

## Vigneron, un métier de chimiste ?

**Résumé** De la vigne au verre, la filière viti-vinicole ne cesse de nécessiter de solides connaissances en chimie, si ce n'est pour produire mais au moins pour comprendre cette formidable aventure qui transforme la pluie et le sol en une boisson recherchée. De la chimie minérale à la chimie organique, de potentiel redox en pH, la chimie du vin a initié des ruptures dans cet univers scientifique. Un phénomène qui n'est pas à la veille de se terminer.

**Mots-clés** Vin, sulfites, arômes, tanins, thiols, TCA.

**Abstract** Winemaker, a job as a chemist?

From the vine to the glass, the wine industry requires a strong knowledge in chemistry, not only to make wine but also to understand the incredible process transforming rain and clay in such a brilliant beverage. Mineral chemistry, organic chemistry, potential redox, pH are very useful to the winemaker and wine has led to quite a number of main discoveries in this field of science. This process will certainly continue for a while.

**Keywords** Wine, sulfites, aroma, tanins, thiols, TCA.

### La motivation

De la vigne à la cave, n'en déplaise aux incultes qui diabolisent le mot, le métier de vigneron n'est que chimie. Vignerons de tous pays, vous pouvez comme les cuisiniers faire vôtre, en la paraphrasant, la formule d'Hervé This : « *On dit que la chimie c'est de la cuisine, mais c'est la cuisine qui est de la chimie !* ». Je ne saurais dire si j'ai choisi de faire de la chimie parce qu'elle permettait de faire du vin ou du vin parce qu'il me permettait d'explorer toutes les facettes de la chimie.

### La terre et ses éléments

Mais commençons par le début avec le premier mot du *triumvirat* d'Olivier de Serres qui donne naissance au breuvage de Bacchus : la terre. L'une des clefs des terroirs repose sur la composition chimique des sols, qui trouve son adéquation plus ou moins favorable avec les différents cépages et les différents porte-greffes qui les alimentent. Notion fondamentale qui traverse la chimie quasiment de bout en bout, la notion de pH du sol est fondamentale quant au choix desdits porte-greffes, de même que la composition minéralogique des sols (figure 1).

De solides connaissances en chimie minérale sont précieuses aux vignerons. Elles leur permettront de lire les paramètres essentiels d'une analyse des sols. La teneur en azote siège aux premiers rangs des valeurs à suivre car elle est déterminante non seulement pour la vigueur de la plante, mais aussi pour le risque de la voir attaquée par les parasites et pour l'expression aromatique des vins. Les équipes de Denis Dubourdieu ont ainsi apporté la preuve au début des années 2000 que l'alimentation azotée des cépages tels que le Sauvignon, le Colombard, ou le Verdejo, intervenait grandement dans la concentration en précurseurs de ces arômes thiolés [1]. Ces arômes sont en effet attachés à des acides aminés dont la synthèse est d'autant plus active que la teneur en azote est élevée.

La teneur en bore est également soigneusement surveillée car il constitue un élément indispensable à la bonne fructification qui, pour les viticulteurs, porte le nom de « nouaison ».

Les teneurs en carbonates ou en silice, en sus de la granulométrie, complètent le spectre d'analyse. L'analyse du cuivre



Figure 1 - Le sol, support de la viticulture et élément important du terroir, à la base de la catégorisation des vins en Europe, est le premier sujet d'exercice des connaissances de chimie du vigneron. Ici un sol argilo-calcaire au pH basique avec quelques éléments grossiers constitués de silice, eux-mêmes à base de silice.

est aussi nécessaire pour les sols destinés à la vigne depuis de nombreuses années, nous y reviendrons.

### La vigne et ses dangers

Si le sol porte la vigne, il porte aussi de sérieux concurrents que sont toutes les plantes adventices qui perturbent son développement. Longtemps assuré par des moyens mécaniques, l'entretien du sol a lui aussi reçu « l'aide », si l'on peut dire, de la chimie.

Je ne reviendrai pas sur l'intérêt de connaître les mécanismes de biochimie qui président à la vie des plantes tels que la photosynthèse, ou la respiration, même si elles font appel à des molécules de tout premier plan !

C'est, malheureusement, dans la protection des plantes, que la chimie va se révéler particulièrement indispensable. Le fait est que depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, notre bonne vieille espèce de vigne européenne se trouve chaque année agressée par une petite cohorte de parasites pour le moins ennuyeux. Ils sont en effet susceptibles de ruiner toute une récolte en quelques jours et ont entraîné des crises de tout premier plan en Europe lors de leur arrivée depuis le continent américain. Juste retour des choses, si l'on peut dire, que cette distribution

de parasites après le génocide opéré sur les populations amérindiennes par les maladies européennes.

## Le secours de la chimie

Si pour le premier des parasites (animal celui-là), le phylloxéra, la lutte biologique a pu rapidement être mise en œuvre, il n'en est rien des trois autres. Alors que le vignoble français est ruiné par le petit puceron « dévastateur », qualité si l'on peut dire qui va lui donner son nom de genre « vastatrix », les premiers moyens de lutte sont chimiques avec les seuls outils de l'époque. Le disulfure de carbone ( $CS_2$ ) est utilisé en direct, injecté directement au pied de chaque cep pour lutter contre l'insecte. Dieu merci, la dangerosité du produit n'était pas connue ! Il faut néanmoins savoir que ce sont les vignobles les plus prestigieux qui, rétifs au principe du greffage, l'ont utilisé le plus longtemps. Autre temps, autres mœurs.

La lutte contre le mildiou, l'oïdium et le black-rot va se révéler autrement plus complexe.

Le mildiou va nécessiter des années de recherches et d'essais avant que le Bordelais Ulysse Gayon ne concrétise la désormais célèbre « bouillie bordelaise », à base de sulfate de cuivre. Il ignore à l'époque le mode opératoire de cette mixture qui ne sera explicité que des années plus tard. Il ignore aussi que plus d'un siècle après sa découverte, l'ion cuivre reste le pivot indispensable de toute lutte anti-mildiou. Il semble que ce soient de faibles concentrations en ion  $Cu^{2+}$  dans l'eau où germent les spores de mildiou qui en perturbent le bon déroulement. De bonnes connaissances en chimie des solutions vont vite faire comprendre que pour atteindre cette concentration, alors que le ciel se montre généreux en eau..., et que la solubilité du sulfate de cuivre dans l'eau est grande, il est nécessaire de « coller » le cuivre à la feuille en utilisant divers adjuvants, dont par exemple des dérivés de résine de pin. Cette astuce suffit rarement. Il est nécessaire d'appliquer régulièrement l'ion cuivre(II) sous différentes formulations. Mais le cuivre est un dangereux phytotoxique, même si à très faible dose il se révèle utile aux plantes, notamment pour ses vertus de catalyseur. Aussi le législateur a-t-il déterminé une dose maximale de cuivre utilisable annuellement... qu'il révisait régulièrement à la baisse. Le niveau toléré atteint tout de même 4 kg d'équivalent métal par hectare et par an !

Au cours des années très pluvieuses, il est très difficile d'assurer la protection du vignoble contre ce parasite. En 2018, le vignoble français, mené en agriculture biologique, a été fortement impacté par une épidémie exceptionnelle qui a emporté environ 35 % de la production à l'échelle du pays. En 1924, la perte avait été de 80 % et avait concerné tout le vignoble, le mode biologique étant alors bien loin des préoccupations tant des vignerons que des consommateurs... qui à l'époque étaient très majoritairement de solides buveurs !

La lutte contre l'oïdium, capable lui aussi de détruire une récolte en quelques jours, est plus simple et fait intervenir cette fois directement l'élément soufre dont les vapeurs perturbent la croissance du champignon *Uncinula necator*, responsable du fléau. L'usage d'un composé aussi simple et aussi « naturel » est couronné de succès depuis cent cinquante ans au point qu'il fut l'un des tous premiers produits phytosanitaires homologués. Seul bémol : les doses utilisées restent massives avec 25 kg diffusés sous forme de poudre, par hectare et par traitement (un à trois par an) !

La motivation était donc grande de mettre en place des moyens de lutte alternatifs basés sur des molécules de

synthèse. Plusieurs grandes familles de fongicides ont alors été développées depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. Cette fois, ce sont les connaissances en chimie organique du vigneron qui vont être mises à l'épreuve.

Le développement de ces « produits phytosanitaires », devenus produits de protection des plantes, désormais pour l'essentiel « agents de biocontrôle » dans la dynamique d'aseptisation générale de la société, est incontestablement responsable du maintien des rendements à des niveaux élevés et des principaux problèmes de pollution des espaces agricoles.

C'est toujours la connaissance de la chose chimique qui permet au vigneron de comprendre d'abord puis de former son opinion ensuite sur ces molécules, un temps fabuleuses, et désormais largement conspuées...

## Une plante fragile

La vigne pointe malheureusement dans le trio de tête des cultures les plus traitées et donc les plus polluantes. On discute des détails mais l'ordre de grandeur est le suivant : la « liane de Bacchus » consomme 25 % de la chimie de lutte des plantes de l'hexagone alors qu'elle n'en occupe que 2,5 % de sa surface !

Comprendre que de nombreux antigerminatifs sont en réalité des antimitotiques puissants, dont les formulations sont parfois très proches d'anticancéreux, aide à prendre la sage décision de les abandonner. Connaître la chimie minérale, c'est comprendre que l'élément cuivre utilisé sur de longues années finira par causer un problème d'accumulation insoluble, et ce, malgré son apparent caractère « naturel » retenu par le législateur et le grand public, puisque autorisé dans le mode de production biologique !

## Le vin et ses constituants

Le sage vigneron chimiste ne manque pas un jour de s'intéresser à la composition du produit final : le vin lui-même (figure 2). La chimie doit autant au vin que désormais le vin doit à la chimie. La figure tutélaire de la question est le grand



Figure 2 - Du raisin au vin : les raisins de cuve, tout comme leur jus, sont à de rares exceptions près très peu aromatiques. C'est au cours de la fermentation alcoolique que l'essentiel des composés volatils présents dans le vin vont être produits par les levures en parallèle de la production d'éthanol et de gaz carbonique.

Louis Pasteur. La thèse du grand homme portait en effet sur les particularités de l'acide tartrique, particulièrement mal nommé en français mais dont le nom allemand est bien plus explicite puisqu'il signifie en traduction littérale « acide du vin » (« Weinsäure »). C'est en quête de la caractérisation de cet acide que la notion de chiralité fut mise en évidence. Pasteur isola la forme d'acide L(+) tartrique seule présente dans le raisin, ouvrant ainsi la voie au très vaste sujet de la stéréoisométrie (figure 3). Une plaque à l'embouchure de la rue d'Ulm à Paris commémore les faits.

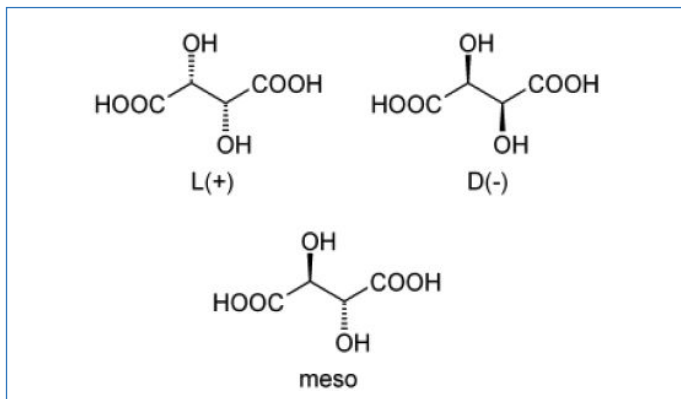


Figure 3 - L'acide tartrique, l'acide du vin et ses stéréoisomères ont constitué le sujet de thèse de Louis Pasteur.

La légende raconte que l'empereur Napoléon III eut vent de l'affaire, ou plutôt que ses conseillers en eurent vent, et que l'on décida de charger Pasteur d'un autre sujet qui concernait toujours les acides attribués, à juste titre à un facteur majeur de leur altération. L'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) était bien connu des chimistes, mais les facteurs de son apparition ne l'étaient point.

En apportant la preuve que la « piqûre » que l'on qualifia ensuite d'acétique était le fait de bactéries, Pasteur ouvrit la voie à la microbiologie. Quelque part, sans les vins qui tournaient au vinaigre, la découverte de la vaccination aurait attendu quelques années...

Pour ces travaux qu'il publia en 1866, Pasteur est souvent reconnu comme le premier œnologue de l'histoire. Il marque ainsi un attachement des œnologues et des vignerons à la chimie. Attachement encore très fort de nos jours puisque toutes les facultés françaises d'œnologie sont rattachées aux divisions pharmaceutiques des universités...

Depuis 1866 donc, les vignerons avertis savent que ce sont de plus ou moins grosses molécules qui sont responsables du goût du vin. De son goût au sens large, c'est-à-dire de sa saveur et de son odeur. Voilà un univers passionnant qui a connu ces dernières années des dizaines d'avancées stratégiques !

La molécule ciblée par le grand Pasteur (l'acide acétique) reste une préoccupation de tous les instants et elle est désormais placée sous contrôle légal. Un vin qui franchit la dose fatale de 1,2 g d'acide acétique par litre se voit retiré du marché ! Tous les acides sont soigneusement examinés par le vigneron. La lecture du pH est une donnée majeure du vin et du raisin avant la vendange, tandis que l'équilibre entre acide malique et acide lactique constitue une clef de l'équation sapide des vins blancs (figure 4). Tous les calculs de chimie minérale prennent sens en œnologie, en particulier lors du contrôle d'une famille de molécules qui font depuis quelques années les gros titres des revues d'amateurs de vins : les sulfites.

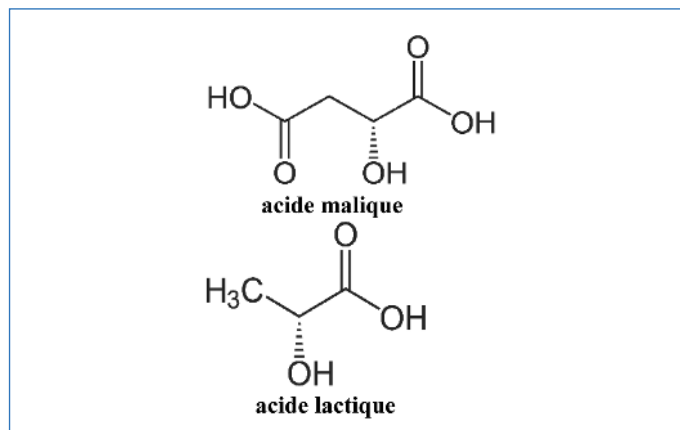


Figure 4 - La transformation de l'acide malique en acide lactique, connue sous le nom de fermentation malolactique, a été explicitée vers 1950 par les équipes de Jean Ribéreau-Gayon et Emile Peynaud [2].

On prétend que ce sont les Hollandais qui observèrent au XVIII<sup>e</sup> siècle que la combustion de soufre dans les barriques conférait au vin une capacité de vieillissement supérieure et surtout une préservation des altérations... dont on ne connaissait pas la cause à l'époque. Il me semble que l'enseignement de la chimie pourrait s'appuyer sur cette belle molécule tant elle illustre les différentes facettes. Si la combustion d'un atome de soufre et d'une molécule d'oxygène génère une molécule de dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), cette dernière réagit très rapidement avec l'eau pour former de l'acide sulfureux ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) (parfois nommé abusivement anhydride sulfureux). Ce diacide faible aux pKa de 2 et 7 ne tarde pas à se dissocier dans l'eau en hydrogénosulfite et sulfite. On comprend bien que plus le pH du vin est bas – rappelons ici que le pH du vin est naturellement situé entre 3 et 4 –, plus la forme moléculaire  $\text{H}_2\text{SO}_3$  sera proportionnellement représentée. Or c'est elle seule qui est responsable des propriétés antioxydantes, antiseptiques et fongistatiques de tous les dérivés de notre dioxyde de soufre, nommés sulfites. Cette molécule très réactive ne manque pas de s'attaquer à d'autres enzymes que celles des levures ou des bactéries : elle est responsable de fortes allergies et génère des maux de tête plus que conséquents.

Ainsi, non seulement sa présence est réglementée et limitée dans les vins en fonction de leur sensibilité, notamment aux dérives microbiennes, mais tous les vins qui en reçoivent doivent en indiquer la présence sous forme d'une mention claire sur l'étiquette. Le cahier des charges de l'agriculture biologique n'a lui-même pas pu se passer du précieux dérivé soufré malgré sa volonté de se passer de tout composé de synthèse ! Il en limite l'usage d'environ 30 % par rapport aux autres vins mais ne prend pas le risque d'aller au-delà.

La forte médiatisation du sujet « sulfite » et l'aspiration des consommateurs à des vins toujours plus naturels ont amené les vignerons à se passer de cet outil historique de conservation afin d'obtenir la mention « Vin sans sulfites ajoutés ». Mais comme nous l'avons déjà dit, le spectre de la molécule est si large que le style des vins s'en trouve profondément modifié. En effet, l'acide sulfureux dont le potentiel standard  $E^\circ$  est particulièrement bas (0,2 V) réagit fortement avec l'un des principaux produits indirects de la fermentation alcoolique, le produit de l'oxydation de l'éthanol : l'éthanal. Cet aldéhyde en forte concentration possède une odeur forte de pomme blette (autrefois bien connue des enseignants lors de l'expérience de la lampe sans flamme posée dans le secondaire !). Les vins

sans sulfites ont souvent cette odeur qui disparaît aux premiers milligrammes de SO<sub>2</sub> ajoutés.

Autre spécificité, qui amène les vinificateurs à bien connaître les lois du potentiel redox, les vins sans sulfites doivent garder tout leur potentiel réducteur puisqu'aucun « antioxydant » ne les protège du dangereux oxygène. De ce fait, ces vins présentent une panoplie d'arômes dits « de réduction » liés à la présence de composés soufrés légers comme l'hydrogène sulfureux ou acide sulfhydrique (H<sub>2</sub>S) (odeur d'œuf pourri) ou le méthionol (3-(méthylthio)-1-propanol CH<sub>3</sub>SCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH). L'art de la vinification sans sulfites est donc un art de l'équilibre.

## La chimie fine et les arômes

Mais sortons de cette chimie élaborée mais qui traite de molécules simples pour entrer dans le registre des molécules élaborées dont la chimie n'est pas simple !

Il a fallu attendre les années 1990 pour que les premiers verrous de responsables moléculaires de l'arôme des vins sautent. Jusqu'à cette époque, passionné de chimie ou non, le vinificateur évoluait dans le flou. On ne connaissait presque rien des molécules responsables de l'identité des vins. À part quelques esters, c'était le « no man's land » !

Ce sont à la fois des équipes de Montpellier et de Bordeaux qui vont contribuer à ce qu'il convient d'appeler la révolution de la chimie fine des vins.

À Montpellier, l'équipe de Baumes, Razungles et Günata va identifier et doser une série de molécules assez concentrées dans l'arôme des vins [3], notamment issus de muscat ou de Riesling : les terpènes (figure 5).

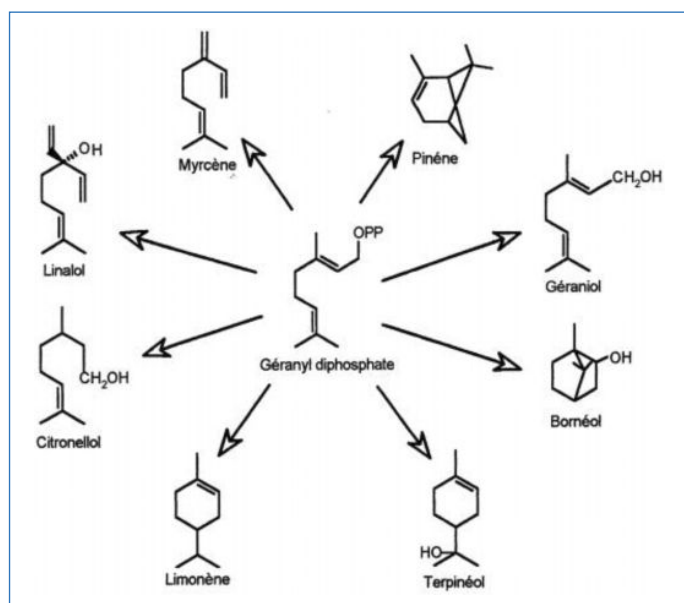


Figure 5 - Exemples de structure de monoterpènes, dérivés du gényryldiphosphate (IPP) (d'après [4], DR). Le linalol et le géraniol sont impliqués dans le bouquet des muscats et du Riesling, par exemple.

À Bordeaux, l'équipe de Denis Dubourdiu va percer le secret des arômes typiques du Sauvignon en identifiant une famille de molécules très faiblement concentrées : les thiols [1]. Leur histoire mérite le détour. De même que les bactéries resteront l'ennemi public numéro un du vinificateur pendant près de cent ans après les travaux de Pasteur, contraints d'attendre les travaux de Jean Ribéreau-Gayon et Emile Peynaud [2] pour retourner en grâce, les thiols ont longtemps été catalogués

comme des odeurs nauséabondes. Nombreux étaient les vins qui présentaient encore dans les années 1990 des odeurs fortes de sulfure d'hydrogène. Le traitement, assez radical, consistait en une adjonction directe dans le vin de sulfate de cuivre, ce dernier opérant une chélation des thiols volatils légers et la formation du complexe thiolate-cuivre en raison de la forte affinité du cuivre avec le soufre.

Aussi, l'idée que cette même famille de molécules puisse être à l'origine des qualités spécifiques des variétés aromatiques paraissait saugrenue. La première molécule identifiée fut la 4-méthyl-4-sulfanyl-pentan-2 one (figure 6), dont le seuil de détection olfactif dans l'eau est de quelques nanogrammes par litre. Elle est responsable de la nuance de buis si typique du Sauvignon. L'équipe de Denis Dubourdiu apportera la preuve que cette molécule est aussi présente dans le buis, le lanthana et... l'urine de chat. Cette lancée faite, plusieurs thiols seront identifiés, dont le sulfanyl-hexanol ou 3-mercapto-1-hexanol, à la délicieuse odeur de poire [5].

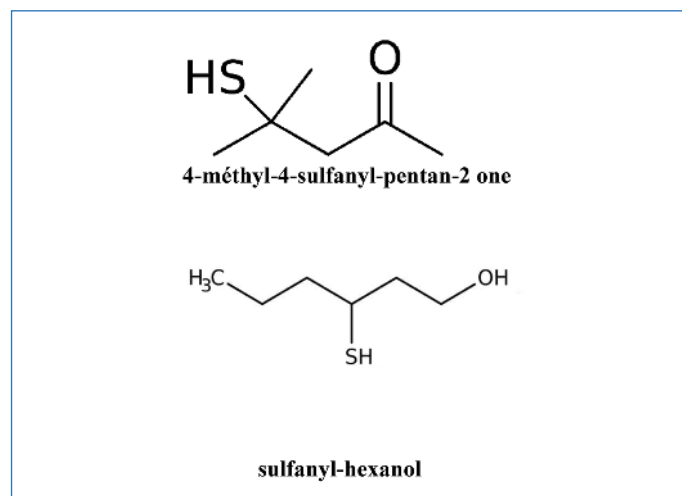


Figure 6 - Ces deux thiols au seuil de perception très bas, aux arômes de buis ou de pipi de chat pour la 4MMP et de poire fraîche pour le sulfanyl hexanol, ont ouvert la voie des recherches sur cette famille captivante.

Cette découverte a eu de grandes conséquences sur la vinification lorsqu'on a compris que toutes ces molécules se révélaient au cours de la fermentation sous l'effet d'enzymes assez spécifiques et encore davantage lorsque leur origine a été élucidée. L'expérience montrait que les vignes fortement carencées en azote assimilable ne produisaient pas de vins à forte concentration thiolée. Elle montrait aussi que les raisins et les moûts ne présentaient aucun arôme de ce type. Aussi, il est assez vite apparu que ces composés volatils existaient sous forme de précurseurs inodores dans le raisin, et que ce précurseur était composé de l'arôme thiolé attaché à un acide aminé particulier car présentant un atome de soufre : la cystéine. Au cours de la fermentation, la levure *Saccharomyces cerevisiae*, en quête d'acides aminés ou plus largement en quête d'azote, va venir prélever l'acide aminé du précurseur, relarguant ainsi comme « déchet » le délicieux arôme fruité. Bien sûr, l'équipement enzymatique qui permet cette « révélation » de l'arôme varie d'une souche à l'autre, ouvrant ainsi un angle de sélection des arômes tout à fait captivant. Notre vigneron amateur de chimie comprend vite que si l'arôme fruité « thiolé » est très sensible à l'oxydation, et à toute adjonction ou présence de cuivre dans le moût, le précurseur pour sa part ne l'est pas. Les précautions à prendre pour le vin ne sont pas les mêmes que pour le moût...

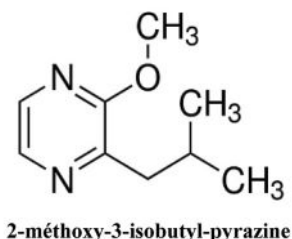


Figure 7 - Cette molécule, dont l'arôme évoque le poivron vert, ne connaît aucune transformation au cours de la fermentation.

D'autres molécules organiques contribuent aussi significativement au bouquet des vins. Parmi les plus symboliques, la 2-méthoxy-3-isobutyl-pyrazine (figure 7) détient l'un des records de seuil de détection olfactif humain dans l'eau puisqu'il s'approche du nanogramme par litre. Elle est associée à la nuance végétale de poivron vert, feuille de tomate, haricot vert de certains vins blancs ou rouges. Cette molécule fut identifiée en Australie et fait partie aujourd'hui des analyses courantes en œnologie. Contrairement aux thiols, elle est retranscrite quasiment directement du raisin au vin, laissant au seul vigneron le loisir d'en ajuster la teneur. Une fois le raisin coupé, il est impossible de modifier la concentration. Cependant, en raison du caractère hautement photosensible de cette molécule, une exposition au soleil des raisins dans les semaines qui précèdent la maturité permet d'en diminuer fortement la teneur.

Le responsable du goût de rancio a lui aussi été identifié : il s'agit du furfural, présent dans les vins de Rivesaltes, Banyuls, Porto (figure 8). De même, le goût du vin romain décrit par Pline l'ancien sous le vocable de « Drimus » a pu être rattaché au sotolon (figure 8).



Figure 8 - Le sotolon et le furfural sont impliqués dans le bouquet des vins vieillis ou oxydés. Le sotolon est caractéristique du Xérès ou des vins jaunes du Jura.

Mais le chapitre des molécules odorantes responsables du bouquet des vins est loin d'être clos. La connaissance des arômes de cerise du Pinot Noir, de mûre du Syrah, reste très largement lacunaire.

La caractérisation des arômes apportés par le contact avec du bois de chêne, autrefois majoritairement réalisé en barriques, et utilisant désormais des moyens dits « alternatifs » tels que des plaquettes de bois, a aussi constitué un progrès majeur de l'œnologie que le vigneron utilise au quotidien. En distinguant les trois molécules essentielles dont les différentes proportions explicitent les différents types de boiserie, le vigneron

choisit ses barriques en pleine connaissance de cause. L'identité « noix de coco » est recherchée : on choisira du chêne américain, capable de délivrer de bonnes quantités de *Gamma lactone*. S'il est attaché à des nuances vanillées, c'est la vanilline qui sera recherchée, apportée par le chêne français bien grillé (figure 9).

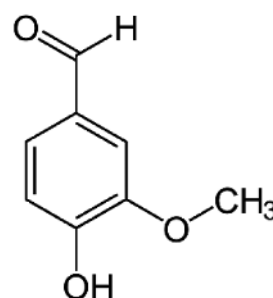


Figure 9 - La vanilline, une nuance apportée par le bois de chêne français.

En parallèle de ces quêtes qualitatives, la science œnologique a bien progressé sur le front des défauts avérés, au premier rang desquels figure ou plutôt figurait l'insupportable goût de bouchon [6]. C'est aussi au début des années 1990 que les molécules responsables de la perte de tant de bouteilles ont été explicitées. Le coupable est en grande majorité le 2,4,6-trichloroanisole, qui porte le sobriquet de TCA (figure 10).

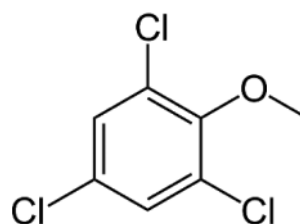


Figure 10 - Le 2,4,6-trichloroanisole (TCA), coupable du goût de bouchon.

Le fait que ces molécules contiennent du chlore a donné lieu à une totale évolution dans les méthodes de nettoyage des chais et de traitement du liège. Les dérivés chlorés y ont été proscrits. Là encore, après la caractérisation du support moléculaire du défaut, c'est toute la chaîne de réactions chimiques ou plus généralement biochimiques qui fut élucidée. On sait désormais que ce sont des moisissures qui attaquent le liège et sont en mesure de le corrompre, en utilisant de très faibles doses de chlore, présent dans l'environnement sous forme d'ions chlorure (Cl<sup>-</sup>). Le travail sur ces molécules n'a pas été simple car les quantités nécessaires pour polluer les vins ne sont que de quelques ng par litre. Tout ce travail a permis de quasiment éradiquer le goût de bouchon de l'industrie du vin. La technique de purification utilise la vapeur d'eau ou bien le CO<sub>2</sub> à l'état supercritique qui constitue un solvant exceptionnel bien que techniquement complexe à mettre en œuvre. Certains producteurs de bouchons sont capables de garantir à leurs clients des bouchons de liège naturel totalement exempts de tout « goût de bouchon ». Ce test est réalisé bouchon par bouchon à l'issue d'une chromatographie en phase gazeuse !

## Quel avenir face au réchauffement climatique ?

Alors qu'elle était menacée il y a trente ans, l'industrie du liège se trouve paradoxalement renforcée par un enjeu de taille de la filière viti-vinicole dont on pardonnera le caractère tarte à la crème : le réchauffement climatique. Non seulement le liège n'a plus goût de bouchon, mais il est un formidable outil de compensation des émissions de carbone réalisées au cours de toute la chaîne de production. D'une part, les émissions de CO<sub>2</sub> de production d'une bouteille sont estimées à 450 g répartis pour 34 % à la vigne, 15 % à la cave, 29 % pour le verre, 6 % pour le carton et 13 % pour le transport ; d'autre part, un bouchon naturel séquestre 400 g de CO<sub>2</sub>. Cet équilibre favorable est le fait d'une vitesse de croissance lente du chêne liège qui ne se récolte que tous les neuf ans au terme d'une période de croissance initiale de vingt cinq ans. Chemin faisant, il stocke des quantités considérables de CO<sub>2</sub>, non pas seulement dans son écorce de liège, mais dans le bois constitutif de l'arbre – un arbre au cœur d'un écosystème assez diversifié et symbole du paysage du sud du Portugal.

Le réchauffement climatique est-il une bonne nouvelle pour toute la filière ? Bien que n'étant absolument pas un climatosceptique, je considère que nous devons voir dans cette catastrophe une forme d'opportunité. Les vins que nous buvons en 2022 n'ont rien à voir avec ceux que l'on buvait en 1992, ni bien sûr avec ceux que buvait mon grand-père pour son service militaire en 1922. Les raisons de ces évolutions sont multiples : techniques, économiques, sociétales. Alors que le vin était la boisson du quotidien, il est devenu un objet culturel auquel on se confronte au cours de séances aux codes bien différents. Les vins du Val de Loire, les vins anglais, n'ont jamais été aussi bons que de nos jours.

On peut se plaindre de l'augmentation de la teneur de la molécule la plus présente dans le vin, après l'eau, dont nous n'avons d'ailleurs pas parlé, l'éthanol, mais cette plainte est une plainte « artificielle » (figure 11). En effet, l'éthanol, dont la teneur est elle aussi nécessairement indiquée sur l'étiquette, influence grandement le bouquet et la saveur du vin. Du point de vue des composés volatils, l'alcool est le meilleur solvant comestible des composés volatils que nous apprécions : plus sa teneur est élevée, plus le bouquet est puissant.

En bouche, jusqu'à 14 ou 15 % volume, il apporte aussi une sapidité importante en même temps qu'il nourrit une dimension « sucrée ». Pour collaborer à divers projets de vins sans alcool, et selon le principe qu'on se rend compte de l'utilité d'une chose (ou d'un être) quand on en est carencé, je peux affirmer que privé d'éthanol, le goût du vin, rouge notamment, est beaucoup moins attirant. D'autre part, et il convient de ne pas se voiler la face en la matière, l'éthanol est le composé du vin qui génère une très forte accoutumance. Plus sa concentration est élevée, plus l'effet de drogue est élevé et plus la demande du consommateur est forte par le plus simple effet physiologique.

Au-delà du simple sujet alcool, l'évolution du climat va continuer à faire évoluer la carte des vignobles. Certaines zones vont devoir réviser leur mode de culture, les types de cépages doivent évoluer, comme cela a toujours été le cas. Je vois déjà les puristes s'indigner de voir leur vin favori changer de style. Et bien ils devront s'intéresser à d'autres régions, d'autres cépages pour retrouver des vins à « leur » goût, ou bien laisser tout simplement leur goût évoluer avec le climat, la mode, la technique et le mode de vie... comme c'est le cas depuis huit mille ans que nous fermentons le fruit de cette liane.



Figure 11 - Au fil des années et sous l'effet de l'évolution du climat, le multimètre ne cesse de monter ! La concentration en sucre des jus étant sans cesse plus élevée, la densité des moûts l'est aussi, entraînant une poussée d'Archimède sur cet outil ancien mais toujours utilisé (ici un degré fort).

## Parcours œnologique

De chimie organique en chimie minérale, ce petit parcours œnologique nous aura montré combien la chimie sous toutes ses formes est omniprésente dans le quotidien laborieux d'un vigneron, et surtout combien sa connaissance donne à comprendre les arcanes de la fabrication et de la dégustation de la tisane de Richelieu !

Il en est de la chimie du vin comme de sa dégustation, c'est une forme de tonneau des Danaïdes dont on ne voit jamais le bout, et pour peu qu'on donne la plume à un amateur des deux, la fin vient bien trop tôt.

[1] P. Bouchilloux, P. Darriet, D. Dubourdiu, Quantitative determination of 4-mercapto-4-methylpentan-2-one in Sauvignon wines, *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **1996**, 30(1), 1112.

[2] J. Ribéreau-Gayon, E. Peynaud, *Analyse et Contrôle des Vins*, Paris Liège Librairie Polytechnique Ch. Béranger, **1958** ; J. Ribéreau-Gayon, E. Peynaud, *Traité d'œnologie*, 2 tomes, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, **1961** ; J. Ribéreau-Gayon, E. Peynaud, *Traité d'Ampélogie. Sciences et Techniques de la vigne, Tome II, Culture Pathologie, défense sanitaire de la vigne*, **1971**.

[3] Z. Günata, I. Dugelay, J.-C. Sapis, R.L. Baumes, C.L. Bayonove, Action des glycosidases exogènes au cours de la vinification : libération de l'arôme à partir de précurseurs glycosidiques, *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **1990**, 24(3), 1231.

[4] M. Oswald, Déterminisme génétique de la biosynthèse des terpénols aromatiques chez la vigne, Thèse de doctorat, Université Strasbourg I, **2006**.

[5] T. Tomimaga, A. Furrer, R. Henry, D. Dubourdiu, Identification of new volatile thiols in the aroma of *Vitis vinifera* L. var. Sauvignon blanc wines, *Flavour Frag. J.*, **1998**, 13(3), p. 159-162.

[6] P. Chatonnet, G. Guimberteau, D. Dubourdiu, J.-N. Boidron, Nature et origine des odeurs de « moisi » dans les caves. Incidences sur la contamination des vins, *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **1994**, 28(2), p. 131-151.

**Frédéric BROCHET,**

Docteur en œnologie, La Mothe, 86380 Jaunay-Marigny.

\* drbrochet72@gmail.com