



L'azote, de la vigne au chai

ACTES DE CONFÉRENCE

13 décembre 2024



PÔLE TECHNIQUE RÉGIONAL INTERSUD

Vignes et vins du bassin Languedoc-Roussillon



Projet cofinancé par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural
L'Europe investit dans les zones rurales

SOMMAIRE



L'azote, de la vigne au chai

À la vigne

- Azote et carbone dans le sol et intérêt de la matière organique - Laure Gontier, IFV p. 04
- Glucides et azote chez la vigne : quelques informations de base p. 05
- Modélisation du cycle de l'azote et intérêt dans le pilotage de la fertilisation - Damien Fumey, Sun'Agri p. 11
- Amendement et couverts végétaux hivernaux : quel levier privilégié pour améliorer le statut organique des sols et maintenir les rendements ? - Léo Garcia, L'institut Agro p. 12
- La dynamique de mise à disposition de l'azote dans le sol - Olivier Demarle, Frayssinet p. 21

Au chai

- Analyse de l'azote : état des lieux et pilotage du sol au moût - Guillaume Desperrières Laboratoires Dubernet Œnologie p. 23
- Comment raisonner les apports foliaires minéraux ou organiques pour favoriser l'azote dans les moûts ? Justine Malaterre, Frayssinet p. 25
- L'azote, un nutriment à optimiser ! - Jean-Roch Mouret, INRAe p. 27
- Objectif sensoriel de vos cuvées : le rôle clé de la nutrition et de la levure - Marion Bastien et Florence Sablayrolles, Lallemand Oenology p. 29

LES ENTRETIENS VIGNE ET VIN en Languedoc Roussillon

Avec le soutien financier de



Projet cofinancé par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural
L'Europe investit dans les zones rurales

Laure Gontier, IFV

laure.gontier@vignevin.com



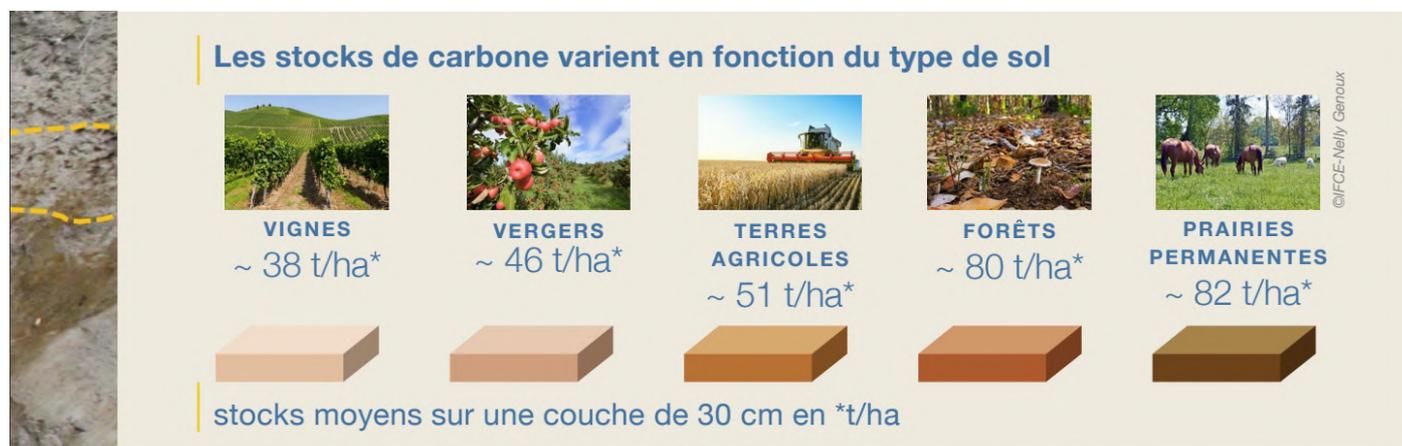
Les sols viticoles sont confrontés à un ensemble d'enjeux agronomiques et écologiques mettant en question leur pérennité. Ces sols sont soumis à la dégradation de leur intégrité physique via des processus d'érosion et de tassement importants, mais également par des processus de perte de matière organique. Les stocks de carbone des sols viticoles sont généralement assez bas, du fait des faibles apports au sol de biomasse. En France, ils sont en moyenne de 38t de C/ha dans l'horizon 0-30 cm en vignobles, contre 51t de C/ha sous grandes cultures et 82t de C/ha sous prairies permanentes (fig. 1).

Or les matières organiques (MO) jouent un rôle primordial dans le fonctionnement global du sol, au travers de ses composantes physique, chimique et biologique, la gestion de l'état organique des sols est donc un enjeu majeur en viticulture. Le terme matière organique regroupe une somme importante et hétérogène de substances et composés carbonés d'origine végétale et animale. La nature de la matière organique du sol est donc variée et complexe : des débris en cours de décomposition issus de la végétation (sarments, feuilles, racines, herbe) qui constituent la « litière » du sol jusqu'à l'humus « stable » solidement fixé aux particules minérales et garantissant la pérennité structurale, elles présentent des propriétés très diversifiées. Toutefois la relation entre la nature des matières organiques et leurs propriétés n'est pas simple du fait des nombreuses in-

teractions qui existent au niveau du sol, de la diversité des matières organiques et de leur renouvellement perpétuel.

En particulier, leurs propriétés confèrent au sol des aptitudes plus ou moins importantes en termes de limitation du ruissellement, de l'érosion ou du tassement, tout en permettant le stockage et la fourniture d'éléments minéraux. Elles jouent également un rôle majeur dans la fonction épuratrice du sol en améliorant la rétention des micropolluants organiques et des pesticides. Enfin, elles permettent de stocker du carbone dans les sols et ainsi de participer à la réduction de l'émission des gaz à effet de serre et à lutter contre le changement climatique.

Ces MO permettent également la fourniture en azote du sol via leur minéralisation par les micro-organismes du sol. Cette minéralisation est fonction du type de sol (taux d'argile, carbonates, pH, taux de MO) et des conditions climatiques (température et humidité du sol). De façon à mieux connaître l'impact d'apports organiques sur le sol et la vigne, l'IFV a bâti un programme ambitieux, permettant également d'améliorer le conseil de gestion de la matière organique en sols viticoles.



Source : «Statistiques sur les stocks de carbone (0-30 cm) des sols du réseau RMQS», <https://doi.org/10.15454/RURZXN>, Recherche Data Gouv, V2

OCCITANIE



Sud-ouest
Languedoc Roussillon

Retrouvez notre nouvelle rubrique

LES FONDAMENTAUX DE LA VITICULTURE

sur

www.vignevin-occitanie.com

Articles didactiques écrits par des experts pour
rappeler les bases scientifiques de la
viticulture, parfois trop rapidement
oubliées

Rubrique «fiches pratiques»

GLUCIDES ET AZOTE CHEZ LA VIGNE : QUELQUES INFORMATIONS DE BASE

Alain Deloire¹, Anne Pellegrino¹, Marie-Emmanuelle Saint-Macary²

¹ L'institut Agro Montpellier

² Frayssinet

alain.deloire@supagro.fr



LES RÉSERVES CARBONÉES CHEZ LA VIGNE

Comment sont produites les molécules carbonées chez la vigne ?

Abordons sommairement la question des molécules carbonées chez la vigne, sujet qui a déjà fait l'objet de nombreuses études et publications et qui n'est pas simple compte tenu de la variabilité des situations et interactions rencontrées au vignoble ! Néanmoins, il est possible de proposer une hiérarchisation des principaux paramètres impactant le gain de carbone (C) au vu des connaissances actuelles : climat > état hydrique et azoté de la vigne > cépage > porte-greffe > rapport surface foliaire exposée/rendement par cep (SFE/P).

La surface foliaire exposée (SFE) influe sur le gain de C au travers de l'efficacité photosynthétique. Pour rappel, la première molécule carbonée (ou photoassimilat) formée par la photosynthèse au niveau des feuilles est le glucose.

L'éclairement saturant pour la photosynthèse nette d'une feuille de vigne exposée est généralement atteint pour une densité de flux de photons (PFD) > 1200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Ce seuil PFD est toutefois variable selon l'âge de la feuille et son acclimatation au rayonnement (Zufferey et al., 2000). Rappelons aussi que la photosynthèse d'une feuille isolée est supérieure à la photosynthèse moyenne totale d'une canopée dans laquelle il y a des feuilles exposées et acclimatées à différents niveaux de rayonnement (Intrieri et al., 1997). La performance photosynthétique d'une canopée (qui est difficile à estimer !) dépendra de nombreux paramètres qui interagissent : climat, cépages, stades phénologiques, systèmes de conduite (architecture de la végétation versus % de feuilles exposées et à l'ombre), SFE/P, statut hydrique et nutrition azotée de la vigne (et magnésium disponible).

Pour savoir comment calculer/estimer simplement la surface foliaire exposée (SFE) d'un couvert végétal pour un système de conduite palissé de type Espalier, se référer à la formule publiée par Carbonneau (1995) ; il y a bien sûr d'autres méthodes de calcul de la SFE ou de la surface foliaire totale d'un couvert végétal que nous ne développerons pas ici.

La surface foliaire exposée (SFE) est généralement estimée à partir de la véraison où un arrêt ou ralentisse-

ment de la croissance végétative s'opère.

Le rapport feuille-fruit par cep peut se calculer dès la nouaison et surtout dès le début de la véraison (ramollissement des baies) donc dès le début du chargement en sucres des fruits. Selon la valeur de ce rapport, un rééquilibrage de la vigne peut être envisagé en enlevant des feuilles et/ou des parties de tiges (donc en réduisant la SFE par exemple pour économiser de l'eau en limitant la surface foliaire transpirante) où à l'inverse en enlevant des grappes afin de limiter les puits. La dynamique du chargement en sucres des baies (mg/baie) est un indicateur physiologique vigne-raisin supplémentaire utile pour apprécier l'équilibre de la vigne (Deloire, 2013).

Qu'en est-il de la mise en réserve du carbone (sucres : sucres solubles, amidon) chez la vigne ?

Pour apporter quelques informations de base, citons en les complétant, les conclusions de l'étude de Zufferey et al. (2012) sur Chasselas.

- La vigne met en réserve des glucides principalement sous forme d'amidon (figures 1 et 2) dans ses parties ligneuses (sarments, racines, bois de structure).
- Les réserves glucidiques hivernales assurent deux rôles principaux chez la vigne : la garantie du redémarrage de la croissance végétative permis par le flux de sucres après catalyse des réserves (via la sève) et la protection des structures avec un effet anti-froid des sucres solubles in situ après dégradation de l'amidon (Noronha et al., 2018).
- L'amidon des racines et du tronc est fortement mobilisé du débourrement à la floraison, ce qui se traduit par une diminution des réserves en glucides dans ces organes.
- L'amidon (forme de réserve des sucres non mobiles dans la plante) doit être transformé en saccharose (grâce à une enzyme appelé « amylase ») pour la mobilité des sucres entre les organes via le phloème (système conducteur de la sève élaborée). Le saccharose peut ensuite être clivé dans les cellules en glucose + fructose (grâce à une enzyme appelé « invertase »).

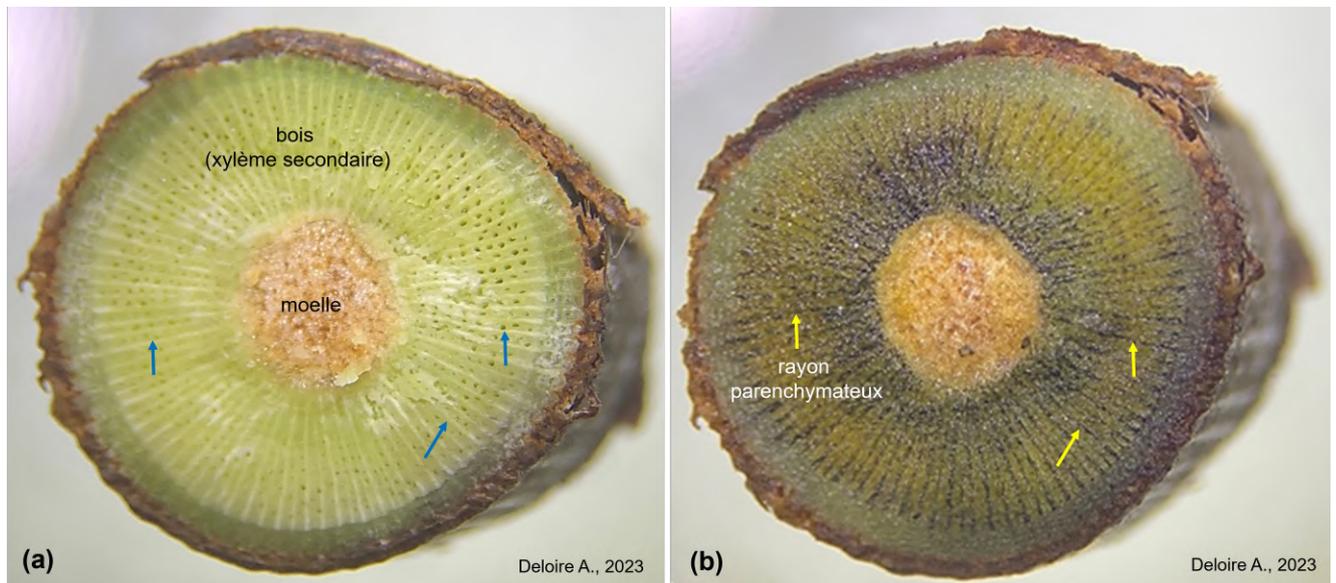


Figure 1 : (a) Exemple d'une coupe transversale d'un sarment de vigne d'un an (*Vitis vinifera* L., cv. Syrah ; les flèches bleues montrent des rayons parenchymateux) ; (b) La coloration au Lugol (bleu/violet) met en évidence la présence d'amidon dans les rayons parenchymateux (indiqués par des flèches jaunes) au niveau du xylème secondaire (bois).

- Dès la floraison, l'amidon s'accumule principalement dans les racines et les parties pérennes (tronc, cordon...) et plus tard dans les sarments et ce, jusqu'à la chute des feuilles.
- Le rapport feuille-fruit (surface foliaire exposée SFE/kg de raisin) détermine fortement la teneur en amidon et en glucides totaux des parties pérennes (tronc, cordon, sarments) et des racines à la récolte.
- Post récolte, le maintien de l'activité photosynthétique des feuilles sur une courte période de 10 à 15 jours par exemple sous climat froid ou à l'aide de l'irrigation en zone sèche, favorise la restauration des réserves carbonées (Greven et al., 2015).
- Le taux d'amidon et de glucides totaux augmente avec l'accroissement du rapport feuille-fruit pour culminer autour de 1,5 m² SFE/kg.
- Un rapport feuille-fruit de 1 à 1,2 m² SFE/kg de raisin est optimal pour la maturation du raisin comme pour la pérennité des souches, grâce au stockage des glucides dans les racines et les bois de la vigne et si les feuilles poursuivent une activité photosynthétique suffisante !
- Rossouw et al (2017) ont montré que les grappes ne sont plus des puits pour les sucres dès que le plateau du chargement en sucres des baies est atteint. Autrement dit, suivant les cépages et la date de récolte, les baies ne sont plus des puits prioritaires dès qu'elles ont atteint le plateau du chargement en sucres (mg/baie), soit entre 10 et 60 jours avant la vendange.

Quelques conseils appliqués :

- 1) Les jeunes plantes avec une moindre SFE sont moins productives en sucres issus de la photosynthèse, et sont donc plus sensibles à une mauvaise mise en réserve. Il est important de soutenir la croissance végétative de ces jeunes plantes en accompagnant la nutrition (azotée et Mg) et si besoin en limitant le nombre de grappes par pied (en cas de stress). En situation de sécheresse (niveau de contrainte hydrique à déterminer), il est également recommandé d'ajuster le rendement à la surface foliaire qui sera naturellement réduite par manque d'eau.
- 2) Lors d'une saison avec des accidents ou aléas climatiques impactant le métabolisme C, le maintien des feuilles en activité (photosynthèse) jusqu'à post vendange et à minima 10 à 15 jours post vendange peut favoriser la mise en réserve carbonée tardive (photoassimilats) et minimiser les effets néfastes sur l'année suivante.

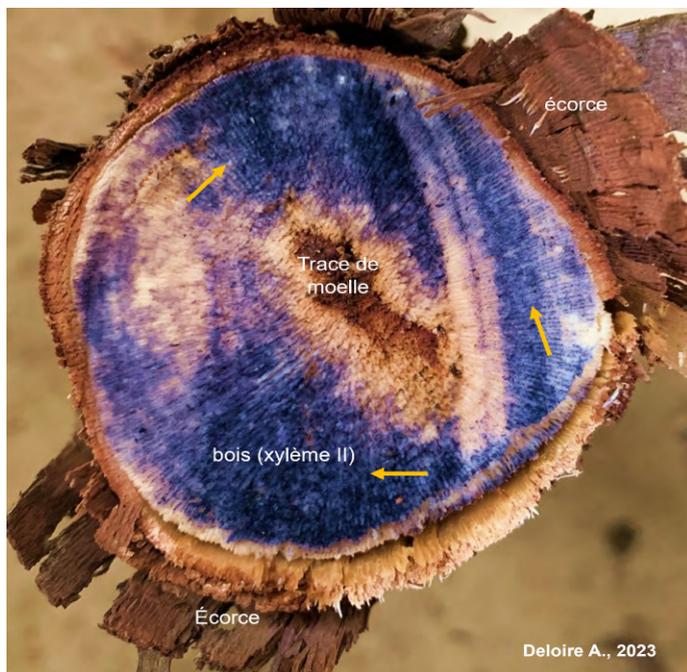


Figure 2 : Mise en évidence visuelle par coloration spécifique de la présence d'amidon dans les rayons parenchymateux du bois (flèches jaunes) d'un jeune tronc de vigne (section transversale dans un jeune tronc d'environ 10 ans). L'amidon n'est pas la seule forme de stockage des sucres de réserve.

LES RÉSERVES AZOTÉES ET LEURS LIENS AVEC LES RÉSERVES CARBONÉES CHEZ LA VIGNE

Pour la question des réserves azotées chez la vigne, résumons certains résultats des publications jointes en références notamment (Zapata et al., 2004) et sous forme de points :

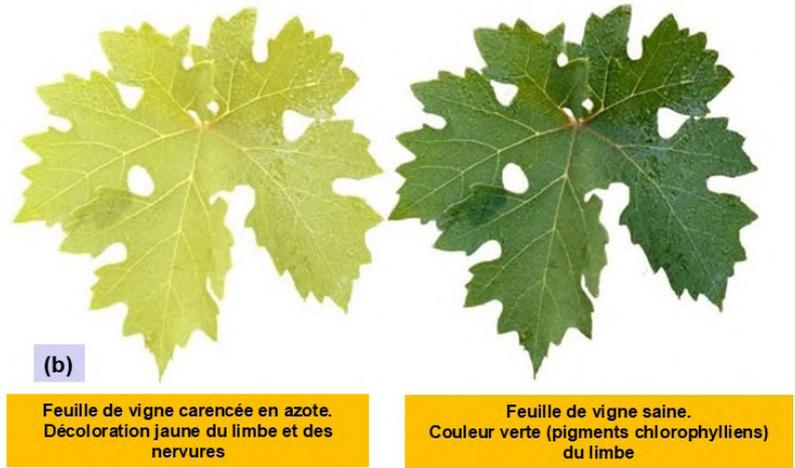
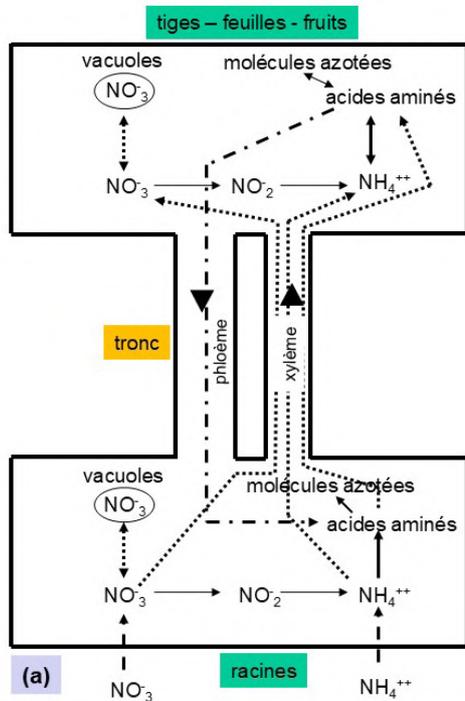
- Les métabolismes carboné (C) et azoté (N) sont étroitement corrélés (Verdenal et al., 2001). Ainsi, une synergie est observée entre le stockage d'azote et de carbone et leurs réponses aux contraintes environnementales, bien que les niveaux d'azote soient beaucoup plus bas (ratio de 10 ou plus) que ceux de l'amidon (Zapata et al., 2004).
- Le C stocké dans les organes pérennes (racines, tronc, sarments) est principalement constitué d'amidon, qui s'accumule dans le parenchyme des rayons du bois (figure 1). Les réserves d'azote sont principalement situées dans les racines et sont constituées d'acides aminés (principalement l'arginine) et de protéines.
- L'utilisation du marquage isotopique ^{15}N s'est avérée être un outil puissant pour étudier l'absorption, le stockage et la mobilisation de l'azote chez les espèces cultivées.
- Les dynamiques de mobilisation/déstockage du C et de l'N évoluent en fonction des périodes de croissance printanière.
- Lors de la première période (de l'écodormance au dé-

bournement), des pertes importantes de C et d'N se produisent principalement via la nécrose des racines. Une fraction du C et de l'N peut aussi être perdue par les pleurs de la vigne pré débournement (ou mobilisée vers les organes en croissance).

- Lors de la deuxième période (de la première feuille étalée au début de la floraison), une forte mobilisation de l'amidon (et, dans une moindre mesure, de l'azote) a lieu pour soutenir la croissance végétative et reproductive. À ce stade, la plupart des réserves de C et de N utilisées pour la pousse printanière provient des racines, plutôt que du vieux bois (tronc, sarments). Ainsi, les teneurs en amidon et en azote total diminuent dès le début du développement (sève montante, débournement). Toutefois, leurs concentrations diminuent peu avant le stade de 7 feuilles étalées.

NB : Bien que l'absorption d'azote commence tôt dans le cycle de développement, elle reste généralement faible jusqu'à la floraison, même en cas de forte disponibilité d'azote dans le sol. En effet, les racines fines, les plus efficaces dans l'absorption des minéraux, ne commencent à se différencier et à se développer que plusieurs semaines après le débournement, le pic de croissance des racines se situant autour de l'anthèse (floraison). Ainsi, la remobilisation de l'azote lors de la croissance printanière pourrait être le principal processus responsable de l'allocation de l'azote aux organes/tissus en croissance de la vigne, du moins jusqu'à la floraison.

- L'azote, bien connu comme élément central de la nutrition des plantes, a été récemment démontré comme ayant également un rôle clé dans l'activation des mécanismes de défenses (Verly et al., 2020). Ainsi, la forme d'azote mise à disposition par les fertilisants (organique vs minérale) au cours de la période végétative influe directement sur les capacités d'autodéfenses des vignes (Saint-Macary et al, 2021).
- Lors de la troisième période (floraison et début du développement des baies), le processus de mobilisation devient faible et est compensé par l'absorption racinaire d'azote (et l'assimilation de CO_2), fournissant des nutriments aux organes puits. L'amidon peut commencer à s'accumuler à nouveau dans les tissus pérennes dès la floraison (à titre indicatif, lors de la floraison, il y a environ 15 à 17 feuilles sur un rameau primaire).
- L'azote est absorbé par les racines sous forme de NO_3^- (nitrate) et NH_4^{++} (ammonium) puis transporté vers les différents organes de la plante et/ou stocké dans les vacuoles des cellules (figure 2).
- Une carence en azote se traduit par un jaunissement des feuilles (limbe et nervures), par une croissance ralentie des tiges et des baies et in fine par une carence en azote des moûts (figure 3).



<http://ephytia.inra.fr/fr/C/7070/Vigne-Desordres-nutritionnels>

Carbonneau A., Deloire A., Torregrosa L., Jaillard B., Pellegrino A., Métay A., Ojeda H., Lebon E., Abbal P., 2015. *Traité de la Vigne. Physiologie, Terroir, Culture*. Editions Dunod (2^{ème} édition), pp573.

Figure 3 : (a) Schéma montrant les formes d'absorption de l'azote par les racines (NO_3^- et NH_4^{++}), puis sa distribution (NO_3^- , NH_4^{++} et acides aminés) dans les différents organes de la vigne et son stockage dans les vacuoles des cellules sous forme de NO_3^- ; (b) exemples de feuilles carencée en azote (gauche) et saine (droite).

Quelques conseils appliqués :

- 1) L'analyse des sarments permet de diagnostiquer l'état des réserves C/N avant débourrement et gérer la fertilisation azotée et minérale de la vigne (apports au sol et/ou fertilisation foliaire) dès le début de cycle.
- 2) Les analyses foliaires et des pétioles permettent respectivement d'apprécier l'efficacité du métabolisme nutritionnel et la mobilisation des éléments (flux) au cours de la croissance de la vigne afin d'adapter la fertilisation de la vigne (en particulier le pilotage des apports foliaires).
- 3) Les apports foliaires peuvent faire l'objet d'un programme raisonné en fonction des besoins physiologiques de la vigne, d'objectifs de santé de la plante, de rendement (composantes du rendement et développement des baies), d'amélioration ou de corrections de la composition des fruits et de développement/construction du système racinaire. Ces apports foliaires se raisonnent tout au long du cycle de croissance de la vigne (de post débourrement à post vendange) en prenant comme stades repères les principaux stades phénologiques de la vigne, et ce jusqu'à la préparation de N+1

(réserves)

- 4) Le respect des sols (santé des sols) et la connaissance des porte-greffes, du développement, de la morphologie et de l'implantation du système racinaire de la vigne (dont les racines fines) sont des points importants pour comprendre le fonctionnement vigne-raisin et adapter les pratiques culturales.
- 5) L'apport de fertilisants azotés organiques au sol est un levier intéressant pour la gestion des mécanismes d'auto-défenses des plantes (Saint Macary et al., 2021).

Sélection de quelques publications :

Partie 1

Candolfi-Vasconcelos M. C. & Koblet W., 1990. Yield, fruit quality, bud fertility and starch reserve of the wood as a function of leaf removal in *Vitis vinifera*. Evidence of compensation and stress recovering. *Vitis* 29, 199 –221.

Carbonneau A., 1995. La surface foliaire exposée potentielle. Guide pour sa mesure. *Progr. Agric. Vitic.* 112, 204–212.

Deloire, A., 2013. Physiological indicators to predict harvest date and wine style. 15th Australian Wine Industry Technical Conference, Sydney, New South Wales. 47-50.

Greven, Marc M., Sue M. Neal, D. Stuart Tustin, Helen Boldingh, Jeff Bennett, et Maria Carmo Vasconcelos. « Effect of postharvest defoliation on carbon and nitrogen resources of high-yielding sauvignon blanc grapevines ». *American Journal of Enology and Viticulture* 67, no 3 (juillet 2016): 315-26. <https://doi.org/10.5344/ajev.2016.15081>.

Intrieri, C, S Poni, B Rebutti, et E Magnanini. « Effects of canopy manipulations on whole-vine photosynthesis : Results from pot and field experiments ». *Vitis* 36, no 4 (1997): 167-73.

Noronha H., Silva A., Dai Z., Gallusci P., Rombolà A.D., Delrot S., Gerós H., 2018. A molecular perspective on starch metabolism in woody tissues, *Planta* 248:559–568

<https://doi.org/10.1007/s00425-018-2954-2>

Rossouw G.C., Smith J.P., Barril C., Deloire A., 2017. Carbohydrate distribution during berry ripening of potted grapevine : impact of water availability and leaf to fruit ratio, *Scientia Horticulturae*, 216, 215-225.

Zufferey V., Murisier F., Vivin P., Belcher S., Lorenzini F., Spring J.L. & Viret O., 2012. Réserves en glucides de la vigne (cv. Chasselas): influence du rapport feuille-fruit, *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, Vol. 44 (4): 216–224, 20.

Zufferey, V, F Murisier, et H R Schultz. « A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs Riesling and Chasselas leaves in the field: I. Interaction of age, light and temperature ». Vol. 39. *Vitis*, 2000.

Partie 2

Araujo FJ, Williams LE., 1988. Dry matter and nitrogen partitioning and root growth of young field-grown Thompson seedless grapevines. *Vitis*, 27:21–32

Choné X., Lavigne-Cruege V, Tominaga T., Van Leeuwen C., Castagnede C., Saucier C., Dubourdiou D., 2006. Effect of vine nitrogen status on grape aromatic potential : flavor precursors (S-cysteine conjugates), glutathione and phenolic content in *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grape juice. *J. Int. Sci. Vigne Vin* , 40, pp 1-6.

Conradie WJ, 1986. Utilisation of nitrogen by grape-vine as affected by time of application and soil type, *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, vol7 n°2, p76-83.

Conradie WJ. 1980. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture. I. Nitrogen. *South Afr J Enol Viticult.*, 1 :59–65

Dufourcq T, Davaux F., Charrier F., Poupault P., Schneider R., 2011. La fertilisation foliaire en azote de la vigne et ses conséquences sur la composition des mouts et des vins, *La Revue des Œnologues*, N°141, Novembre 2011

Etchebarne F, Ojeda H, Deloire A. 2009. Influence of vine water status and vintage effects on mineral supply to grape berries during ripening (*Vitis vinifera* L cv. Grenache Noir). *Vitis*, 48 (2), 63 – 68.

Jreij R., Kelly M.T., Deloire A., Brenon E. & Blaise A., 2009. Effects of soil-applied and foliar-applied nitrogen on the nitrogen composition and distribution in water stressed *Vitis vinifera* L., cv sauvignon blanc grapes. *Int. Sci. Vigne Vin*, 43, n°4, 179-187

Roubelakis-Angelakis KA, Kliewer WM. 1992. Nitrogen metabolism in grapevine. *Hort Rev.*, 14:407–52.

Saint-Macary M.E., Demarle O., Lascaux E. et Loiseau E., 2021. Tester le triptype nutrition/stimulation/AOD, *Phytoma*, N°747

Verly C., Djoman A.C.R., Rigault M., Giraud F., Rajjou L., Saint-Macary M.E Dellagi A., 2020. Plant Defense Stimulator Mediated Defense Activation Is Affected by Nitrate Fertilization and Developmental Stage in *Arabidopsis thaliana*, *Frontiers in Plant Science*, doi: 10.3389/fpls.2020.00583

Verdenal T., Dienes-Nagy A., Zufferey V., Spring J.L., Viret O., Marin-Carbone J., & van Leeuwen C., 2021. Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine: a review, *OenoOne*, DOI:10.20870/oeno-one.2021.55.1.3866

Zapata C., Deléens E., Chaillou S., Magne C., 2004. Partitioning and mobilization of starch and N reserves in grapevine (*Vitis vinifera* L.), *Journal of Plant Physiology* 161, 1031–1040.



L'excellence de l'expertise viti-vinicole

IFV+ s'appuie sur les expertises des équipes de l'IFV et est spécialisée dans l'accompagnement des entreprises de la filière viti-vinicole dans les domaines de la viticulture et de l'œnologie.

Elle se distingue par ses solutions complètes et personnalisées, axées sur l'expertise scientifique, la qualité, et l'innovation.

Expert+

Vous souhaitez un accompagnement personnalisé en R&D et en expérimentation pour la viticulture, l'œnologie et la microbiologie ? Nos experts vous proposent des solutions sur mesure.

Vision+

Vous avez besoin d'outils innovants pour évaluer l'empreinte carbone, cartographier les terroirs ou optimiser la pulvérisation ? Découvrez nos solutions développées par l'IFV :

- empreinte environnementale (Ges&Vit)
- cartographie terroir (E-Terroir)
- analyses sensorielles
- OAD (Decitrait, Oadex, AppEau)
- Qualité de pulvérisation (EvaSprayViti, EoleDrift)

Savoir+

Vous voulez enrichir vos compétences ? Optez pour nos formations complètes, en présentiel ou en ligne, adaptées à vos besoins.

Lab+

Vous cherchez des analyses précises et fiables ? Nos laboratoires du Grau du Roi et de Montpellier vous offrent des services certifiés en virologie et identification variétale.

Pour plus d'informations :

- [Site web : https://www.vignevin.com/ifvplus/](https://www.vignevin.com/ifvplus/)
- [Amandine Roux - amandine.roux@vignevin.com](mailto:amandine.roux@vignevin.com)

MODELISATION DU CYCLE DE L'AZOTE ET SON INTÉRÊT DANS LE PILOTAGE DE LA FERTILISATION

Damien Fumey¹, Sophie Bellacicco¹, Gerardo Lopez-Velasco¹, Jérôme Chopard¹, Vincent Hitte¹, Severine Persello¹, Perrine Juillion¹, Isaac A. Ramos-Fuentes¹

1 Sun'Agri, Paris

damien.fumey@sunagri.fr



En viticulture, la nutrition azotée joue un rôle central, tant dans le développement de la vigne que pour la constitution du rendement et la qualité des baies. L'azote est stocké sous différentes formes dans les baies lors de leur maturation et joue un rôle fondamental lors de la vinification : (i) nutriment indispensable au fonctionnement des levures réalisant la fermentation alcoolique; (ii) constituant des acides aminés qui interviennent dans le bouquet aromatique du vin (sur certains arômes fermentaires et sur des arômes primaires, arômes de cépage, les thiols). Aussi, raisonner et adapter la fertilisation azotée de la vigne est donc un des leviers pour maîtriser la qualité du vin, mais aussi son orientation aromatique.

La modélisation du cycle de l'azote dans la vigne, couplé au cycle de l'azote dans le sol au sein du continuum sol-plante-atmosphère, peut représenter une méthode efficace pour estimer les dynamiques des différents flux d'azote dans ce continuum et estimer les besoins de la plante tout au long de son cycle de développement. L'approche sol-plante-atmosphère est particulièrement pertinente car elle prend en compte l'ensemble des processus influençant le cycle de l'azote. Dans le sol, l'azote subit des transformations complexes, telles que la minéralisation et la nitrification, qui dépendent de paramètres comme l'humidité, la température et la structure du sol. Dans la plante, il doit être absorbé, assimilé et redistribué pour soutenir la croissance végétative et la maturation des baies. Enfin, dans l'atmosphère, l'irradiation solaire joue un rôle clé en modulant la photosynthèse, qui influence directement l'absorption et l'utilisation de l'azote par la vigne.

L'utilisation de la modélisation permet la création d'outil d'aide à la décision afin d'optimiser précisément les apports d'azote aux besoins réels de la vigne tout en répondant aux enjeux agro-environnementaux. Cela répond à deux objectifs principaux : limiter les pertes environnementales et améliorer les rendements ainsi que la qualité des moûts. Les excès d'azote appliqués peuvent entraîner un lessivage vers les nappes phréatiques ou des émissions gazeuses, comme le N_2O , qui contribuent au changement climatique et à la pollution des écosystèmes aquatiques. En parallèle, une gestion fine des apports favorise la synthèse de composés d'intérêt, tels que les thiols, essentiels pour l'expression

aromatique des vins. Différentes approches de modélisation peuvent être utilisées dans ce but : de la modélisation mécaniste du couplage des cycles carbonés, hydriques et azotés de la vigne qui permet de décrire sur un pas de temps défini l'état hydrique et azoté d'une parcelle et son impact sur la croissance de la vigne ; à la modélisation statistique de certains processus comme la maturation des baies permettant de contraindre le niveau de complexité du modèle à un niveau permettant l'utilisation de ce modèle dans un contexte opérationnel. Enfin, la modélisation du cycle de l'azote en viticulture représente un outil pertinent pour le pilotage de la fertilisation tout en permettant aussi la prise en compte de différentes pratiques comme l'irrigation, l'utilisation de couverts végétaux ou encore le pilotage de l'irradiation tel que proposé par les technologies d'agrivoltaïsme dynamique développées par Sun'Agri. En effet, En modulant l'irradiation lumineuse grâce à des panneaux photovoltaïques mobiles, il est possible de contrôler les flux énergétiques au sein du continuum sol-plante-atmosphère. Cette modulation permet d'ajuster le microclimat aux besoins spécifiques de la vigne et d'optimiser la disponibilité ainsi que l'assimilation de l'azote par la plante. Cette approche intégrée constitue une réponse prometteuse aux défis du changement climatique et de la durabilité agricole. Elle ouvre la voie à des systèmes viticoles plus résilients, capables de préserver les ressources naturelles tout en garantissant une qualité optimale des productions.

 Pensez

par FRAYSSINET
fertissimo



PLANS DE FERTILISATION & BIOSTIMULATION



Vos plans de fertilisation en moins de 2 min

sur **fertissimo.fr**

Développé par FRAYSSINET, ce **logiciel pédagogique, simple et intuitif** permet d'élaborer facilement vos **plans complets de fertilisation** composés de produits solides et liquides.

+1,5PT HVE*

* Gain de point garanti dans l'item HVE « Part de l'azote organique apporté sur l'azote total apporté sur la SAU » dans le cadre d'une fertilisation azotée annuelle exclusivement effectuée avec ce produit.



FRAYSSINET

AMENDEMENT ET COUVERTS VÉGÉTAUX HIVERNAUX : QUEL LEVIER PRIVILÉGIÉ POUR AMÉLIORER LE STATUT ORGANIQUE DES SOLS ET MAINTENIR LES RENDEMENTS ?

Léo Garcia¹, Denis Caboulet², Régis Castan³, Olivier Demarle³, Justine Malaterre³, Aurélie Metay¹

¹ ABSys, Univ Montpellier, CIHEAM-IAMM, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier F-34060, France

² Institut Français de la Vigne et du Vin, Narbonne, France

³ Frayssinet, Rouairoux, France

leo.garcia@supagro.fr



INTRODUCTION

La viticulture, représentant 17 % de la production agricole en valeur avec une production annuelle de 45,4 millions d'hectolitres en 2022, fait face à des défis majeurs dans le contexte actuel de changements climatiques et environnementaux (Prost and Beaufigl, 2022). Ces bouleversements impactent profondément la physiologie de la vigne et la dynamique de maturation des raisins, provoquant une avancée des stades phénologiques, une augmentation des stress hydriques et thermiques, et des modifications de la qualité organoleptique des productions (Ollat and Touzard, 2020; van Leeuwen and Darriet, 2016). Simultanément, les pratiques vitivini- coles doivent évoluer pour réduire leur impact environnemental tout en renforçant leur résilience face à ces perturbations.

Parmi ces enjeux, la préservation de la qualité des sols émerge comme une priorité, tant pour maintenir la productivité des vignobles que pour assurer leurs fonctions écosystémiques. La qualité d'un sol, définie comme sa

capacité à soutenir des services écosystémiques à travers ses fonctions biologiques, chimiques et physiques (Calvaruso et al., 2021), est aujourd'hui menacée par des décennies de pratiques intensives (e.g. herbicides, travail du sol). En viticulture, la faible teneur en matière organique couramment observée (entre 0,5 % et 2 %) est particulièrement préoccupante (figure 1), car elle compromet la fertilité des sols, aggrave l'érosion et réduit la disponibilité des nutriments essentiels (Ruiz-Colmenero et al., 2011).

Dans ce contexte, les couverts végétaux se présentent comme des leviers prometteurs pour répondre à ces enjeux. Leur mise en place contribue à améliorer la fertilité physique des sols en augmentant la stabilité structurale des agrégats, en favorisant l'infiltration et la rétention de l'eau, et en limitant l'érosion et le ruissellement (Prosdociami et al., 2016; Ruiz-Colmenero et al., 2013). Sur le plan chimique, ils enrichissent les sols en matière organique et en azote, selon la composition et le cycle de vie des espèces utilisées (Abad et al., 2021). Cependant, des dysservices sont également observés : en contexte méditerranéen, les couverts peuvent entrer en compétition avec la vigne pour les ressources en eau et en azote, entraînant parfois une réduction des rendements et de la vigueur des plantes (Celette et al., 2009; Garcia et al., 2018).

C'est dans cet objectif que le projet RESAMOVITI (RE-Seau d'Acquisition de références et d'accompagnement des pratiques d'amélioration de la MATière Organique des sols VITicoles) a été élaboré par l'IFV, le groupe Frayssinet à travers le club Authentis et l'UMR ABSys (Figure 2). Ce projet, financé par la région Occitanie et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, vise à évaluer les effets de la mise en œuvre des couverts végétaux et des amendements organiques en conditions viticoles méditerranéennes. La problématique centrale de ce travail est donc de comprendre dans quelles conditions ces pratiques peuvent être optimisées pour répondre aux enjeux agroécologiques de la viticulture méditerranéenne.

Carte de la Matière Organique des sols en Languedoc-Roussillon
Teneur médiane cantonale sur la période 1990-2004

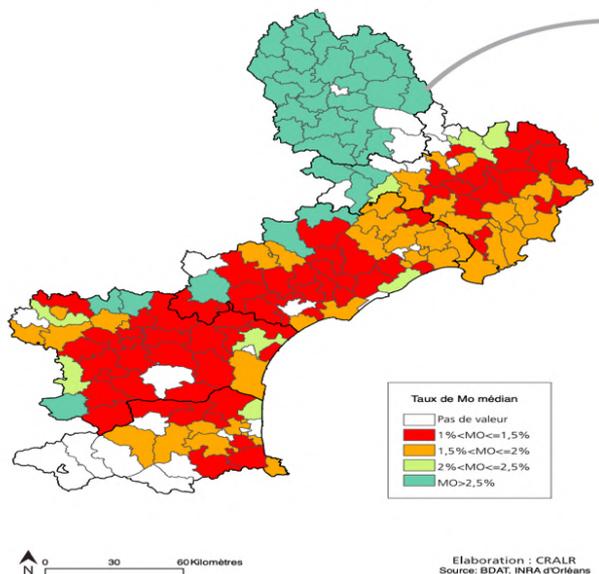


Figure 1 - Carte de la matière organique des sols en Languedoc-Roussillon (médiane cantonale 1990-2004) (Chambre d'Agriculture de l'Occitanie, 2010)

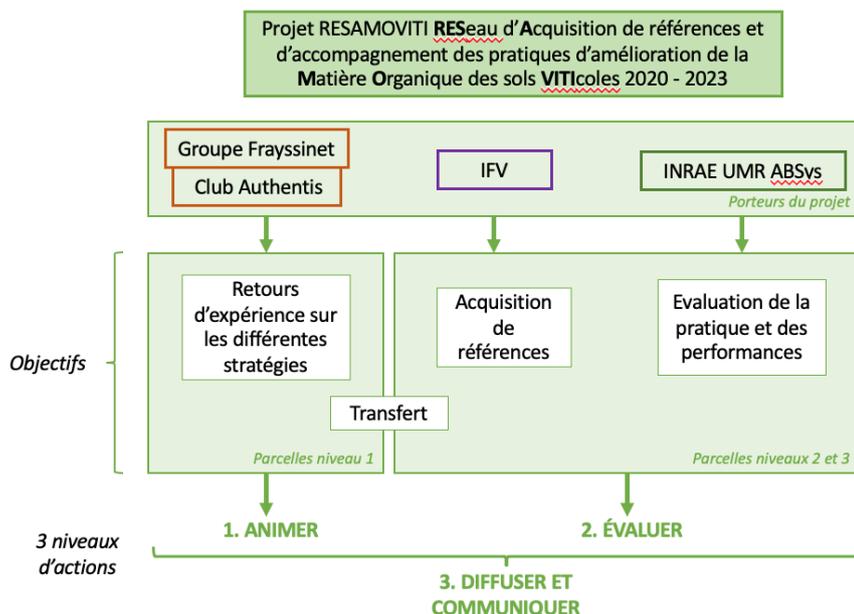


Figure 2 - Schéma du projet RESAMOVITI (Lebreton 2023)

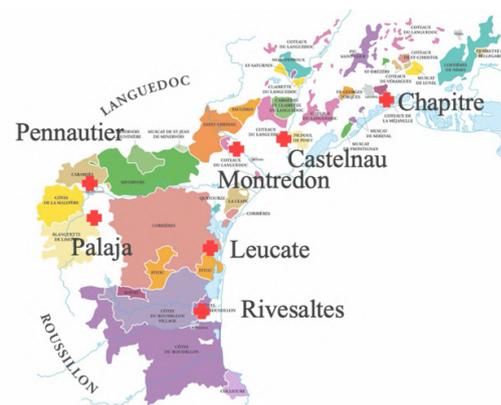


Figure 3 - Carte de la localisation des 7 parcelles RESAMOVITI

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Réseau de parcelles et dispositif expérimental

Le suivi s'est déroulé sur un réseau de 7 parcelles de l'arc méditerranéen, réparties dans l'Hérault, l'Aude et les Pyrénées Orientales, implantées avec des cépages méditerranéens (Merlot, Mourvèdre, Marselan, Macabeu, Syrah).

Quatre modalités combinant couvert végétal et amendement organique ont été mises en place dans les parcelles :

- Modalité C : Couvert végétal semé dans l'inter-rang tous les rangs avec le mélange Proterra Viti commercialisé par Barenbrug (50% féverole, 15% avoine byzantine, 10% avoine rude, 15% vesce commune, 5% trèfle d'Alexandrie et 5% radis fourrager) semé à 80 kg/ha en plein.
- Modalité CA : Couvert végétal (identique) + Amendement organique Vegethumus (Frayssinet)
- Modalité T : Témoin au sol travaillé
- Modalité TA : Témoin au sol travaillé + Amendement organique Vegethumus

Le dispositif expérimental est structuré en deux niveaux selon les modalités étudiées (figure 4). Les parcelles de niveau 3 comprennent les quatre modalités testées tandis que celles de niveau 2 se limitent aux modalités CA et TA. Chaque modalité a été mise en place sur trois inter-rangs. Quatre placettes ont été définies au début du projet et suivies chaque année. Une placette correspond à une zone comprenant 10 ceps, disposés en deux rangées de 5 ceps chacune, ainsi que la surface de l'inter-rang située entre elles.

2. Mesures

Caractérisation des sols

Dans chaque parcelle et chaque modalité, des échantillons de sol sur l'horizon 0-20 cm ont été prélevés à l'automne 2020 (lancement du projet) et à l'automne 2023 (fin du projet) pour déterminer la matière organique libre et liée, la biomasse microbienne ainsi que le taux de minéralisation du carbone organique. Un échantillon de sol a été prélevé dans chaque placette (4 répétitions par modalité) et analysé au laboratoire Celesta Lab (34130 Mauguio, France).

Performances de la vigne

Statut azoté

Le statut azoté de la vigne a été déterminé via l'estimation de la teneur en chlorophylle des feuilles, mesurée à l'aide du Dualox (Metos) et du SPAD (Minolta), à floraison et véraison de la vigne. Les mesures ont été réalisées dans la zone 8 à 10 feuilles après l'apex (zone située entre les 2 fils), à raison de 4 feuilles sur chacun des 10 ceps de chaque placette, soit 160 mesures par modalité. Pour le SPAD, chaque mesure sur une feuille

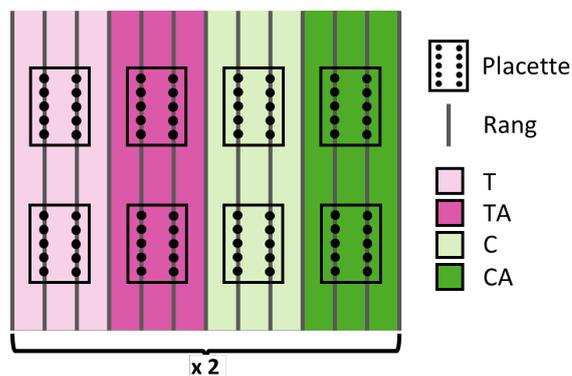


Figure 4 – Schéma du dispositif expérimental (Lebreton 2023). T : travail du sol ; TA : travail du sol + amendement ; C : couvert végétal ; CA : couvert végétal + amendement

correspond à la moyenne de 5 mesures (i.e. 5 pincements de l'appareil sur la feuille) moyennées par l'appareil. Les mesures de chlorophylle ont été réalisées sur les parcelles de niveau 3 uniquement (Chapitre, Leucate, Palaja).

Composantes du rendement et vigueur

À la vendange, la masse de grappes par cep et le nombre de grappes par cep ont été mesurés sur chacun des 10 ceps de chaque placette. Également, après chute des feuilles, la masse de bois de taille a été mesurée sur chacun des 10 ceps de chaque placette, sur l'ensemble des parcelles.

3. Analyse des données

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R. Pour les variables de caractérisation des sols et performances de la vigne, l'effet de la modalité et de l'année ont été testés à l'aide de modèles mixtes (package lme4, fonction lmer), intégrant le facteur parcelle comme effet aléatoire, suivis d'analyses de variance (ANOVA). Les semis ayant systématiquement échoué sur la parcelle de Castelnaud, cette parcelle a été exclue du jeu de données pour l'analyse. Les différences significatives entre années et/ou modalités ont ensuite été déterminées à l'aide de tests post-hocs (package emmeans, fonction lsmeans).

Également, pour les variables mesurées sur le sol, les écarts ont été calculés entre les mesures réalisées en fin de projet et le t=0 selon la formule suivante :

$$\Delta \text{VARIABLE} = \text{valeur}_{2023} - \text{valeur}_{2020}$$

Pour les trois parcelles de niveau 3 ayant mis en place les 4 modalités, l'effet de la modalité, de la parcelle, ainsi que de l'interaction entre modalité et parcelle a été testé pour chaque delta de caractéristique du sol calculé à l'aide de modèles linéaires et ANOVAs. Les différences entre modalités ont été testées à l'aide de tests post-hoc HSD de Tukey (package agricolae, fonction HSD.test).

RÉSULTATS

1. Évolution des caractéristiques des sols sur les trois années de suivi sur l'ensemble des parcelles du réseau

Sur l'ensemble des parcelles du réseau, l'écart de MO totale initiale observé entre TA et CA est conservé après 3 années de modalités (tableau 1). Toutes les modalités ont un taux de MO augmenté de 0,3% environ après 3 ans d'expérimentation, cette évolution est principalement expliquée par la MO liée. La MO libre de toutes les modalités augmente significativement entre 2020 et 2023, d'environ 0,15% pour toutes les modalités. Le N total de toutes les modalités augmente significativement entre 2020 et 2023. En 2020, les biomasses microbiennes ne sont pas significativement différentes entre modalités. En 2023, la biomasse microbienne de CA a significativement augmenté par rapport à 2020. Par contre, ce n'est pas le cas pour T, TA et C. En 2020, les taux de minéralisation ne sont pas significativement différents entre modalités. En 2023, le taux de minéralisation de CA a significativement augmenté par rapport à 2020. Par contre, ce n'est pas le cas pour C (même si augmentation de 277 à 356), T et TA.

2. Evolution des caractéristiques des sols sur les trois années de suivi : effet parcelle, modalité et interaction sur les deltas pour les parcelles testant les 4 modalités C, CA, T, TA

En trois ans, l'évolution de la matière organique (MO) libre du sol varie selon les parcelles, les modalités et leur interaction (de - 0,05% de MO à + 0,5% de MO, Figure 5). Les modalités CA du Chapitre et de Leucate présentent la plus forte augmentation de MO libre (+0,5%). Également, l'évolution de la matière organique (MO) liée varie selon les parcelles, indépendamment de la modalité appliquée, entre +0,15% et +0,5% (Figure 5). La MO liée a significativement plus augmenté à Leucate par rapport aux autres parcelles. Au bilan, c'est l'augmentation de la MO liée qui explique majoritairement l'augmentation de la MO totale du sol.

Tableau 1 - Résultats des analyses statistiques par modèle mixte (caractéristique du sol = f (effets fixes modalité et année, avec interaction, effet parcelle en aléatoire). X indique un effet significatif à p < 0,05 ; ns: non significatif. T : sol travaillé ; TA : sol travaillé + amendement ; C : couvert végétal ; CA : couvert végétal + amendement

Variable	MO libre (%MO)	MO liée (% MO)	Biomasse microbienne (mg/kg sol)	Minéralisation (mg CO ₂ /kg sol)
Homogénéité en 2020	TA (0.280) < CA (0.374)	TA (0.956) < CA (1.062)	Homogène en 2020	Homogène en 2020
En 2023	TA (0.436) < CA (0.530)	TA (1.131) < CA (1.238)	TA 2023 (152) = T 2023 (152) < C 2023 (209) = CA 2023 (215)	T 2023 (193) = TA 2023 < CA 2023 = C 2023 (356)
Modalité	X	X	X	X
Année	X	X	X	X
Modalité-Année	ns	ns	X	X

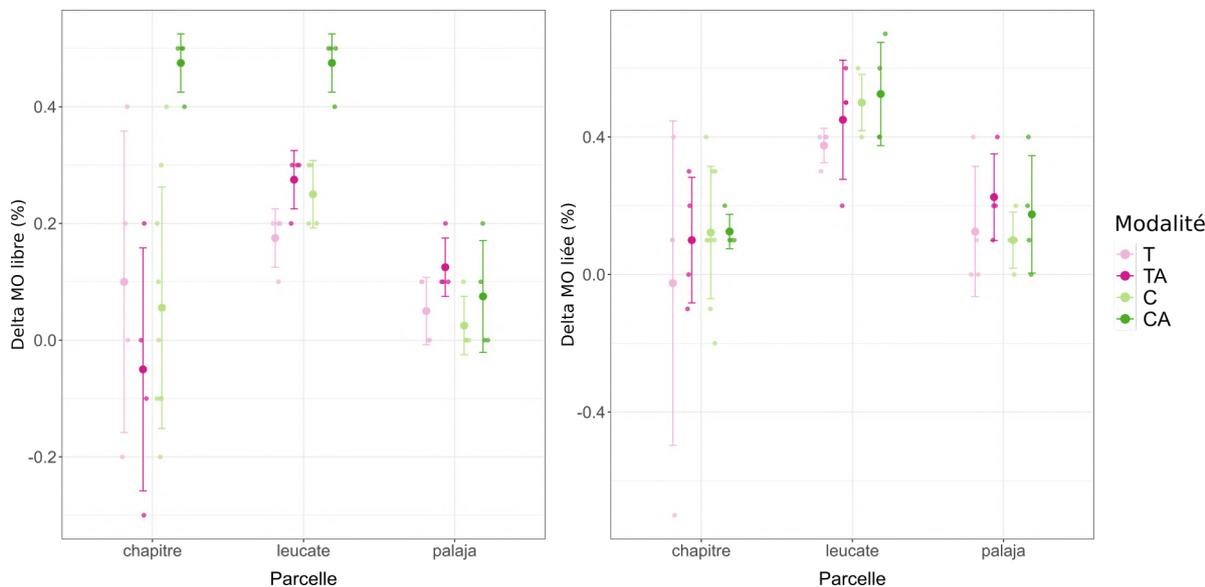


Figure 5 - Delta MO libre et delta MO liée entre 2020 et 2023 en % de MO par masse de sol. Une valeur positive correspond à une accumulation de MO libre ou liée. Effets modalité, parcelle et interaction significatifs pour MO libre. Effet parcelle significatif seul pour MO liée. T : sol travaillé ; TA : sol travaillé + amendement ; C : couvert végétal ; CA : couvert végétal + amendement

Les variations de biomasse microbienne sont comprises entre -100 mg/kg et +75 mg/kg. En tendance, les modalités CA entraînent une augmentation de la biomasse microbienne (sauf pour Palaja, Figure 6). A contrario, les modalités T et TA induisent une diminution de la biomasse microbienne (sauf pour Leucate, où la variation est nulle entre 2020 et 2023). La variation de taux de minéralisation varie entre -200 et +150 mgCO₂/kg (Figure 6). Les modalités C et CA présentent un taux de minéralisation significativement supérieur à celui des modalités T et TA, indépendamment de la parcelle. Autrement dit, la pratique des couverts végétaux avec ou sans amendement favorise l'activité microbienne, quelle que soit la parcelle.

3. Performances de la vigne

Statut azoté

Les mesures de teneur en chlorophylle réalisées à floraison et à véraison (Figure 7) montrent une influence significative des modalités, des années, et de leur interaction dans les deux périodes. À floraison, en 2021, les différences entre modalités sont nettes, avec des teneurs plus élevées pour les modalités T (23,8) et TA (24,4), tandis que CA (22,8) et C (23,2) affichent des valeurs inférieures. Ces écarts s'atténuent dès 2022 (différences non significatives) et disparaissent en 2023, où les valeurs deviennent plus homogènes entre modalités. À véraison, la dynamique est similaire : des écarts significatifs entre modalités sont observés en 2021, avec

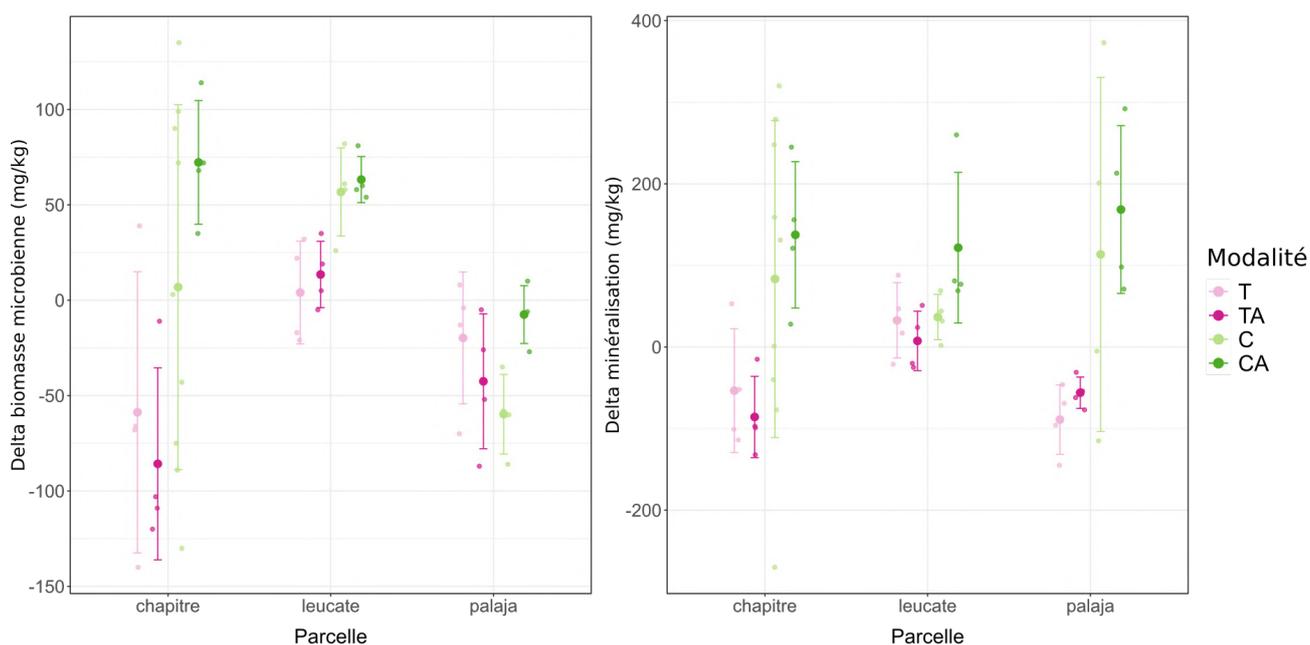


Figure 6 - Delta Biomasse microbienne en mg par kg de sol et Delta Minéralisation en mg CO₂/kg de sol entre 2020 et 2023 . Une valeur positive correspond à une augmentation de la biomasse microbienne. Effets modalité et parcelle significatifs pour Biomasse microbienne. Effet modalité significatif seul pour Minéralisation. T : sol travaillé ; TA : sol travaillé + amendement ; C : couvert végétal ; CA : couvert végétal + amendement

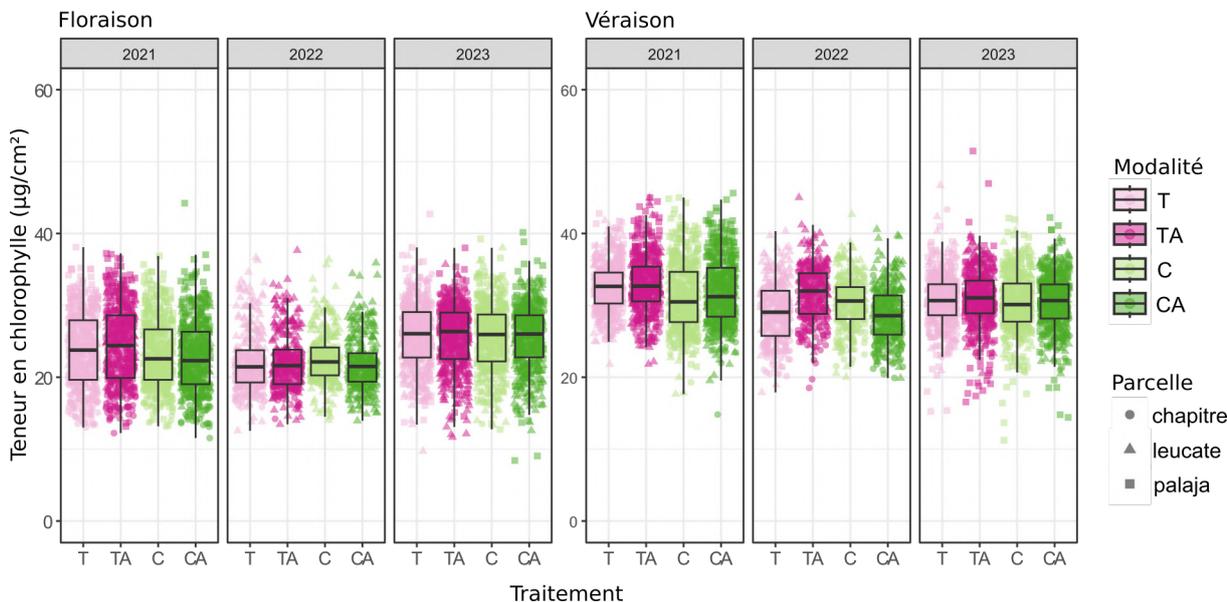


Figure 7 – Teneur en chlorophylle ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) mesurée à floraison et véraison dans les trois parcelles de niveau 3. T : sol travaillé ; TA : sol travaillé + amendement ; C : couvert végétal ; CA : couvert végétal + amendement

TA présentant les valeurs les plus élevées (C (31,2) < CA (31,9) < T (32,6) = TA (33)). En 2022, les différences persistent mais deviennent moins marquées (CA (29,5) = T (29,9) < C (31,2) < TA (32,5)), et en 2023, les teneurs en chlorophylle deviennent homogènes (Figure 7).

Rendement et vigueur de la vigne

Pour le nombre de grappes par cep, les résultats révèlent un effet significatif de l'année, mais pas de la modalité (Figure 8). En moyenne sur l'ensemble des parcelles, ce nombre augmente au fil des années, passant de 13,3 grappes en 2021 à 14,6 en 2022, et à 16,8 en 2023. En ce qui concerne la masse de 200 baies, des effets significatifs de l'année et de l'interaction année-modalité ont été observés (Figure 8). En 2021, les modalités TA (367 g) et T (366 g) montrent des valeurs légèrement supérieures à CA (332 g) et C (317 g). Cependant, en

2022, la masse de 200 baies est homogène entre toutes les modalités, avec des moyennes allant de 338 g à 355 g. En 2023, les valeurs diminuent dans l'ensemble, avec une masse similaire entre les modalités, variant de 255 g (C) à 273 g (CA).

Les résultats montrent une forte influence de l'année sur les rendements de la vigne, alors que l'effet des modalités n'est pas significatif (Figure 9). Les rendements moyens varient de manière significative entre les années, ils sont les plus faibles en 2021 (2,14 t/ha), les plus élevés en 2022 (3,69 t/ha), et intermédiaires en 2023 (2,41 t/ha).

Concernant la masse des bois de taille, l'analyse révèle des effets significatifs de la modalité, de l'année, et de leur interaction (Figure 9). En 2020 (avant l'expérimentation), aucune différence significative n'est observée entre les modalités T, TA, et C, dont les masses de bois

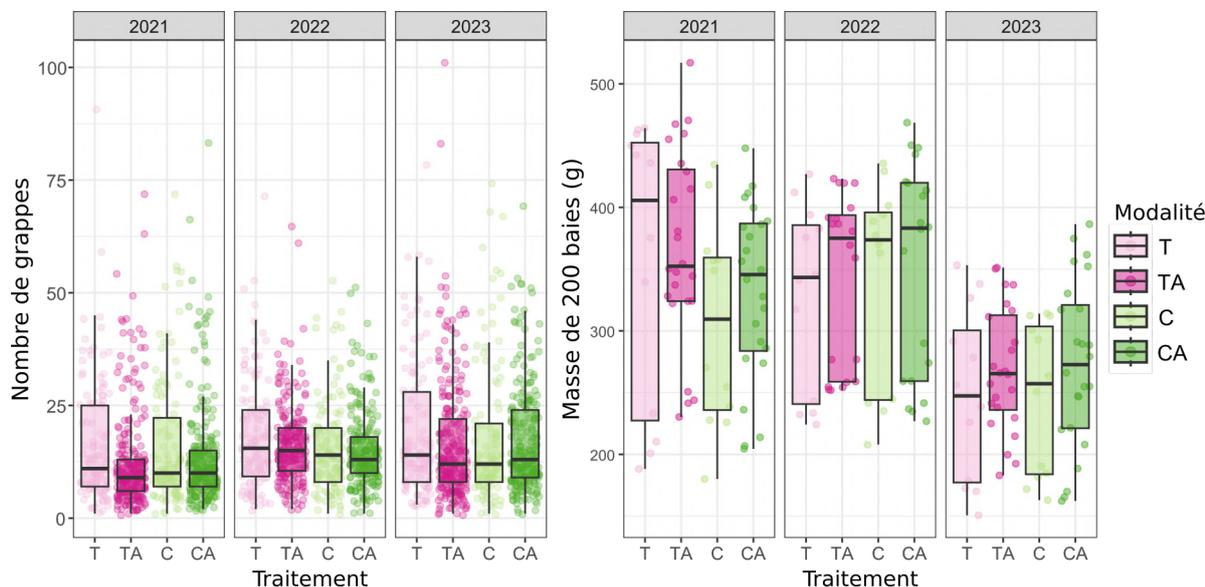


Figure 8 – Nombre de grappes et masse de 200 baies mesurés à la vendange dans l'ensemble des parcelles en 2021, 2022 et 2023. T : sol travaillé ; TA : sol travaillé + amendement ; C : couvert végétal ; CA : couvert végétal + amendement

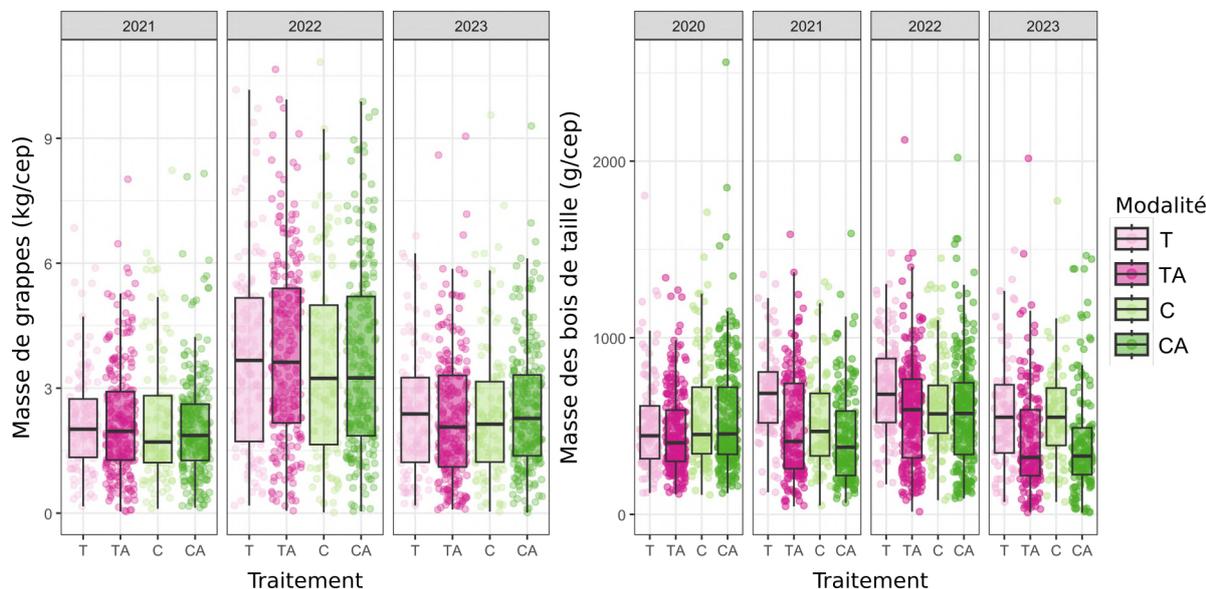


Figure 9 – Masse de grappes par cep et de bois de taille mesurés dans l'ensemble des parcelles. T : sol travaillé ; TA : sol travaillé + amendement ; C : couvert végétal ; CA : couvert végétal + amendement

varient de 432 g à 476 g par cep. Cependant, la modalité CA affiche une masse significativement plus élevée (556 g), marquant une légère disparité initiale. En 2021, CA (484 g), T (541 g), et TA (543 g) présentent des masses significativement supérieures à C (385 g). En 2022, les masses augmentent globalement (Figure 9). La modalité T (633 g) se distingue significativement par une masse plus élevée que C (547 g). Les modalités CA (579 g) et TA (588 g) se situent dans une position intermédiaire. En 2023, les différences entre modalités disparaissent et varient de 423 g (C) à 473 g (TA).

DISCUSSION

Les caractéristiques organiques de l'horizon de surface des sols de ce réseau de parcelles viticoles ont évolué notablement en seulement trois ans de pratiques d'entretien des sols. Ainsi, la teneur en MO du sol particulièrement la fraction organique liée, plus stable, a augmenté de plusieurs dixièmes de pourcent, même en l'absence d'amendement et de couvert. Pour expliquer en partie ce résultat inattendu, nous pouvons faire l'hypothèse que cette augmentation généralisée est liée notamment à la restitution de bois de taille (pour environ 1 à 1,5 t MO), pratique mise en œuvre sur toutes les parcelles du réseau et mise en avant pour l'entretien organique des sols (Yilmaz et al., 2019). En ajoutant des amendements et, plus particulièrement, en semant des couverts hivernaux temporaires, les taux de matière organique, qu'elle soit libre ou liée, ont significativement augmenté (près de 0,5 %). Cette valeur particulièrement élevée peut s'expliquer dans certaines parcelles par l'importance de la fraction grossière (Salomé et al., 2016) qui a pour conséquence la concentration des matières organiques dans une moindre quantité de sol pour un même volume (cas de Leucate avec un taux de cailloux dépassant 30 %) et des difficultés de prélèvement du sol sur l'horizon 0-20 cm qui concentre le

prélèvement sur 0-15 cm surestimant ainsi la teneur en MO par rapport à un prélèvement sur 0-20 cm. Enfin, l'activité biologique des sols (Biomasse microbienne et Minéralisation) est significativement augmentée par la pratique des couverts végétaux en cohérence avec des travaux récents sur le sujet (Novara et al., 2020) en région méditerranéenne. Ce résultat peut s'expliquer par l'action biotique des racines du couvert qui stimule la biomasse microbienne du sol via la production d'exsudats (Panchal et al., 2022).

Les différences de teneur en chlorophylle mesurées à floraison et à véraison (Figure 7), où les témoins montrent des valeurs supérieures aux modalités avec couvert végétal, peuvent être attribuées à la concurrence exercée par les couverts pour l'eau et l'azote du sol (Celette and Gary, 2013; Griesser et al., 2022). Ces écarts sont particulièrement marqués en 2021, première année d'expérimentation, qui a également été caractérisée par une sécheresse relative à l'échelle du réseau. En 2022 et 2023, les différences entre modalités diminuent progressivement (Figure 7). Cependant, à véraison en 2022, des différences significatives persistent, avec une teneur plus élevée pour le témoin amendé par rapport aux autres modalités. Cette évolution peut être expliquée par une concurrence hydrique réduite en 2022 en raison des précipitations, ainsi que par une meilleure minéralisation de l'azote issue de la dégradation des couverts végétaux détruits et enfouis autour du débournement de la vigne (Garcia et al., 2024; Pisciotta et al., 2021).

La masse de 200 baies suit une dynamique similaire, avec une réduction observée pour les modalités C et CA uniquement lors de la première année d'expérimentation (Figure 8). Cette diminution peut être attribuée à la combinaison d'un climat sec et d'un système racinaire de la vigne adapté à une gestion non enherbée

avant l'expérimentation, la rendant plus vulnérable à la concurrence hydrique (Celette, 2007; Celette et al., 2008), particulièrement durant la phase de remplissage des baies. En revanche, ni le nombre de grappes ni la masse de grappes par cep ne sont affectés par les modalités, mais uniquement par le millésime, ce qui met en évidence la viabilité d'une stratégie de semis de couverts végétaux détruits au débourement en région méditerranéenne. La destruction précoce des couverts réduit la concurrence avec la vigne, tandis que l'enfouissement des résidus végétaux stimule la minéralisation de l'azote, permettant ainsi de limiter, voire d'éviter, les pertes de rendement (Garcia et al., 2024). Toutefois, la période de 3 ans est courte pour conclure à l'absence d'effet sur le rendement viticole en raison de l'effet tampon du sol et des réserves azotées de la vigne les effets sur le rendement (Verdenal et al., 2021 ; Vrignon et al., 2021). Notons enfin que la réussite des couverts autrement dit la production de biomasse par les couverts, est principalement expliquée aux conditions climatiques favorables (notamment la précipitation post semis (Lebreton et al., 2024)) et à la fertilité du sol entretenue notamment par des amendements.

CONCLUSION

En seulement trois années de mise en œuvre, les pratiques d'entretien des sols, incluant les couverts végétaux et les amendements organiques, ont démontré leur potentiel à améliorer la qualité organique et biologique des sols viticoles en région méditerranéenne. Les couverts hivernaux temporaires ont notamment permis d'augmenter la matière organique mais aussi l'activité biologique des sols, favorisée par les interactions biotiques entre racines et micro-organismes. L'impact des couverts végétaux sur la nutrition de la vigne, bien que perceptible à travers des écarts de teneur en chlorophylle la première année, reste limité et diminue avec le temps, suggérant une adaptation progressive du système sol-vigne. De plus, la stratégie de semis de couverts détruits au débourement n'entraîne pas de perte de rendement, les composantes clés comme le nombre et la masse des grappes restant stables. Ces premiers résultats confirment la faisabilité et l'intérêt d'une stratégie de gestion des sols basée sur des amendements et des couverts végétaux temporaires détruits précocement pour l'amélioration de la qualité des sols viticoles.

Bibliographie

Abad, J., Hermoso de Mendoza, I., Marín, D., Orcaray, L., Santesteban, L.G., 2021. Cover crops in viticulture. A systematic review (1): Implications on soil characteristics and biodiversity in vineyard. *OENO One* 55, 295–312. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.1.3599>

Calvaruso, C., Blanchart, A., Bertin, S., Grand, C., Pierart, A., Eglin, T., 2021. Quels paramètres du sol mesurer pour évaluer les fonctions et les services écosystémiques associés ? *Revue de la littérature et sé-*

lection de paramètres en ateliers participatifs. *Etude Gest. Sols* 3–29.

Celette, F., 2007. Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen (Thèse de doctorat). Montpellier Supagro, Montpellier, France.

Celette, F., Findeling, A., Gary, C., 2009. Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. *Eur. J. Agron.* 30, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.07.003>

Celette, F., Gary, C., 2013. Dynamics of water and nitrogen stress along the grapevine cycle as affected by cover cropping. *Eur. J. Agron.* 45, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.001>

Celette, F., Gaudin, R., Gary, C., 2008. Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *Eur. J. Agron.* 29, 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.04.007>

Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., Metay, A., 2018. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 251, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.030>

Garcia, L., Krafft, G., Enard, C., Bouisson, Y., Metay, A., 2024. Adapting service crop termination strategy in viticulture to increase soil ecosystem functions and limit competition with grapevine. *Eur. J. Agron.* 156, 127161. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127161>

Griesser, M., Steiner, M., Pingel, M., Uzman, D., Preda, C., Giffard, B., Tolle, P., Memedemin, D., Forneck, A., Reineke, A., Leyer, I., Bacher, S., 2022. General trends of different inter-row vegetation management affecting vine vigor and grape quality across European vineyards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 338, 108073. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108073>

Lebreton, J. 2023. Effets des couverts végétaux hivernaux et des amendements organiques sur le système sol-vigne en viticulture méditerranéenne. Mémoire de fin d'études, Ingénieur.e Agronome Formation Initiale. ESA Angers (80 pages).

Lebreton, J., Metay, A., Garcia, L., Caboulet, D., Bolandard, P., Roy, A., Demarle, O., Malaterre, J., & Castan, R. (2024). Viticulture et agroécologie-Variabilité de développement des couverts végétaux selon les conditions climatiques et les itinéraires techniques dans un réseau de parcelles de viticulteurs en Languedoc-Roussillon. *La revue des œnologues et des techniques vitivinicoles et œnologiques*, 191, 19-21.

Novara, A., Catania, V., Tolone, M., Gristina, L., Laudicina, V.A., Quatrini, P., 2020. Cover Crop Impact on Soil Organic Carbon, Nitrogen Dynamics and Microbial Diversity in a Mediterranean Semiarid Vineyard. *Sustainability* 12, 3256. <https://doi.org/10.3390/su12083256>

Ollat, N., Touzard, J.-M., 2020. La vigne, le vin, et le changement climatique en France - Projet LACCAVE - Horizon 2050. <https://doi.org/10.15454/JT3Y-1A55>

Panchal, P., Preece, C., Peñuelas, J., Giri, J., 2022. Soil carbon sequestration by root exudates. *Trends Plant Sci.* 27, 749–757. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.04.009>

Pisciotta, A., Di Lorenzo, R., Novara, A., Laudicina, V.A., Barone, E., Santoro, A., Gristina, L., Barbagallo, M.G., 2021. Cover Crop and Pruning Residue Management to Reduce Nitrogen Mineral Fertilization in Mediterranean Vineyards. *Agronomy* 11, 164. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010164>

Prosdoci, M., Cerdà, A., Tarolli, P., 2016. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *CATENA* 141, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.010>

Prost, C., Beaufigli, F., 2022. Graph'Agri 2022. Agreste - Ministère de la Transition Écologique et Solidaire.

Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Eldridge, D.J., Marques, M.J., 2013. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon

in a vineyard in the central Spain. CATENA 104, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.11.007>

Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Marques, M.J., 2011. Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards. *Soil Tillage Res.* 117, 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.004>

Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C., Blanchart, E., Hinsinger, P., Le Cadre, E., 2016. The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecol. Indic.* 61, 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.047>

van Leeuwen, C., Darriet, P., 2016. Le changement climatique en viticulture : les leviers d'adaptation au vignoble, in: *Les 3èmes Assises Des Vins Du Sud-Ouest*. Presented at the *Maîtriser le profil des vins dans un contexte de changement climatique*, Assises des Vins du Sud-ouest, Toulouse, France.

Verdenal, T., Dienes-Nagy, Á., Spangenberg, J. E., Zufferey, V., Spring, J. L., Viret, O., ... & Van Leeuwen, C. (2021). Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine: A review. *Oeno one*, 55(1), 1-43.

Vrignon-Brenas, S., Metay, A., Leporatti R., Gharibi S., Fraga A., Dauzat M., Roland G., A., P., 2019. Gradual responses of grapevine yield components and carbon status to nitrogen supply. *OENO One* 763 53.

This preprint research paper has not been peer reviewed. Electronic copy available at: <https://ssrn.com/abstract=4859738>

PreprintYılmaz, E., Çanakçı, M., Topakçı, M., Sönmez, S., Ağsaran, B., Alagöz, Z., Çıtak, S., Uras, D.S., 2019. Effect of vineyard pruning residue application on soil aggregate formation, aggregate stability and carbon content in different aggregate sizes. CATENA 183, 104219. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104219>

LA DYNAMIQUE DE MISE À DISPOSITION DE L'AZOTE DANS LE SOL

Olivier Demarle, Frayssinet

o.demarle@frayssinet.fr



Le cycle de l'azote est fortement lié au cycle du carbone. L'azote organique est transformé par des processus microbiens (minéralisation, nitrification, et dénitrification) sous formes assimilables, nitrate (NO_3) et ammonium (NH_4), que la vigne utilise pour sa croissance. La nutrition azotée de la vigne ainsi que ses besoins, en fonction des stades développement et des objectifs de productions, sont largement référencés.

Dans le cadre du projet NV2, les partenaires ont mis en place un dispositif de 8 parcelles dans 3 zones climatiques distinctes (Aude, Gers et Tarn). Elles ont toutes été sélectionnées à travers un cahier des charges spécifique contenant notamment un potentiel de production élevé et une absence de stress hydrique (secteur climatique ou irrigation). Parmi elles, 4 parcelles supportent un dispositif en bloc regroupant 4 stratégies de fertilisation : (TEM) le témoin sans apport, (MIN) apport annuel au sol de 40 unités d'azote sous forme ammoniacale (engrais minéral 8-6-10 500 kg/ha), (FO) apport annuel au sol de 40 unités d'azote sous forme organique (Engrais Frayssinet 4-3-5 1 t/ha) et enfin (FOF) un apport annuel au sol de 40 unités d'azote organique avec ajout de 4.6 unités apportées par voie foliaire (engrais foliaire Frayssinet 90 g/l d'azote 40 l/ha). Les parcelles Val (Aude), Cau (Gers) et LIS (Tarn) sont des Sauvignons. La dernière BUS (Aude) est un merlot.

Une analyse de sol, comprenant une caractérisation du statut organique (fractionnement de la matière organique, biomasse microbienne et potentiel de minéralisation carbone/azote), de la texture et des paramètres chimiques a été réalisée. Les prélèvements ont eu lieu en mars avant les premiers apports et au mois de mars suivant le 4^e apport (soit 4 ans après). Lors de la 4^e année d'apport, un suivi des reliquats azotés est réalisé d'avril à septembre avec une fréquence de prélèvement tous les 15 jours de fin avril à début juillet puis mensuellement. Cette même année, la dynamique de l'azote dans la plante est effectuée par un suivi de l'azote dans les différents organes de la vigne (cep, feuille, sarment et grappe), et un suivi de l'état chlorophyllien (Dualex). La teneur en azote dans les moûts est dosée tous les ans. Le suivi rendement est fait lors des deux dernières années.

L'analyse des résultats présentés lors de cette journée met en avant que les principaux facteurs différenciants sont dans l'ordre d'importance : la parcelle, le millésime et la stratégie de fertilisation.

Au niveau du sol, la vie des sols est le seul paramètre qui a évolué sur la période. Les modalités fertilisées ont vu une augmentation de la biomasse microbienne ainsi que de son activité. La modalité fertilisation organique a eu un effet plus important sur la taille du compartiment vivant en moyenne +8 % par rapport à la modalité fertilisation minérale. La part de carbone (base de compost) apportée dans le cadre de la fertilisation organique semble avoir permis un effet de levier sur la vie des sols.

Le suivi des reliquats azotés a montré pour toutes les parcelles que la fertilisation minérale entraîne une saturation en azote minéral en début cycle (en moyenne 2.7 fois plus que dans la partie témoin contre 1.3 dans la partie organique). Le suivi des reliquats azotés donne une photo à un instant de la différence entre ce qui est disponible et ce qui est pris par la plante. Dans notre dispositif, pour la fertilisation minérale, il y a clairement inadéquation entre prélèvement et mise à disposition. Ces excès peuvent entraîner des pertes par lessivage en cas de pluie ou par volatilisation (N_2O ou NH_3).

La teneur en azote dans les moûts est le premier indicateur qui est impacté par la stratégie de fertilisation. L'impasse en fertilisant se ressent dès la première année avec une teneur en azote dans les moûts qui décroche. Dans les autres modalités fertilisées, elle a augmenté année après année. Pour les autres organes, la teneur en azote des feuilles et des sarments est supérieure dans les vignes fertilisées, quelle que soit la nature de l'apport (entre +7 et +10 % pour les feuilles et +4 et +6 % pour les sarments par rapport à la modalité témoin). Les modes de fertilisation (organique ou minérale) conduisent à des résultats agronomiques statistiquement identiques. Le rendement des modalités fertilisées est augmenté 18 à 20 % par rapport au témoin sans apport l'année du 4^e apport.

En conclusion, le potentiel de production dépend avant tout de la parcelle. La fertilisation reste un levier majeur de la productivité des vignes suivies. La fertilisation organique avec des résultats agronomiques équivalents semble limiter les risques d'impact environnemental et agit positivement sur la vie des sols.

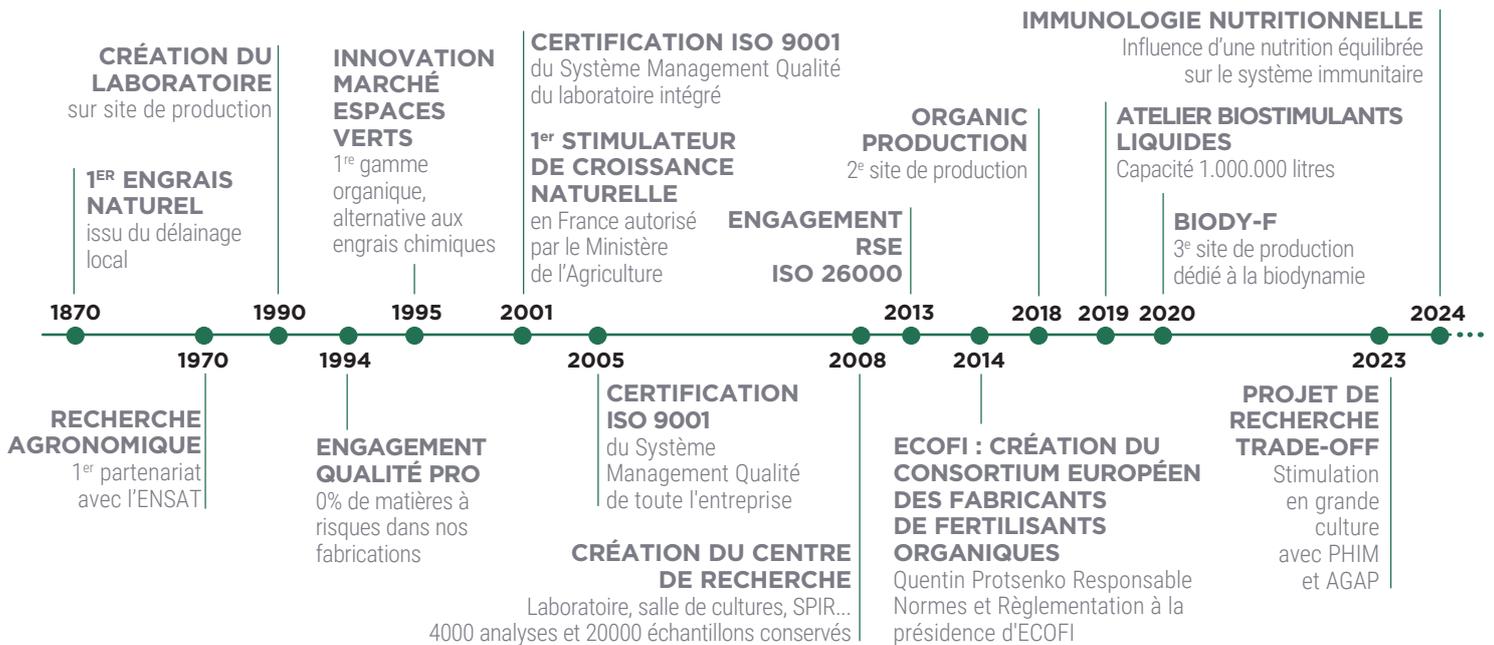


FRAYSSINET

**UNE HISTOIRE
 DEPUIS 150 ANS**

En 1870, Mazamet est en passe de devenir le centre mondial du délainage. C'est alors qu'Auguste Phalippou a l'idée de récupérer les poussières de laine et marcs de colle issus de cette activité pour mettre au point son premier engrais naturel.

Frayssinet est N°1 français de la fertilisation organique élaborée des sols et de la stimulation naturelle des plantes. Au moment où l'agriculture française est confrontée à une véritable révolution culturelle, poussée d'un côté par la concurrence internationale et de l'autre par l'exigence sociale et environnementale, l'entreprise Frayssinet considère plus que jamais son métier avec responsabilité.



ENGAGÉ RSE depuis 2015, FRAYSSINET vient de renouveler pour la 4^{ème} fois consécutive et en progression son évaluation au niveau Exemplaire par AFNOR Certification.

NOTRE MISSION

Nourrir et stimuler naturellement les sols et les plantes

Nos fabrications ont pour objectif d'améliorer la nutrition du sol et des plantes. Comme pour l'homme, le niveau et la qualité de la nutrition sont les fondements de la santé du végétal. Nos produits s'inscrivent dans le développement d'une agriculture performante, durable et plus respectueuse de notre environnement.

- ▶ Fertilisants organiques élaborés (amendements organiques, engrais organiques et engrais organo-minéraux).
- ▶ Biostimulants et compléments nutritionnels liquides.



100%

DE NOS PRODUITS
CONFORMES
ANALYTIQUEMENT

96%

DE NOS MATIÈRES 1^{ÈRES}
SOLIDES UTILISABLES
EN AGRICULTURE
BIOLOGIQUE

0%

DE MATIÈRES
RÉSIDUAIRES URBAINES
DANS NOS FABRICATIONS

PRODUITS VITICULTURE



FRAYSSINET propose une large gamme de produits solides et liquides qui apporte des solutions innovantes nécessaires aux attentes de la vigne.

VÉGÉTHUMUS

OZIX VITI

AGOR 7-2-10

FRAY7

SYMFOLIA FE+MN



ANALYSE DE L'AZOTE : ÉTAT DES LIEUX ET PILOTAGE DU SOL AU MOÛT

Guillaume Desperrières, Laboratoires Dubernet Oenologie

guillaume.desperrieres@srdv.fr



La présentation porte sur l'analyse et la gestion de l'azote en viticulture, depuis le sol jusqu'au moût. Elle explore les principes de l'agro-œnologie, développée par le groupe Laboratoires Dubernet, qui combinent microbiologie, physico-chimie des sols, analyses des végétaux et pratiques agronomiques, tout en s'appuyant sur une définition claire des objectifs de production pour chaque parcelle afin d'en optimiser leur gestion.

Introduction

L'azote est un élément essentiel dans la production viticole. Son pilotage influence directement la santé des sols, la vigueur des vignes, la fermentescibilité des moûts et leur potentiel aromatique. La présentation vise à mettre en lumière les outils et stratégies permettant une gestion précise de cet élément à chaque étape du processus de production.

L'azote dans les sols

Dans les sols, l'analyse de l'azote s'appuie sur des technologies comme le proche infrarouge (NIR) et l'analyse élémentaire Dumas, qui mesurent l'azote total ainsi que ses fractions libres et liées. Si l'azote total est peu pertinent seul, le ratio carbone/azote (C/N), qu'il soit total ou libre, constitue un indicateur clé. Un pilotage du C/N libre permet notamment d'éviter des déséquilibres tels qu'un engorgement de la matière organique libre ou une faim d'azote.

L'équilibre entre minéralisation et humification est essentiel pour maintenir la fertilité des sols. La cartographie NDVI offre un outil précieux pour extrapoler les analyses à l'échelle de la parcelle, tandis que la mesure de l'azote potentiellement minéralisable (APM) apporte des informations complémentaires pour ajuster les apports azotés.

L'azote dans les végétaux

Dans les vignes, le suivi de l'azote est réalisé via des analyses des pétioles et des sarments. Ces mesures dynamiques permettent de suivre les assimilations tout au long du cycle, en adaptant les pratiques aux conditions spécifiques de chaque millésime. La variabilité interannuelle de l'azote, liée au climat (pluviométrie, températures), est une richesse, car elle rend possible un pilotage précis, adapté à chaque millésime, plutôt qu'une gestion basée sur des schémas prédéfinis.

Les apports foliaires présentent un intérêt tout au long du cycle, lorsque les besoins sont identifiés. Ils complètent efficacement les stratégies établies sur les apports au sol, offrant une flexibilité supplémentaire pour répondre aux exigences du vignoble.

L'azote dans les moûts

Dans les moûts, l'azote est analysé à l'aide d'instruments tels que l'infrarouge à transformée de Fourier et les analyseurs séquentiels, qui réalisent les dosages colorimétriques et enzymatiques. Ces outils permettent de mesurer la fraction minérale (NH₄⁺), la fraction organique (alpha aminés ou NOPA) et leur somme, constituant l'azote assimilable total.

L'azote joue un rôle clé dans la fermentescibilité des moûts, car il assure la nutrition des levures et favorise une fermentation optimale. Il influence également les caractéristiques aromatiques des vins. Par exemple, des niveaux ajustés d'azote peuvent avoir un impact sur les profils thiolés des Sauvignons, mais cet effet s'étend à d'autres cépages et arômes.

Les niveaux d'azote assimilable mesurés lors des vendanges offrent également un retour précieux. Ils permettent d'ajuster la stratégie agronomique pour l'hiver suivant, tout en orientant les pratiques pour le millésime à venir.

Conclusion

Ces éléments mettent en évidence l'importance d'un pilotage précis et dynamique de l'azote dans la production viticole. Grâce à des analyses régulières et des outils modernes, il est possible d'adopter une approche sur mesure qui garantit la qualité des rendements, la durabilité des pratiques et la satisfaction des exigences œnologiques. Comme le rappelle Lord Kelvin, « on ne gère bien que ce que l'on mesure », un principe fondamental pour une gestion raisonnée et efficace de l'azote.

NOUVEAU CONCEPT FERTILISATION

FRAY7

LA FORCE PAR NATURE



avec

**CATALYSEUR
NUTRITIONNEL**

**INNOVATION : Optimise les leviers
CROISSANCE / DÉFENSE de la plante**

+14% de vigueur*
+20% de rendement*
- de stress*

*Moyenne de 30 résultats d'essais menés sur 3 ans comparant FRAY7 à des engrais de même équilibre.

RÉSULTATS D'ESSAIS



Témoins engrais 3.2.3



FRAY7

Pour tous renseignements contactez,
Aude : **Caroline Barthes 06 76 77 71 45**
Hérault : **Jean-Emile Witzikam 06 76 77 71 44**

 Fabriqué en France



FRAYSSINET

COMMENT RAISONNER LES APPORTS FOLIAIRES MINÉRAUX OU ORGANIQUES POUR FAVORISER L'AZOTE DANS LES MOUTS ?

Justine Malaterre, Frayssinet

j.malaterre@frayssinet.fr



Introduction

La fertilisation foliaire est couramment utilisée en viticulture pour répondre rapidement aux besoins nutritionnels des plantes. L'apport azoté par voie foliaire, particulièrement lors de stades physiologiques clés comme la véraison, améliore l'assimilation de l'azote et contribue à l'enrichissement des raisins, favorisant ainsi la qualité fermentescible des moûts. L'azote, essentiel pour les fermentations alcooliques, se trouve sous forme assimilable par les levures (Nass), représentant entre 25 et 40 % de l'azote total dans le moût (Verdenal, 2015). Plusieurs études ont montré que les apports foliaires, qu'ils soient minéraux ou organiques, favorisent l'enrichissement en Nass des moûts (Geoffroy et Dufourcq ; Verdenal ; Jreijj). Un manque de Nass limite les fermentations et peut entraîner des carences. Le seuil critique pour le Nass est généralement estimé à 140 mg N/l de moût, variant selon le type de vin : environ 180 mg N/l pour les vins blancs et 130 mg N/l pour les vins rouges (Delas, 2010). Le Nass se compose de deux formes azotées : l'ammonium (N_{NH4}), représentant environ 20 % de l'azote assimilable, et les acides aminés (N_{AA}), qui en constituent près de 80 % (Verdenal, 2021).

Cette synthèse vise à confronter les résultats des études antérieures sur les apports d'azote foliaire et leur impact sur le gain en Nass avec les données du projet NV2.

Les quantités et forme d'azote par voie foliaire

Des recherches ont montré que la dose d'azote appliquée influence directement l'augmentation de la teneur en Nass. Un apport de 10 kg N/ha, qu'il soit uréique ou organique, au stade de la véraison, entraîne une augmentation moyenne de +50 % du Nass (Geoffroy et Dufourcq). Un apport de 20 kg N/ha induit une élévation de +110 % par rapport aux témoins non traités (Dufourcq). Parmi les sources organiques testées, les protéines animales se sont révélées être les plus assimilables et efficaces pour augmenter le Nass.

La période d'apport

La compréhension des périodes d'assimilation de l'azote par la vigne et de sa distribution dans les différents organes végétaux constitue un facteur clé pour évaluer l'impact des apports azotés par voie foliaire. La répartition de l'azote dans la plante varie selon les

stades phénologiques et la demande nutritive des organes puits (Carbonneau, Deloire et al., 2015 ; Conradie, 1986). Durant la floraison, l'azote est majoritairement alloué aux organes en croissance tels que les feuilles et les pousses. À la véraison, l'azote est principalement dirigé vers les organes de réserve (troncs, racines et rameaux). À la véraison, les grappes exercent une forte pression nutritive, favorisant ainsi le transport de l'azote vers les baies (Verdenal et al., 2015). Il est crucial de mieux déterminer le moment optimal pour effectuer des apports azotés pendant cette période. En analysant la dynamique d'accumulation des sucres dans les baies, via le phloème, il est observé qu'entre la véraison et la maturation (environ 28 à 30 jours), l'accumulation de sucres est active. Toutefois, à partir du début de la maturation, l'activité du phloème ralentit puis s'arrête, limitant ainsi l'accumulation des métabolites (Deloire et al., 2024). Il est primordial de bien caractériser le début de la véraison (5 à 10 % de baies colorées ou 50 % des raisins ramollis) pour déclencher des apports foliaires et optimiser la réallocation des apports nutritionnels dans les baies.

Autres paramètres influençant l'efficacité

La vigueur et le statut carenciel de la parcelle sont déterminants. Selon Verdenal (2024), l'apport d'azote foliaire améliore la qualité des vins pour des vignes modérément carencées en azote, mais ne résout pas une carence sévère. Les conditions environnementales, telles que la température, l'humidité, la lumière et le vent, influencent l'efficacité de l'absorption foliaire des nutriments en affectant l'ouverture des stomates, la perméabilité de la cuticule et la mobilité des éléments nutritifs. Pour optimiser l'absorption, il est crucial d'effectuer les applications sous des conditions spécifiques : hygrométrie entre 60 et 95 %, température de 12 à 25 °C, et vent modéré (force 0 à 2 sur l'échelle de Beaufort).

NV2, dispositif

Le projet NV2 a intégré deux modalités pour comparer l'effet de la fertilisation foliaire azotée : un témoin avec une fertilisation au sol de 40 kg N/ha et une modalité traitée avec, en plus, l'ajout de fertilisation foliaire azotée organique animale (90 g N/l). L'expérimentation, réalisée en blocs randomisés, a été conduite sur quatre

parcelles dans deux régions viticoles (Sud-Ouest et Languedoc-Roussillon) et sur deux cépages : Merlot et Sauvignon.

En 2017, deux applications foliaires de 10 l/ha ont été testées à véraison (BBCH 81), soit une dose totale de 20 l/ha ou 1,8 kg N/ha. De 2018 à 2020, la modalité traitée a évolué avec deux applications à 5 l/ha et trois applications à 10 l/ha, à partir du stade de 5 feuilles étalées (BBCH 15), avec un traitement tous les 15 jours, soit une dose totale de 40 l/ha ou 3,6 kg N/ha.

NV2, résultats

En 2017, l'application de 1,8 kg N/ha au stade véraison n'a pas modifié le Nass par rapport au témoin. En 2018 et 2019, l'écart avec le témoin est de +5 % en moyenne, tandis qu'en 2020, l'augmentation atteint +39 % avec 3,6 kg N/ha à partir de BBCH 15. Cela met en évidence un effet millésime et de la période d'apport, les applications plus précoces et fractionnées ayant permis une meilleure réponse.

Il existe également un effet cépage sur le gain en Nass, qui est plus faible pour le Merlot que pour le Sauvignon. De plus, l'analyse des moûts montre que le ratio N_{NH4} / N_{AA} n'a pas été affecté par le gain en Nass sur les moûts.

Conclusion

La fertilisation foliaire en azote augmente la teneur en Nass des moûts en vigne. Son efficacité varie selon plusieurs facteurs, tels que le stade d'application, la forme d'azote, les conditions climatiques et le cépage.

Le projet NV2 met en évidence l'effet positif des apports azotés (forme organique, base animale) sur l'augmentation du Nass des moûts, avec une dose de 3,6 kg N/ha. Ce projet souligne également l'importance d'adapter la période de pulvérisation pour les formes organiques, les apports réalisés plus tôt en saison (à partir de BBCH 15) ayant permis des gains en Nass plus importants (2020).

Références

- Carbonneau, Alain, et al. *Traité de la vigne*. 2^{ème} édition, 2015.
- Conradie, W. J. « Utilisation of Nitrogen by the Grape-Vine as Affected by Time of Application and Soil Type ». *South African Journal of Enology & Viticulture*, vol. 7, no 2, 1986. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.21548/7-2-2331>.
- Delas, Jacques. *Fertilisation de la vigne : Contribution à une viticulture durable*. Féret, 2011.
- Deloire, A., et al. Proposition d'un protocole pour mesurer le chargement en sucres des baies et l'évolution de leur masse fraîche. septembre 2024.
- Dufourcq, et al. La fertilisation foliaire en azote de la vigne et ses conséquences sur la composition des moûts et des vins.
- Dufourcq Thierry, Pulvérisation d'azote foliaire et d'azote-soufre à la véraison : note technique complémentaire.
- Etchebarne, F., et al. Influence of Water Status on Mineral Composition of Berries in 'Grenache Noir'. 2009.
- Olivier Geffroy et Thierry Dufourcq. Evaluation de 3 préparations biologiques appliquées par voie foliaire sur vigne pour corriger le statut azoté des moûts.
- Jreij, Rana, et al. « Combined Effects of Soil-Applied and Foliar-Applied Nitrogen on the Nitrogen Composition and Distribution in Water Stressed "Vitis Vinifera L." Cv Sauvignon Blanc Grapes ». *OENO One*, vol. 43, no 4, décembre 2009, p. 179. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.4.790>.
- Verdenal, Thibaut, Vivian Zufferey, Fabrice Lorenzini, et al. Distribution de l'azote dans la vigne: impact de la période d'application de l'urée foliaire. 2015.
- Verdenal, Thibaut, Jean-Laurent Spring, Ágnes Dienes-Nagy, Gilles Bourdin, et al. « Impact d'une supplémentation en azote foliaire sur les vins de chardonnay et sauvignon blanc ». *Recherche Agronomique Suisse*, vol. 15, 2024. DOI.org (Datacite), <https://doi.org/10.34776/AFS15-69>.
- Verdenal, Thibaut, Vivian Zufferey, Jean-Sébastien Reynard, et al. « Nitrogen Nutrition Status of the Vine: Correlation between N-Tester and SPAD Chlorophyll Indices: This Is a Translation of an Article Originally Written in French. » *IVES Technical Reviews, Vine and Wine*, juin 2023. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2023.7649>.
- Verdenal, Thibaut, Ágnes Dienes-Nagy, Jorge E. Spangenberg, Vivian Zufferey, et al. « Understanding and Managing Nitrogen Nutrition in Grapevine: A Review ». *OENO One*, vol. 55, no 1, janvier 2021, p. 1 43. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.1.3866>.

L'AZOTE : UN NUTRIMENT À OPTIMISER !

Jean-Roch Mouret, UMR SPO : INRAE, Université Montpellier, Institut Agro Montpellier

jean-roch.mouret@inrae.fr



La fermentation alcoolique est une étape clé en œnologie. Son déroulement a un impact direct sur la qualité du vin. Au sein de la filière, l'ajout d'azote au cours de la fermentation est devenu une pratique courante car il permet de réduire le temps de fermentation. Cependant, la quantité, le timing d'ajout et la nature de l'azote ajouté ont également un impact sur la production des arômes fermentaires.

L'UMR SPO et l'UE de Pech Rouge ont développé depuis de nombreuses années des outils permettant de suivre en ligne la réaction principale de la fermentation (bioconversion du sucre en éthanol et CO₂) et plus récemment un équipement innovant de suivi en ligne des arômes fermentaires. Ces deux dispositifs nous permettent de déterminer avec précision (i) la vitesse instantanée de fermentation, (ii) la durée de la fermentation, (iii) l'énergie nécessaire pour le contrôle de la température et (iv) les cinétiques de synthèse des principaux alcools supérieurs et esters produits au cours de ce procédé.

L'objectif de notre étude est de présenter les effets d'un ajout de nutriments azotés sur la production des molécules d'arôme les plus abondantes, à savoir les alcools supérieurs et les esters.

Avant de détailler nos résultats, nous souhaitons insister sur le fait qu'un ajout d'azote n'est efficace que lorsque ce nutriment est bien l'élément limitant de la fermentation. Dans le cas contraire, un ajout d'azote n'a pas l'effet escompté et peut même avoir un effet très négatif sur la cinétique fermentaire. En particulier, dans le cas de mûts très fortement clarifiés (turbidité < 40 ou 60 NTU), l'élément limitant n'est pas la teneur en azote assimilable mais la teneur en phytostérols. Une carence en composés lipidiques va conduire à une hausse de la production d'acide acétique, une forte baisse de la viabilité cellulaire et un allongement très important de la durée de la fermentation, voire à un arrêt de la fermentation. Dans ce cas précis, les seuls moyens de restaurer la viabilité cellulaire sont un ajout initial de bourbes, un ajout d'O₂ en cours de fermentation ou la réhydratation des LSA avec un nutriment riche en lipides. L'ajout d'azote n'aura aucun effet positif sur le déroulement de la fermentation et ne fera, au contraire, qu'aggraver le déséquilibre nutritionnel entre l'azote et les lipides.

Dans un premier temps, nous avons étudié l'impact d'un ajout initial d'azote assimilable. D'un point de vue technologique, ce type d'ajout permet de réduire le temps de fermentation mais entraîne une hausse de la puissance énergétique instantanée nécessaire à la régulation de la température. Concernant les arômes fermentaires, les conséquences de ces ajouts initiaux varient en fonction des composés étudiés. Pour les alcools supérieurs, nous avons observé l'existence d'une concentration optimale en azote (200-250 mgN/L), à l'exception du propanol. À l'inverse, les concentrations en esters d'acétate et d'éthyle augmentent avec le contenu initial en azote. Il est important de noter que la nature de l'azote joue un rôle majeur sur la synthèse des arômes fermentaires. Nous avons montré que 1/ le ratio azoté minéral/organique et 2/ la présence de petits peptides ont un effet direct sur la quantité d'arômes produite par la levure.

Dans la suite de notre étude, l'effet d'un ajout d'azote en cours de fermentation a été évalué. Suite à un ajout d'azote en cours de fermentation, le nombre de cellules reste inchangé mais une reprise de l'activité fermentaire est observée. En terme de durée de fermentation, un ajout d'azote en cours de procédé se révèle plus efficace qu'un ajout initial.

L'impact d'un ajout d'azote en cours de fermentation sur les composés d'arômes varie en fonction de la molécule considérée : (i) les concentrations en alcools supérieurs restent inchangées, (ii) l'effet sur la teneur finale en esters d'éthyle reste modéré et (iii) une forte hausse de la production des esters d'acétate est observée. Pour ces derniers composés, nous observons un impact important de la nature de l'azote ajouté. À dose équivalente, l'azote organique permet une synthèse plus importante d'esters d'acétate que l'azote minéral.

En conclusion, il est indispensable de maîtriser la clarification des mûts pour s'assurer que l'azote est le nutriment limitant de la fermentation sinon l'ajout d'azote aura un effet très négatif. L'effet de la nature et du timing d'ajout d'azote varie en fonction des différents arômes fermentaires ; il est donc indispensable de faire des compromis dans la gestion de l'azote pour obtenir le profil aromatique recherché dans le vin final.

ORIGINAL BY CULTURE™



YALBAK - Crédits photos : iStock®



LEVURES
CENOLOGIQUES



BACTÉRIES
CENOLOGIQUES



NUTRIMENTS
ET PROTECTEURS



DÉRIVÉS DE
LEVURE SPÉCIFIQUE



ENZYMES



CHITOSANE



APPLICATIONS
À LA VIGNE

LALLEMAND

LALLEMAND OENOLOGY

Original by culture

Solutions biologiques visionnaires - L'originalité est un facteur clé de succès. Chez Lallemand Oenology, notre passion pour l'innovation, notre expertise en production et notre volonté de transmettre notre savoir-faire nous permettent de sélectionner et développer des solutions microbiologiques naturelles. Dédiés à la valorisation et à la spécificité de votre vin, nous renforçons votre originalité, nous cultivons la nôtre.

www.lallemandwine.com

OBJECTIF SENSORIEL DE VOS CUVÉES : LE RÔLE CLEF DE LA NUTRITION ET DE LA LEVURE

Marion Bastien, Florence Sablayrolles, Lallemand CEnology

mbastien@lallemand.com
fsablayrolles@lallemand.com



Saccharomyces cerevisiae doit trouver dans le moût l'ensemble des nutriments essentiels à son bon développement : sucres, azote, lipides, sels minéraux et vitamines, pour assurer l'ensemble de ses activités métaboliques. Cependant, différents paramètres (équilibre, millésime, traitements) conduisent à une grande variabilité de la composition des moûts et un ajustement est parfois nécessaire.

En fonction de la composition du moût et du profil sensoriel ciblé, le pilotage de la nutrition (type et moment d'ajout) et le choix de la levure œnologique sélectionnée sont deux éléments clés de l'itinéraire technique. Ce document s'inscrit dans la dynamique du projet NV2, qui s'est concentré sur l'optimisation de la fermentation via une nutrition levurienne adaptée pour des profils thiols et esters.

Comment optimiser la nutrition de la levure pour atteindre un objectif organoleptique défini ?

L'azote dans les moûts est un indicateur clé que l'on peut évaluer. Il faut y distinguer l'azote assimilable par la levure, parmi lequel on peut compter l'azote ammoniacal, l'azote aminé (les acides aminés sauf la proline et certains petits peptides). Connaître la teneur en azote assimilable et l'ajuster à bon escient permet de piloter au mieux son itinéraire technique pour atteindre son objectif.

La teneur et le type de source d'azote ont un impact sur la cinétique fermentaire et sur le profil organoleptique du vin. Un excès d'azote ammoniacal peut être à l'origine de déviations organoleptiques, comme la production de composés soufrés négatifs responsables des arômes de « réduction » (Jinarek et al, 2000). En début de fermentation alcoolique (FA), un excès d'azote ammoniacal peut également entraîner une diminution du potentiel aromatique du vin. En effet, les sels d'ammonium entrent en compétition avec les précurseurs de thiols et limitent leur entrée dans la levure (Salmon et al, 2008). Ils ne sont donc pas convertis en thiols et le potentiel aromatique du vin se trouve diminué. A l'inverse, l'apport d'acides aminés (via un nutriment organique) a un impact positif sur les arômes des vins (Henschke & Curtin, 2010).

Si l'azote est l'élément principal, il n'est pas le seul pour assurer l'équilibre nutritionnel des moûts. L'équilibre

global et notamment la teneur en micronutriments (comme les vitamines et les minéraux) joue un rôle clé dans la physiologie de la levure et les performances fermentaires. Les micronutriments sont aussi essentiels pour limiter la production d'arômes indésirables (comme les composés soufrés négatifs) et permettre la pleine révélation du potentiel aromatique. Ces éléments sont naturellement présents dans les moûts mais peuvent être très rapidement consommés par la flore indigène. Outre l'azote, les nutriments organiques permettent également un apport de ces micronutriments ; leur richesse diffère d'un nutriment à un autre.

Le choix de la levure sélectionnée et l'ajout de nutriments organiques spécifiques (avec un niveau optimal d'acides aminés, vitamines et minéraux) font donc partie intégrante de l'itinéraire technique pour atteindre le profil organoleptique souhaité.

La génération d'arômes fermentaires fruités, intenses : objectif esters

Dans le vin, les esters sont principalement des arômes fermentaires qui occupent une place de choix dans la qualité aromatique des vins rouges, blancs et rosés jeunes, auxquels ils confèrent un fruité intense.

La plupart des esters sont des composés aromatiques primaires qui se forment principalement au cours de la fermentation (esters éthyliques et acétates). Grâce à leur métabolisme spécifique, certaines levures œnologiques sont capables de produire en grande quantité ces composés aromatiques (par exemple : Lalvin ICV Okay™, Affinity ECA5, Lalvin 71B™, Levuline Arpège™). Il a été démontré que la levure passe d'un métabolisme de croissance primaire à un métabolisme aromatique dit secondaire responsable de la biosynthèse des esters en fin de phase de croissance, c'est-à-dire au tiers de la FA (Mouret 2014, Rollero et al. 2017). De plus, la biotine joue un rôle clé dans la synthèse des esters d'acides gras (Morata 2019, Julies, Divol & Bauer, 2019). Particulièrement riches en cette vitamine, les nutriments organiques Stimula Chardonnay™, Stimula Cabernet™ et O'Berry™ ont été spécifiquement développés pour vins blancs, rosés et rouges, afin de maximiser cette production d'esters (cf. figure 1).

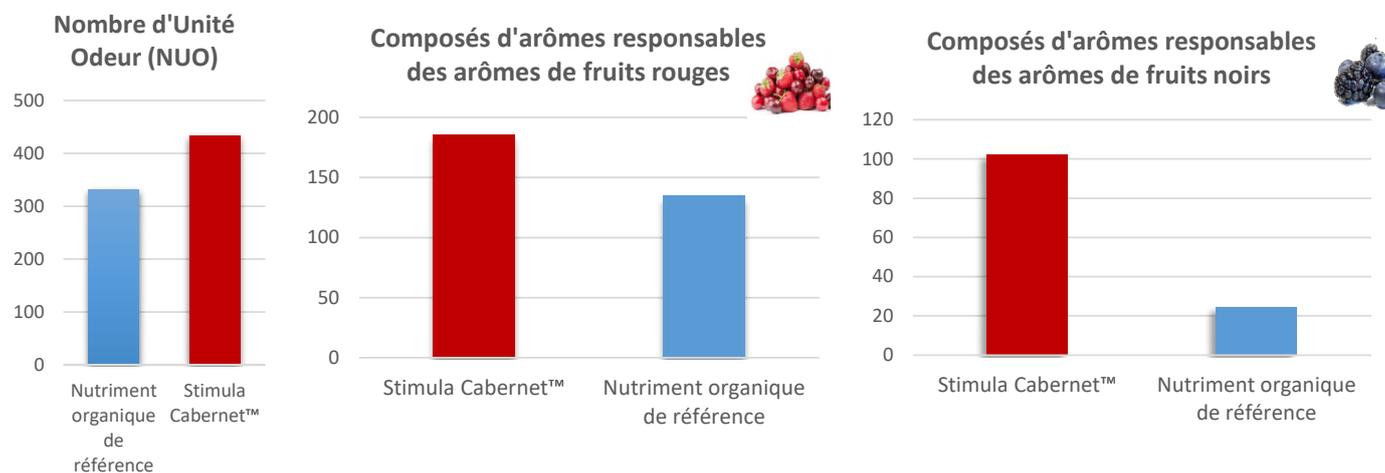


Figure 1 - Analyse d'arômes de vins en bouteille. Essai cave mené sur cabernet sauvignon (Napa Valley, Californie) comparant l'ajout d'un nutriment organique de référence et de Stimula Cabernet™ (40 g/hL ajoutés au 1/3 de la FA).

Des thiols dans les vins blancs... mais aussi dans les rouges !

Les thiols volatils sont une famille d'arômes variétaux bien connus et toujours autant recherchés pour certains profils de vins. De nombreux thiols existent, mais trois d'entre eux ont été identifiés comme jouant un rôle prépondérant et impactant positivement le profil aromatique des vins. Dans les vins blancs, le 3MH, l'A-3MH et le 4MMP contribuent respectivement aux arômes d'agrumes, de fruits exotiques et de buis (Rolland et al, 2011).

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est indispensable à la révélation de ces arômes présents sous forme de précurseurs dans les moûts. Pour cibler un profil « thiols », il s'agit tout d'abord de choisir une levure œnologique spécifiquement sélectionnée pour ses activités métaboliques spécifiques dans la révélation de ces composés (Sauvy™, Lalvin ICV Opale 2.0™, Lalvin MSB™, Vitilevure Elixir™, etc.). Leur caractérisation permet d'orienter le vinificateur dans le choix du profil qu'il souhaite cibler (teneur équilibrée entre les trois thiols, thiol 4MMP prédominant, etc.).

Ces activités enzymatiques spécifiques à la révélation des thiols sont plus élevées lors de la phase de multiplication des levures (ou phase de « croissance »), c'est-à-dire en tout début de FA. A ce stade, l'assimilation des sources d'azote et des précurseurs d'arôme est à leur maximum. O'Tropic™ et Stimula Sauvignon blanc™ sont des nutriments organiques particulièrement riches en certains micronutriments pour optimiser l'assimilation des précurseurs et leur bioconversion en thiols volatils. Ajoutés en début de FA, ils permettent de stimuler le métabolisme de la levure et d'obtenir des teneurs finales plus élevées en thiols (cf. figure 2).

Plus récemment de nouvelles recherches explorent la révélation de ces mêmes composés (3MH, A-3MH et 4MMP) dans les vins rouges. En effet, certains cépages rouges contiennent également des précurseurs de thiols volatils en quantités variables (syrah, pinot noir,

merlot, cabernet sauvignon, etc.). Le 4MMP serait lié aux arômes de « fruits noirs » (dont le « cassis », Rigou et al, 2014) et aux baies rouges (telles que la « framboise »). Le 3MH, et plus particulièrement l'A-3MH, augmentent cette perception aromatique, apportant également des arômes de « prunes » et de « confiture de baies » (Sibert et al, 2019). Selon les cépages, le 3MH est aussi associé aux « épices » tandis que l'A-3MH et le 4MMP peuvent contribuer à des notes d'arômes (Panzeri & al, 2020). Une teneur plus élevée en thiols contribue clairement à renforcer l'intensité aromatique et la complexité des vins rouges.

Pour maximiser leur révélation, une levure a été spécifiquement sélectionnée pour son patrimoine génétique unique et son activité enzymatique spécifique liée à la beta-lyase : RUBY™. Dans de nombreux cépages, RUBY™ a confirmé sa capacité exceptionnelle à révéler des thiols volatils.

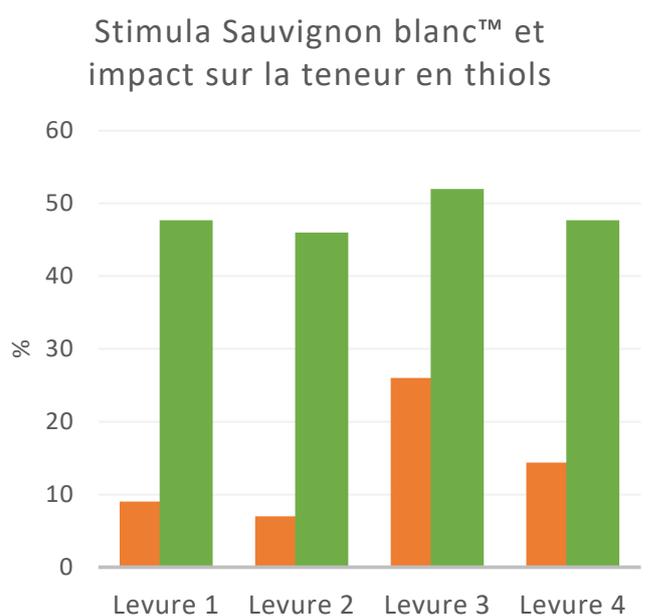


Figure 2 - Augmentation de la révélation des thiols avec Stimula Sauvignon blanc™ (40 g/hL ajoutés en début de FA en comparaison à un témoin sans ajout) en synergie avec différentes levures révélatrices de thiols

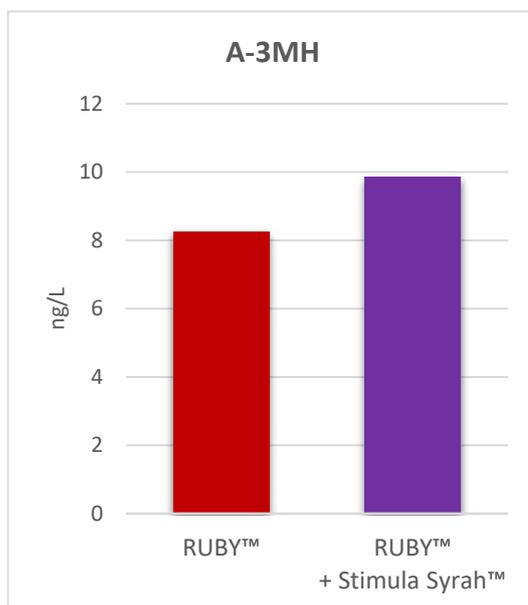
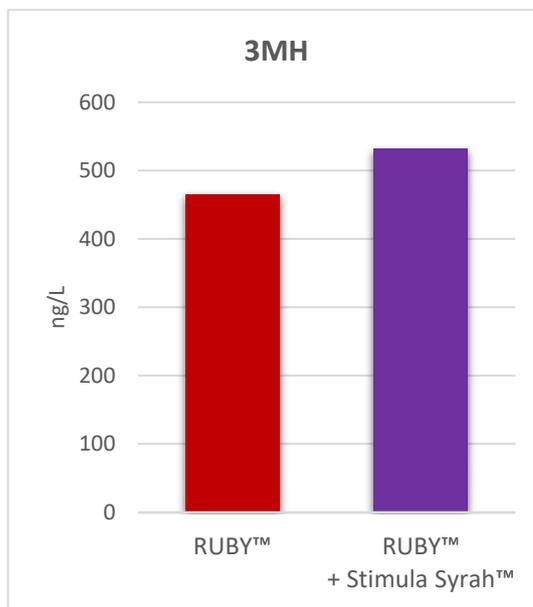
L'apport en début de FA du nutriment Stimula Syrah™ particulièrement riche en différentes formes d'azote (peptides et acides aminés libres), en vitamines spécifiques (pantothénate, thiamine) et en minéraux, permet de renforcer la révélation de ces arômes variétaux (cf. figure 3).

Conclusion

Les déséquilibres nutritionnels des moûts sont à l'origine de carences pouvant entraîner des problèmes fermentaires et l'apparition de défauts organoleptiques. L'azote présent dans les moûts (dont une partie est assimilable) est un nutriment essentiel mais n'est pas le seul élément nécessaire aux levures œnologiques pour réaliser leur croissance et leurs activités métaboliques. Outre l'azote, l'équilibre repose également sur la présence de vitamines et de minéraux. Combinée au choix de levure œnologique spécifique, une stratégie de nutrition adaptée à ses conditions de moûts et à son objectif organoleptique permet d'aboutir à la pleine révélation de son vin, selon le profil visé.

Les connaissances sur la nutrition et les besoins des levures pour assurer le bon déroulé des FA et la pleine révélation aromatique ont permis de grandes avancées, et permettent de proposer des nutriments spécifiques dans un objectif organoleptique précis.

Figure 3 ci-contre - Analyse d'arômes de vins en bouteille. Essai mené sur grenache (IFV Nîmes, France). Effet synergique de la levure RUBY™ avec le nutriment Stimula Syrah™ (vs nutriment organique de référence également ajoutés au 1/3 de la FA à la dose de 40 g/hL).





NOUVEL ÉLAN, NOUVELLE VISION, MÊME EXCELLENCE !

ENTAV-INRA® devient ENTAV by IFV & INRAE !

Fidèles à notre ADN d'excellence et de qualité, nous élargissons notre offre pour innover et apporter des solutions à la pépinière viticole et à la viticulture.



ENTAV Sélection

Riche de 60 ans d'expérience, ENTAV by IFV & INRAE poursuit l'élargissement de la gamme pour obtenir l'offre de sélections clonales diversifiées. Les sélections certifiées ENTAV by IFV & INRAE sont issues d'un processus rigoureux qui garantit l'absence des principales viroses et des performances agronomiques et technologiques dûment validées. Nous poursuivons la sélection de nos cépages patrimoniaux, élargie aux travaux sur les cépages méditerranéens, dans un objectif d'adaptation au changement climatique.



ENTAV Création

La création variétale est un des leviers majeurs de réponse au défi de la transition agroécologique et à la réduction des intrants phytosanitaires. De nouvelles variétés sont en cours d'évaluation et attendues en 2025, afin de compléter les premières séries déjà diffusées. Les variétés résistantes à typicité régionale seront disponibles à partir de 2030 pour compléter l'offre adaptée à chaque région viticole.



ENTAV Diversité

Accompagner la demande de diversité intra-variétale via notre offre de « diversité patrimoniale ». Cette nouvelle offre construite avec les Partenaires de la Sélection Vigne à partir des conservatoires de diversité est complémentaire de l'offre de sélection clonale historique. Valoriser ces conservatoires, c'est valoriser les meilleurs sélectionneurs pour permettre au vignoble d'accéder à une diversité qualitative et sanitaire testée vis-à-vis des principales viroses réglementées.

Choisir ENTAV by IFV & INRAE, c'est choisir l'innovation continue, l'expertise, l'intégrité et la garantie d'excellence pour construire ensemble la viticulture du futur.

Contact :

Laurent AUDEGUIN – Directeur Développement

Samaha EL GUERNE – Chargée de développement commercial et marketing