. De plus, concernant l'un des producteurs ayant participé à l'étude, la perception de salinité du vin issu du sol basaltique s'est avérée beaucoup plus importante (discrimination marquée dans ce cas précis).

L'étude révèle que l'effet producteur est important, visualisé par la prédominance de certains paramètres analytiques révélateurs d'étapes de macération et de fermentations, et qui rendent certains paramètres œnologiques statistiquement non discriminants. Afin de les révéler, des **microvinifications** sont fortement suggérées pour maîtriser les effets des différents itinéraires de vinification.

Dans le cadre d'une poursuite d'étude, il serait également intéressant de réaliser un travail de **caractérisation du matériel végétal au vignoble**, notamment lors de la phase de maturation du raisin en mettant l'accent sur la fraction minérale, composition en acides organiques et en l'étendant aux composés phénoliques, notamment aux molécules d'**anthocyanes** dont

certaines se révèlent particulièrement intéressantes vis-à-vis de leur accumulation spécifique à certains terroirs des vins rouges, tel que d'ailleurs révélé lors de l'analyse sensorielle. Un travail portant sur la valorisation du terroir volcanique conféré au vin au travers de ses attributs chimiques et sensoriels par une **optimisation des différentes pratiques de macération et des étapes fermentaires** serait intéressant à mener afin de conseiller la filière viticole.

Afin de tenir compte de la diversité des terroirs volcaniques présents sur l'appellation AOC Côtes d'Auvergne, il serait pertinent d'envisager de poursuivre l'étude en intégrant **d'autres typologies de vignoble**, ce qui pourrait permettre de générer un modèle robuste des vins de Gamay issus de ces sols, et de poursuivre l'étude sur **au moins deux millésimes** pour prendre l'effet climatologique dans la définition du terroir volcanique dans les vins de l'AOC Côtes d'Auvergne.

ANNEXES

Annexe 1 : Paramètres de viticulture/vinification des 4 producteurs de vins Gamay Côtes d'Auvergne

Domaine	Domaine Miolanne (DM)		Domaine La Tour de Pierre (DTP)		Cave Pélissier (DP)		Desprat Saint VERNY (DSV)	
	Argilo-calcaire (A)	Basaltique (B)	Argilo-calcaire (A)	Basaltique (B)	Argilo-calcaire (A)	Basaltique (B)	Argilo-calcaire (A)	Basaltique (B)
Localité	Neschers	La Roche Blanche	Plauzat	La Roche Blanche	Boudes	Boudes	St Georges	Ceyssat
Coord GPS (deg. déc.)	45,594071 3,154407	45,714533 3,138968	45,613737 3,145008	45,713019 3,140041	45,459559 3,187709	45,45804 3,178225	45,712068 3,232974	45,709321 3,265069
Altitude / m	480 m	435 m	466 m	420 m	485 m	567 m	429 m	430 m
Taille de la parcelle (ha)	0,5 ha	0,5 ha	40 a	86 a	1,3 ha	75 a		
Encépagement (pieds/ha)	4600	10 000	10 000	10 000	4000	9000		
Age de la vigne	5 ans et 25 ans (50%)	100 ans	100 ans	100 ans	25 ans	> 100 ans		
Rendement moyen : poids/volume jus	6T /ha	5,6T/64a	35 hL/ha	40 hL/ha	25hL/ha	15 hL/ha	80 kg raisin / 50 L	80 kg raisin / 50 L

Modalités préfermentaires	Manuelle, Eraflée, Macération 10-12 jrs, Sulfitage (3g/hL), Raisins non foulés	Manuelle, Entière, Macération carbonique 15jrs, Sulfitage (3g/hL)	Manuelle, Entière, Macération 10 jrs avec remontage délestages, Sulfitage (3g/hL), Pressurage horizontal 3 bars	Manuelle, Entière, Macération carbonique 21 jrs, Sulfitage (3g/hL), Pressurage horizontal 4 bars	Manuelle, Entière, Macération 10 jrs avec remontage délestage, Sulfitage (3g/hL), Pressurage horizontal 2 bars	Manuelle, Entière, Macération 21 jrs avec Remontage délestage, Sulfitage (3g/hL), Pressurage horizontal 2 bars	Mécanique Eraflée, Pigeage manuel Sulfitage (3g/hL)	Mécanique Eraflée, Pigeage manuel, Sulfitage (3g/hL)
Vinification	Indigène Ajout azote (15g/hL) Sulfitage (3g/hL)	Indigène Ajout azote (15g/hL) Sulfitage (3g/hL)	Levurage (BiFraiche 20 g/hL) Ajout azote 20 g/hL)	Levurage BCS 20 g/hL) Ajout azote (20g/hL)	Levurage Gala (20g/hL), Ajout des lies de cuvées basaltiques	Levurage Gala (20g/hL)	Indigène Ajout azote (15g/hL) Sulfitage (3g/hL)	Indigène Ajout azote (15g/hL) Sulfitage (3g/hL)

Annexe 2 : Analyses chimiques réalisées sur les 10 vins de l'étude Vinora

Echantillons	Paramètres reliés à la couleur													Paramètres reliés à l'acidité									
	IPT	ANT (mg/L)	TAN (g/L)	A420	A520	A620	IC	Teinte	L*	a*	b*	c	H	Ethanol	AT (g/L H2SO4)	pH	densité (g/cm3)	AV (g/L H2SO4)	A. Tartrique (g/L)	A. Malique (g/L)	A. Lactique (g/L)	A. Citrique (g/L)	A. Succinique (g/L)
DM-A-T4*	36,11	328,1	0,946	0,313	0,595	0,102	10,1	0,526	72,86	37,04	-1,95	37,09	356,98	12,42	5,42	3,49	0,995	0,22	1,269	0,034	2,354	0,132	0,106
DM-B-T4	44,79	231,0	1,380	0,314	0,415	0,107	8,36	0,757	79,45	22,80	3,11	23,02	7,77	13,3	3,65	3,7	0,9921	0,58	1,101	0,002	3,174	0,276	0,163
DTP-A-T4	49,35	294,0	3,030	0,217	0,39	0,06	6,67	0,556	81,33	27,54	-2,41	27,65	355,01	12,67	3,7	3,47	0,9917	0,41	1,605	0,000	3,060	0,096	0,246
DTP-B-T4	58,79	288,8	3,130	0,243	0,35	0,087	6,8	0,694	82,06	21,72	-0,42	21,72	358,89	12,11	3,44	3,76	0,9917	0,51	1,310	0,001	3,201	0,041	0,250
DP-A-T3	60,06			0,332	0,767	0,099	11,98	0,433	68,91	46,08	-4,51	46,3	354,41	13,35	3,55	3,47	0,9911	0,28					
DP-A-T4	59,90	478,6	3,620	0,38	0,69	0,133	12,03	0,551	68,5	39,16	-3,05	39,28	355,54	13,45	3,87	3,6	0,9934	0,34	2,018	0,000	1,836	0,114	0,257
DP-B-T3*	79,88			0,349	0,487	0,173	10,09	0,717	73,9	24,38	-1,06	24,4	357,52	13,2	3,08	3,72	0,9931	0,45					
DP-B-T4*	80,76	270,4	5,450	0,377	0,557	0,155	10,89	0,677	70,78	30,03	-0,93	30,04	358,22	13,67	3,71	3,72	0,9943	0,52	1,340	0,001	3,013	0,142	0,315
DSV-A-T4	34,20	270,4	0,810	0,229	0,385	0,072	6,86	0,595	81,75	25,97	-2,09	26,06	355,41	12,38	5,13	3,53	0,9929	0,21	1,677	0,000	2,582	0,362	0,203
DSV-B-T4	39,32	242,4	1,530	0,287	0,352	0,094	7,33	0,815	82,02	19,4	4,1	19,83	11,94	13,03	3,8	3,66	0,993	0,68	1,287	0,001	3,176	0,060	0,238

Echantillons	Paramètres d'empreinte moléculaire				Paramètres d'empreinte minérale (concentration en mg/L)												
	Fmax1	Fmax2	Fmax3	Fmax4	Al	B	Ba	Ca	Co	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Sr	Zn
DM-A-T4*	1,514	1,148	1,329	0,267	0,23	4,4	0,043	60	0,0028	0,30	2,0	743	107	1,4	4,6	0,41	0,56
DM-B-T4	1,743	1,412	2,053	0,426	0,25	5,1	0,013	51	0,0036	0,36	2,4	1055	109	0,66	14	1,0	0,91
DTP-A-T4	1,358	1,368	2,613	0,390	0,27	4,8	0,18	79	0,0036	0,12	6,1	1078	116	1,1	5,7	0,63	0,33
DTP-B-T4	1,708	1,810	2,755	0,408	0,32	5,1	0,0039	62	0,0036	0,60	2,0	1184	121	1,0	6,4	0,76	0,55
DP-A-T3	1,505	1,879	2,691	0,370	0,17	5,9	0,11	79	0,0035	0,10	2,7	319	117	1,1	4,6	0,43	0,80
DP-A-T4	1,536	1,705	2,548	0,418	0,26	6,9	0,19	84	0,0040	0,98	3,2	1158	113	1,1	6,4	0,59	1,3
DP-B-T3*	2,294	2,404	3,814	0,460	0,14	7,6	0,17	97	0,0036	0,15	4,6	1005	119	0,52	6,8	0,95	0,62
DP-B-T4*	2,214	2,301	3,656	0,466	0,21	8,4	0,23	88	0,0040	0,15	5,5	1413	123	0,57	7,3	1,1	0,66
DSV-A-T4	0,966	0,509	1,551	0,280	0,29	3,7	0,27	69	0,0075	0,28	5,0	1018	126	1,3	6,2	0,85	1,4
DSV-B-T4	1,459	1,155	1,746	0,360	0,25	4,9	0,04	54	0,0032	0,35	2,5	1012	105	0,72	13	0,98	0,88

Annexe 3 : Analyses chimiques réalisées sur les 9 moûts de l'étude (l'abréviation « nd » signifie « non détecté »)

Echantillons	Paramètres reliés à la couleur											Paramètres d'empreinte moléculaire			
	IPT	A420	A520	A620	Teinte	IC	L*	a*	b*	C	H	Fmax1	Fmax2	Fmax3	Fmax4
DM-A-T1*	13,650	0,204	0,156	0,093	1,308	4,530	94,890	2,800	5,710	6,360	63,880	0,388	0,507	0,457	0,136
DM-A-T2*	23,745	0,243	0,322	0,094	0,755	6,590	86,770	16,930	2,980	17,190	9,990	0,844	0,730	0,725	0,225
DM-B-T1	18,375	0,242	0,166	0,107	1,458	5,150	93,950	1,800	7,600	7,810	76,670	0,308	0,419	0,499	0,176
DM-B-T2	16,200	0,196	0,142	0,102	1,380	4,400	95,410	1,240	5,950	6,070	78,270	0,398	0,400	0,439	0,174
DP-A-T1	13,710	0,157	0,160	0,059	0,981	3,760	94,460	7,300	3,310	8,020	24,370	0,417	0,420	0,439	0,165
DP-B-T1*	14,370	0,163	0,128	0,055	1,273	3,460	95,460	4,440	5,270	6,890	49,920	0,370	0,294	0,318	0,146
DP-B-T2*	20,100	0,227	0,213	0,074	1,066	5,140	91,020	9,460	6,060	11,230	32,640	0,601	0,334	0,312	0,181
DSV-A-T2	19,785	0,242	0,169	0,092	1,432	5,030	93,030	3,330	8,300	8,950	68,120	0,381	0,355	0,416	0,201
DSV-B-T2	19,785	0,350	0,393	0,143	0,891	8,860	83,040	17,570	5,280	18,340	16,720	0,507	0,404	0,518	0,211

Echantillons	Paramètres d'empreinte minérale (concentration en mg/L)												
	Al	B	Ba	Co	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Sr	Zn
DM-A-T1*	3,7	5,0	0,094	nd	74	2,2	2,9	992	65	0,76	3,1	0,21	0,89
DM-A-T2*	1,5	3,6	0,063	nd	145	1,8	1,6	1747	81	1,4	3,3	0,31	0,75
DM-B-T1	2,9	2,8	0,065	nd	107	8,0	2,5	1655	71	0,29	12	0,59	0,77
DM-B-T2	1,4	3,5	0,049	nd	119	9,3	1,1	1328	79	0,47	7,0	0,72	1,8
DP-A-T1	0,91	4,7	0,078	nd	115	1,3	0,86	1115	67	0,53	2,0	0,40	0,30
DP-B-T1*	1,2	4,7	0,081	nd	110	0,89	0,72	1520	75	0,37	2,4	0,74	0,27
DP-B-T2*	2,5	5,6	0,087	nd	149	1,2	1,6	1668	89	0,48	3,1	1,0	0,33
DSV-A-T2	7,5	2,4	0,303	nd	137	11	8,4	1668	83	1,2	3,4	0,56	7,0
DSV-B-T2	8,3	4,0	0,243	nd	162	2,9	8,8	2037	91	1,2	3,9	0,53	2,2