

HIVER  
2025  
85

# A3 MAGAZINE

Rayonnement du  
Association des Anciens  
et des Amis du  
cnrs



## L'Intelligence Artificielle dans notre quotidien, qu'en est-il ?

### L'IA en action

Par Malik Ghallab

p.08

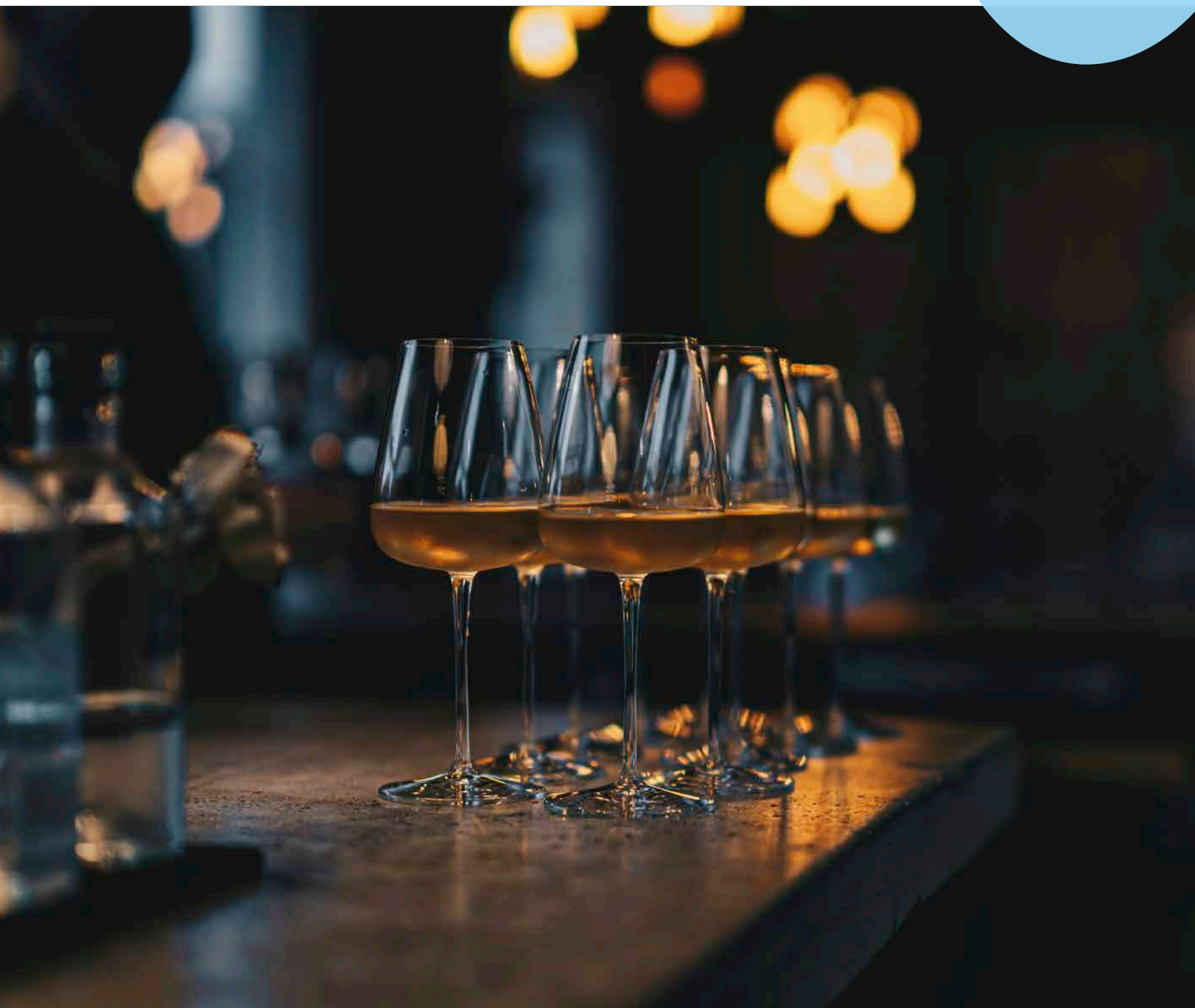
### Percer les mystères de l'Univers à l'aide de l'IA

Par Dominique Fouchez

p.36

### Intelligence Artificielle: une opportunité à saisir pour les seniors

Par Silvio Gianinazzi p.54



© UNSPLASH - AMBITIOUS-STUDIO-RICK-BARRETT

## Quand l'intelligence artificielle explore **la chimie du vin**

**C**haque vin possède une signature minérale propre, caractérisée par de nombreux éléments tels que le potassium, le sodium ou le manganèse. L'ensemble de ces éléments constitue ce que l'on appelle son profil minéral (*Mineral Wine Profile : MWP*). Véritable témoin chimique, cette composition traduit à la fois l'influence du terroir et du processus de vinification, tout en offrant un aperçu de son potentiel gustatif et de son évolution. Ces profils minéraux

forment un ensemble de données particulièrement riche mais difficile à interpréter. Chaque élément chimique est à la fois témoin et acteur des transformations qui se déroulent au cours de l'élaboration du vin, constituant un marqueur du terroir, du climat, des pratiques culturelles et des procédés de vinification. Les données collectées dans ces systèmes sont d'une richesse considérable, témoins de corrélations

●●●

## Auteurs

## Tristan Pelluau



est maître de conférences à l'Institut Lumière Matière de l'Université

Claude Bernard Lyon 1. Il a rejoint l'équipe FENNEC en septembre 2025, où il mène des recherches dans le domaine de la chimie des matériaux. Il s'intéresse notamment à l'analyse, assistée par intelligence artificielle, de profils minéraux complexes pour l'œnologie ou des fluides biologiques.

## Théodore Tillement



est Directeur de M&Wine. Il a une expérience internationale dans l'import/

export de vins. Co-fondateur de M&Wine, il a constitué une équipe regroupant chimistes et ingénieurs IA pour répondre aux enjeux de la filière.

## Coraline Duroux



est responsable analytique de M&Wine. Docteure en chimie

analytique, ses travaux sur les interactions protéine / métal par ICP-MS lui ont permis de devenir experte en identification des profils multi-minéraux et en élaboration de bases de données fiables et massives.

## Augustin Tillement



est doctorant au laboratoire de l'Ingénierie des Matériaux Polymères de

l'Université Claude Bernard Lyon 1 sur l'analyse par intelligence artificielle des profils minéraux physiologiques et employé par M&Wine pour le développement des modèles de machine learning.

●●●

biologiques et écologiques si complexes qu'il devient difficile pour l'analyse humaine de saisir l'ensemble des phénomènes en interaction. Pour enrichir encore les informations sur les vins, les profils minéraux peuvent être associés à des métadonnées, c'est-à-dire aux informations descriptives liées au vin : goût, couleur, millésime, région d'origine ou encore pratiques culturelles. Lorsqu'on combine ces données pour plusieurs dizaines de milliers d'échantillons, les interactions possibles entre variables deviennent trop nombreuses pour être saisies sans outils spécialisés.

**L'intelligence artificielle regroupe les méthodes capables d'analyser automatiquement ces grands ensembles de données.** Elle détecte des motifs, des relations ou des structures invisibles à l'œil humain. Dans le contexte d'une base de données particulièrement riche, combinant profils minéraux, métadonnées agronomiques, climatiques et œnologiques, l'IA constitue un outil adapté pour extraire l'information pertinente. Elle apprend à partir de données nombreuses et variées, identifie des régularités, repère des relations non linéaires et met en évidence des combinaisons d'éléments que l'analyse manuelle ne permettrait pas de discerner. En modélisant les interactions entre composition chimique, origine et expression sensorielle, l'IA offre ainsi une lecture plus fine et intégrée de la structure profonde des vins.

#### ORIGINES ET RÔLES DES MINÉRAUX DANS LE VIN

Pour comprendre l'intérêt d'utiliser l'IA dans l'étude des vins, il faut d'abord expliquer pourquoi les minéraux constituent un point de départ particulièrement pertinent. En effet, contrairement à de nombreux composés organiques,

souvent difficiles à quantifier et dont les concentrations évoluent au cours du temps, les éléments minéraux sont particulièrement stables, facilement mesurables (même à l'état de traces) et évoluent très peu durant la fabrication du vin comme au cours de son vieillissement.

**Les minéraux du vin trouvent leur origine dans un ensemble de processus** physico-chimiques et biologiques. D'abord issus du sol et des roches mères, les éléments minéraux sont absorbés par la vigne. Leur disponibilité dépend du pH du sol, de sa densité, de sa teneur en matière organique et des conditions hydriques. Le climat régule ensuite leur transfert et leur assimilation. Par exemple, dans les sols riches en calcaire de la région de Castilla-La Mancha (Espagne), la forte teneur en carbonate de calcium et le pH élevé limitent l'absorption du fer (Fe) et du zinc (Zn) par la vigne, entraînant des concentrations faibles de ces éléments dans les feuilles, décorrélées de leur abondance dans le sol (1). De la même façon, les pratiques culturales, comme l'amendement, le travail du sol ou le choix du porte-greffe ou du cépage, influencent directement la composition minérale des raisins et donc du produit final. Enfin, les opérations de vinification, de fermentation et d'élevage, participent à la singularité du profil minéral. Certaines étapes peuvent enrichir le

vin en éléments tels que le fer, le cuivre, le zinc ou le manganèse, souvent issus du contact avec les équipements ou les matériaux d'élevage (acier, bois...). À l'inverse, d'autres procédés tendent à appauvrir le vin en potassium, calcium, sodium ou magnésium, en raison de phénomènes de précipitation (ex : tartres de potassium) ou d'adsorption sur les lies et agents de clarification.

“  
L'IA offre ainsi une lecture plus fine et intégrée de la structure profonde des vins.”

Figure 1 - Les origines des minéraux dans le vin



“ Les minéraux du vin trouvent leur origine dans un ensemble de processus physico-chimiques et biologiques ”

Ce réseau d'interactions entre la terre, la vigne et la main de l'homme confère à chaque cuvée une signature minérale singulière. Ainsi, chaque parcelle, chaque millésime et chaque chai laisse une empreinte chimique unique. Ces traces deviennent autant de “marqueurs” révélant à la fois la géographie, les pratiques et l'histoire de chaque vin, de la vigne à la bouteille (Fig. 1).

Bien que les vins contiennent une faible proportion de composés inorganiques (~0,5% en poids), ces éléments peuvent jouer un rôle important sur le goût. Certains minéraux ont un impact direct sur la perception du vin. Le potassium et le calcium modulent l'acidité, le magnésium influence la rondeur, le sodium peut accentuer la salinité perçue. D'autres jouent un rôle indirect, en favorisant certaines réactions chimiques pendant la fermentation et l'élevage, notamment par leur action catalytique : certains métaux de transition, tels que le fer ou le cuivre, participent à l'oxydation des composés phénoliques et influencent subtilement la couleur et le goût (2). Enfin, de nombreux éléments, présents en concentrations de l'ordre du microgramme par litre, servent surtout de témoins. Par exemple, les teneurs en strontium ou en rubidium reflètent souvent la géologie des sols, ce qui permet de distinguer des vins originaires

de différentes régions de France sans qu'ils jouent eux-mêmes un rôle sensoriel ou chimique particulier. En étant caractéristiques d'un terroir ou d'un procédé particulier, ces minéraux fournissent des indices indirects sur le profil sensoriel du vin, même s'ils n'interviennent pas directement dans la formation des arômes (3) (Fig. 2 en page suivante).

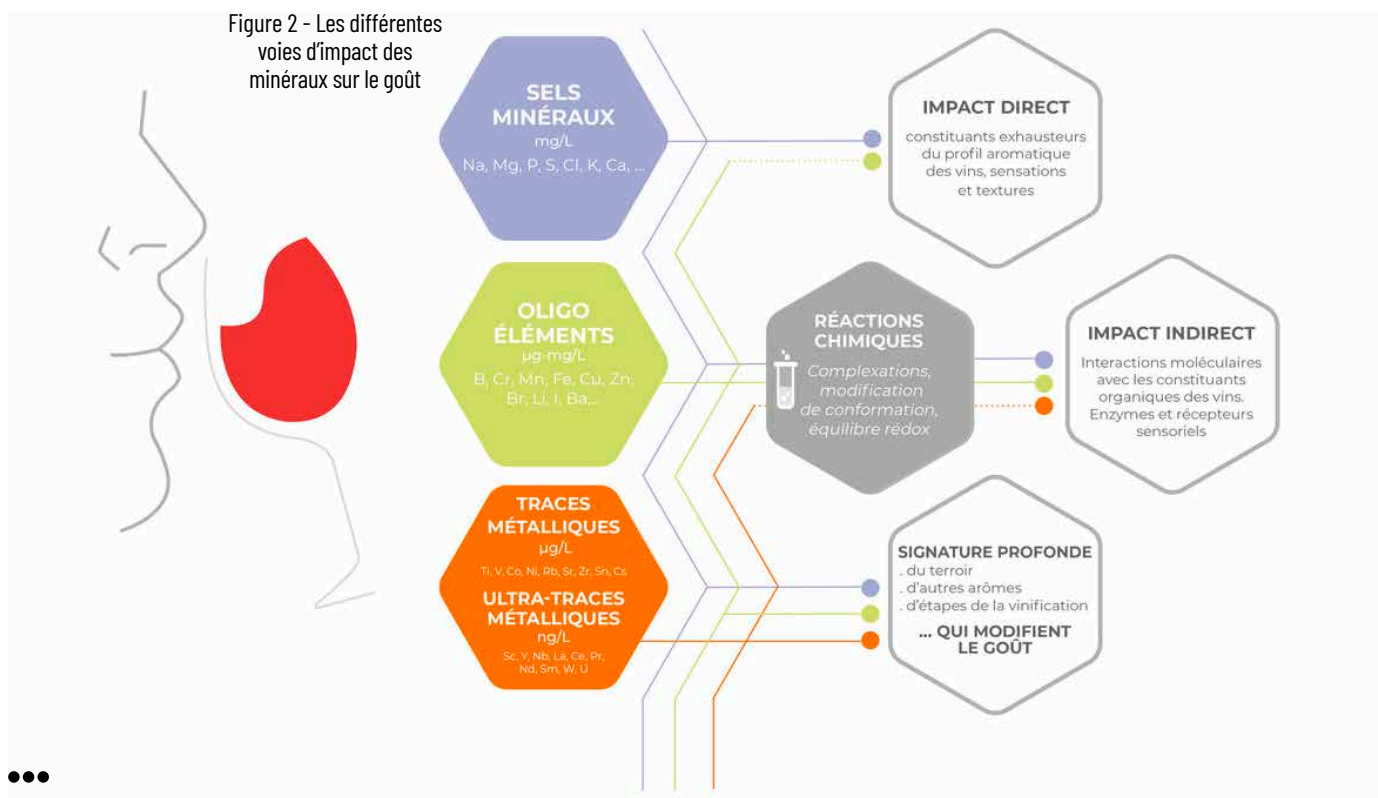
#### UNE BASE DE DONNÉES UNIQUE POUR DÉCRYPTER LE VIN

Conscient de la richesse d'informations contenue dans les profils minéraux des vins, la société M&Wine, en association à l'équipe FENNEC de l'Université Claude Bernard Lyon 1, a construit une base de données rassemblant plus de 45 000 références de vins du monde entier, enrichie chaque année de 20 000 vins supplémentaires. Cette base de données unique s'étend à 57 pays à travers le monde, couvre 17 régions françaises et recense plus de 360 cépages et un millier d'appellations. Pour chaque vin, 40 concentrations d'éléments sont mesurées, des sels minéraux aux ultra-traces métalliques. Ces données analytiques sont enrichies par un ensemble de métadonnées décrivant à la fois :

- » l'origine : Pays, Région, Appellation,
- » les caractéristiques œnologiques : cépages(s), millésime, certification,
- » la qualité : notes, commentaires de dégustation, médailles, analyses sensorielles...

Cette base de données en constante évolution constituera une mine d'informations pour l'ensemble de la filière et se révèle idéale pour le développement et l'exploitation par l'IA.

Figure 2 - Les différentes voies d'impact des minéraux sur le goût



## L'IA, DÉGUSTATRICE DE VINS À L'AVEUGLE

À partir de cette vaste base de données, M&Wine a développé *DeepRed*, un outil d'intelligence artificielle capable d'identifier un vin inconnu uniquement à partir de sa signature minérale (4). Reposant sur la richesse de la base de données et des modèles d'apprentissages avancés, cette approche atteint une résolution exceptionnelle : elle permet de prédire avec une grande précision non seulement le pays, la région et le cépage, mais aussi parfois le millésime ou encore l'appellation. En mars 2025, lors du concours « L'Homme face à la Machine », une dégustation de 12 vins internationaux a opposé des experts œnologues à *DeepRed*. L'outil d'IA a réalisé des performances remarquables avec 100% d'exactitude dans l'identification des pays d'origine, plus de 80% de réussite sur les régions et les cépages, et près de 40% de correspondance au niveau des appellations. En comparaison, le meilleur dégustateur a atteint environ 70%, 40% et 50% de prédictions correctes pour ces mêmes catégories respectives.

**Ces résultats illustrent le potentiel prédictif** de la signature minérale pour l'identification des cuvées. À mesure que la base de données s'enrichit en échantillons, terroirs et profils minéraux, le modèle IA gagne en précision, en couverture géographique et en capacité à distinguer des appellations plus fines, ouvrant la voie à une authentification toujours plus robuste et à des applications nouvelles dans la traçabilité des vins. En complétant l'expertise humaine par une analyse objective et systématique

des signatures minérales, *DeepRed* constitue un outil fiable pour l'authentification des vins, la traçabilité des cuvées et l'aide à la décision pour les producteurs et négociants.

## L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU SERVICE DES ŒNOLOGUES

Les outils d'IA fondés sur les profils minéraux ne visent pas à remplacer l'expertise humaine : ils la complètent et la renforcent, en apportant une dimension objective et reproductible grâce à des données chimiques, imperceptibles au palais humain. En croisant les signatures minérales avec les caractéristiques organoleptiques, les notes de dégustation, les résultats de concours ou les commentaires d'experts, l'IA peut devenir un outil d'aide à la décision pour les œnologues. Les objectifs sont multiples : optimiser les productions, limiter les volumes de vins présentant des défauts, améliorer la valeur des productions en ajustant l'itinéraire de vinification, le choix des intrants...

**De nouveaux outils se développent** pour exploiter les signatures minérales pour des prédictions liées à la qualité ou à la cohérence des assemblages. Ces modèles s'appuient sur les profils chimiques mesurés pour estimer l'impact potentiel de différentes combinaisons de cuves, ce qui permet d'explorer

plusieurs pistes avant la validation finale en cave. L'expertise de l'œnologue reste centrale : elle permet d'interpréter les propositions du modèle, de tenir compte du terroir, des cépages et des équilibres aromatiques, et d'ajuster les assemblages selon les objectifs recherchés. L'outil « IAssemblage », a ainsi été utilisé dans le cadre d'une collaboration

“  
l'IA peut devenir un outil  
d'aide à la décision  
pour les œnologues.”

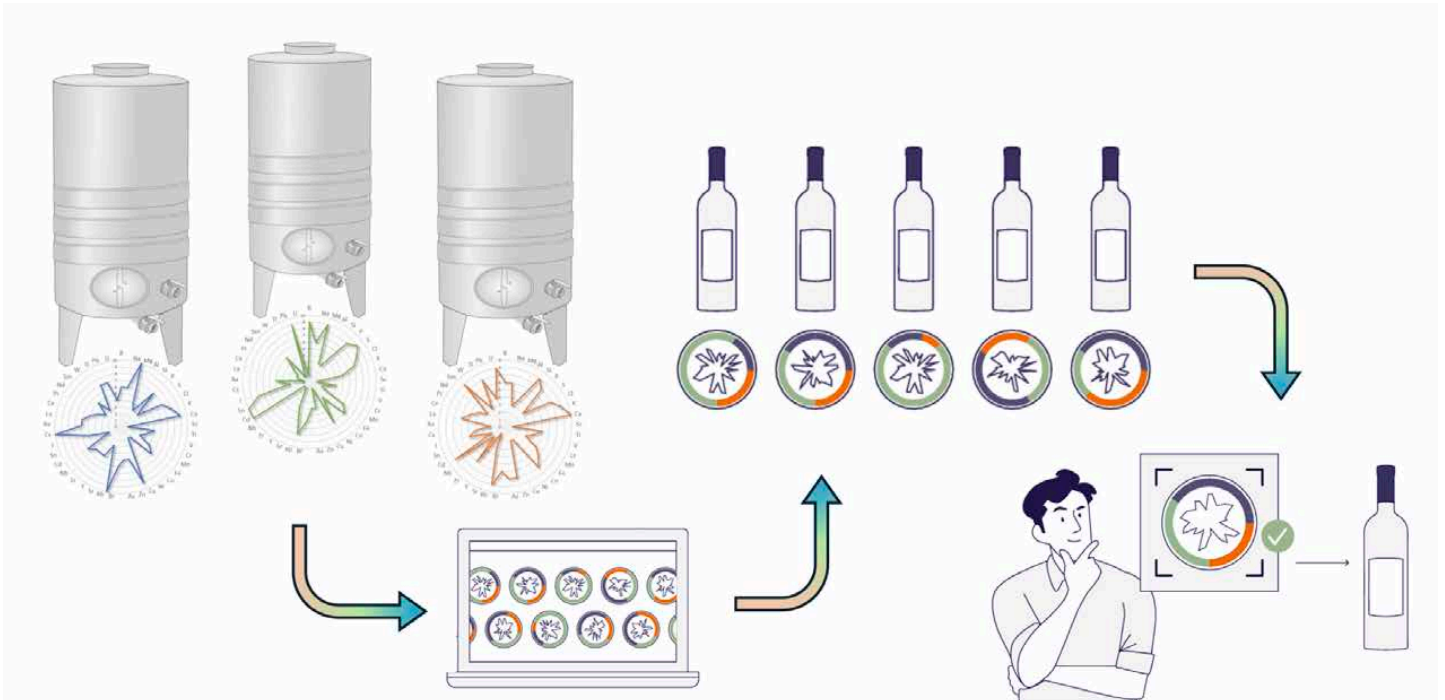


Figure 3 - Le principe de l'outil « l'Assemblage »: du profil minéral à l'assemblage

avec Bertrand Châtelet (IFV et SICAREX, Beaujolais) pour réaliser une première cuvée issue de cette approche combinant modélisation et savoir-faire. Ce type d'usage illustre comment des outils basés sur l'intelligence artificielle peuvent s'intégrer au processus de décision sans s'y substituer, en apportant des éléments d'appui supplémentaires pour affiner les choix d'assemblage (Fig. 3).

**L'IA n'est donc pas un substitut**, mais un outil stratégique, capable de soutenir la créativité œnologique tout en optimisant la qualité et la cohérence des assemblages. Au-delà de l'aide à la conception des assemblages, ces outils peuvent également être développés pour accompagner le consommateur dans ses choix. En reliant les signatures minérales des vins aux profils de dégustation individuels, l'intelligence artificielle pourra recommander des cuvées correspondant aux préférences gustatives de chaque utilisateur.

### CRÉER LE JUMENT NUMÉRIQUE DU VIN

La construction progressive d'une base de données riche, combinant signatures minérales, métadonnées agronomiques et gustatives, ouvre aujourd'hui de nouvelles perspectives pour la filière viticole. À mesure que ces informations s'accumulent, il devient possible de relier plus finement les décisions prises à la vigne ou en cave à leurs conséquences sur le vin. Cette capacité à modéliser et à prédire constitue la première étape vers le développement d'outils prédictifs.

**C'est dans ce prolongement** qu'émerge l'idée d'un jumeau numérique du vin, conçu comme une représentation virtuelle de la filière, de la vigne au verre. En s'appuyant sur des données réelles et mises à jour, un tel modèle pourrait simuler différents scénarios (pratiques agricoles, conditions climatiques, dates de récolte ou choix œnologiques) afin d'en anticiper les effets

avant leur mise en œuvre. Cette approche, encore exploratoire, esquisse une évolution possible vers de nouveaux outils d'aide à la décision en viticulture, en assemblage ou en traçabilité. À terme, les mêmes principes pourraient également être adaptés à l'aval de la filière, par exemple pour orienter des recommandations en fonction des profils sensoriels ou des préférences des consommateurs. ■

### Biblio

- (1) **Amorós JA et al. (2017)** Iron uptake in vineyard soils and relationships with other elements (Zn, Mn and Ca). The case of Castilla-La Mancha, Central Spain. *Applied Geochemistry* 78 : 325-334.
- (2) **Pohl P (2007)** What do metals tell us about wine? *Trends in Analytical Chemistry* 26 : 941-949.
- (3) **Wu H et al. (2021)** Origin verification of French red wines using isotope and elemental analyses coupled with chemometrics. *Food Chemistry* 339 :127760. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127760>
- (4) **Sarlo L et al. (2024)** Enhancing wine authentication: leveraging 12,000+ international mineral wine profiles and artificial intelligence for accurate origin and variety prediction. *OENO One* 58 : 8107. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.4.8107>