



Les méthodes d'estimation de l' alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble: état de l'art

Cornelis van Leeuwen, Philippe Friant

► To cite this version:

Cornelis van Leeuwen, Philippe Friant. Les méthodes d'estimation de l' alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble: état de l'art. Colloque “ L'azote: un élément clé en viticulture et en œnologie ”, Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV). FRA., Dec 2011, Toulouse, France. hal-02806995

HAL Id: hal-02806995

<https://hal.inrae.fr/hal-02806995>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LES MÉTHODES D'ESTIMATION DE L'ALIMENTATION AZOTÉE DE LA VIGNE ET DES RAISINS AU VIGNOBLE :

ÉTAT DE L'ART

CORNELIS (KEES) VAN LEEUWEN ET PHILIPPE FRIANT

ENITA de Bordeaux, UMR EGFV, Institut des Sciences de la Vigne et du Vin
33140 Villenave d'Ornon, k-van-leeuwen@enitab.fr

INTRODUCTION

Parmi les éléments que la vigne prélève dans le sol, l'azote est celui qui influence le plus fortement son développement végétatif et reproducteur. Les besoins en azote de la vigne sont faibles. En effet, la vigne consomme entre 20 et 70 kg d'azote par hectare et par an (Delas, 2010), en fonction de la vigueur et du rendement. Seulement une faible fraction de ce prélèvement est exportée dans les raisins (une dizaine de kg/ha/an). Dans de nombreuses situations, la minéralisation de la matière organique du sol est capable de fournir cette quantité d'azote et une fertilisation azotée spécifique n'est pas toujours nécessaire.

La dynamique de stockage et d'absorption est particulière et différente de la plupart des autres éléments. La très grande majorité de l'azote présent dans le sol est stockée sous forme organique. Sous cette forme l'azote n'est pas disponible pour la vigne. La matière organique est minéralisée par la microflore du sol. Cette minéralisation va libérer de l'azote minéral (NH_4^+ , transformé ensuite en NO_3^-). Ces deux formes d'azote peuvent être absorbées par la vigne. Le sol stocke très mal l'azote minéral. La vigne dépend donc, en grande partie, des quantités d'azote qui sont libérées par la minéralisation de la matière organique (en dehors d'un éventuel apport d'azote par la fertilisation). Les principaux paramètres du sol qui régissent les quantités d'azote minéralisées sont :

- la quantité de matière organique stockée dans le sol,
- les facteurs qui conditionnent sa vitesse de minéralisation :
 - le rapport C/N de la matière organique, qui indique sa richesse en azote,
 - la température du sol,
 - l'aération du sol,
 - le pH du sol,
 - la teneur en eau du sol,
 - l'abondance de la microflore du sol et la répartition des espèces de micro organismes présents.

La quantité d'azote absorbée par la vigne dépend de la fourniture par le sol et de la fertilisation azotée, qui peut être organique ou minérale. Cette fertilisation peut être relativement importante dans les vignobles du nouveau monde ou dans les vignobles européens hors zone d'appellation. Elle est généralement faible, voire absente, en vignoble de cru en Europe.

La grande majorité des travaux concernant l'alimentation en azote de la vigne est basée sur des essais de fertilisation et proviennent d'équipes travaillant dans les vignobles du nouveau monde (Californie, Washington State, Afrique du Sud, Australie). Dans ces études, différents niveaux d'apport d'azote (souvent en quantité très importante) sont comparés. Les auteurs considèrent généralement que le niveau d'alimentation en azote souhaitée est l'absence de contrainte, en évitant cependant d'apporter des quantités d'azote excessives. Il faut replacer ces travaux dans le contexte d'une viticulture en l'absence de contrainte environnementale. Les résultats ne sont pas transposables à la viticulture de cru européenne où l'intérêt d'un facteur limitant l'expression végétative de la vigne est admis de longue date.

En vignoble de cru, en l'absence d'une fertilisation azotée importante,

la disponibilité de l'azote dépend fortement du type de sol. Si des travaux approfondis ont été réalisés sur l'effet de l'entretien du sol sur la nutrition azotée de la vigne (Soyer et al., 1995), il est étonnant de constater que très peu de travaux aient été consacrés à l'étude du niveau de l'alimentation en azote de la vigne et à son incidence sur le potentiel œnologique du raisin en fonction du type de sol, autrement dit le rôle de l'azote dans l'effet terroir.

Pour entreprendre ce type d'investigation, il est nécessaire de disposer d'un ou plusieurs indicateurs de l'alimentation en azote qui soient à la fois fiables, sensibles et de préférence faciles à mettre en œuvre. La nutrition azotée peut être raisonnée soit à partir d'analyses de sol (c'est-à-dire la disponibilité en azote), soit à partir d'analyses réalisées sur des organes de vigne (c'est-à-dire les quantités d'azote réellement absorbées), soit à partir d'appareils de mesure optique.

ÉVALUATION DES CONDITIONS D'ALIMENTATION EN AZOTE DE LA VIGNE PAR DES ANALYSES DE SOL

La nutrition azotée de la vigne a été suivie sur trois sols de la région de Saint-Émilion : un sol très graveleux (PEYROSOL), un sol sableux avec une nappe d'eau à portée des racines (LUVISOL sableux rédoxique) et un sol à sous-sol très argileux (PLANOSOL sédimorphe). Des analyses ont été réalisées pour mesurer le taux de matière organique et la teneur en azote du sol (tableau 1). Seules les données sur les horizons qui contenaient de la matière organique ont été reprises dans le tableau. Il est possible de doser l'azote minéral dans le sol. Cependant, sa teneur varie constamment au cours de la saison, en fonction de l'intensité de l'activité de minéralisation de la microflore du sol et de l'absorption par la vigne, ce qui impose de nombreuses mesures au cours de la saison pour permettre l'interprétation des données. Seul l'azote total (en majorité sous forme organique) peut être dosé en routine, car sa teneur ne varie pratiquement pas au cours de la saison. Il faut signaler que les valeurs d'azote total du sol peuvent être très variables en fonction du prélèvement.

De ces analyses, on pourrait conclure que l'alimentation en azote de la vigne serait la forte sur le sol argileux, qui contient à la fois le pourcentage de matière organique le plus élevé dans l'horizon de surface et une quantité d'azote total plus élevée sur l'ensemble du profil que le sol sableux. Des mesures de la teneur en azote sur les différents organes de la vigne (limbe, pétiole, baies de raisin) montrent au contraire que l'absorption d'azote par la vigne est la plus faible sur le sol argileux. Pour comprendre cette apparente contradiction, il faut avoir recours à des analyses microbiologiques (tableau 2). Dans le sol argileux, qui est froid, compact et mal aéré, l'activité microbiologique est faible. Par conséquent, les quantités d'azote minéral libérées sont faibles. Ceci explique que la vigne absorbe peu d'azote sur ce sol, malgré un stock d'azote total important. Cet exemple montre la difficulté de raisonner la nutrition azotée de la vigne à partir d'analyses de sol. Il est indispensable de compléter les analyses chimiques avec des analyses microbiologiques pour comprendre la dynamique de l'alimentation en azote de la vigne à partir d'analyses de sol, ce qui alourdit considérablement la démarche.

SOL GRAVELEUX				
Profondeur	0-20	20-55	55-95	Total
Poids terre brute/ha (T)	3000	5250	6000	14250
% éléments grossier	50%	46%	65%	
Poids terre fine/ha (T)	1500	2835	2100	6435
% matière organique	1,92%	1,24%	0,66%	
Quantité matière organique (kg)	28800	35154	13860	77814
Azote total (%)	0,093%	0,074%	0,033%	
Azote total (kg)	1395	2098	693	4186
SOL SABLEUX				
Profondeur	0-45			
Poids terre brute/ha (T)	6750			6750
% éléments grossier	0%			
Poids terre fine/ha (T)	6750			6750
% matière organique	0.91%			
Quantité matière organique (kg)	61425			61425
Azote total (%)	0.050%			
Azote total (kg)	3375			3375
SOL ARGILEUX				
Profondeur	0-20	20-30	30-60	Total
Poids terre brute/ha (T)	3000	1500	4500	9000
% éléments grossiers	4%	40%	0%	
Poids terre fine/ha (T)	2880	600	4500	7980
% Matière organique	2.13%	0.76%	0.42%	
Quantité matière organique (kg)	61344	4560	18900	84804
Azote total (%)	0,095%	0,048%	0,021%	
Azote total (kg)	2736	288	945	3969

Tableau 1. Teneur en matière organique et en azote total de trois sols de la région de Saint-Emilion

La qualité du vin produite est moyenne sur le sol sableux, très bonne sur le sol graveleux et excellente sur le sol argileux. On peut donc noter au passage qu'il n'y a pas de relation simple entre l'activité microbologique du sol et la qualité du vin produit, contrairement à ce qu'affirment certains auteurs (Bourguignon, 1995).

INDICATEURS DE LA VIE MICROBIOLOGIQUE	SOL GRAVELEUX	SOL SABLEUX	SOL ARGILEUX
Biomasse microbienne (mgC/kg de terre)	117	95	71
Indice d'Activité Microbienne (IAM)	0.05	0.045	0.026
N minéralisé en 28j au laboratoire (mg/kg)	14.8	12.6	7.4

Tableau 2. Indicateurs de la vie microbologique du sol de trois sols de la région de Saint-Emilion (laboratoire LCA - Chambre d'Agriculture de la Gironde, 33290 Blanquefort)

ÉVALUATION DES CONDITIONS D'ALIMENTATION EN AZOTE DE LA VIGNE PAR DES ANALYSES SUR LE VÉGÉTAL

Face à la difficulté de raisonner l'alimentation en azote de la vigne à partir d'analyses du sol, l'azote a été dosé dans différents compartiments du végétal : le moût de raisin à mi-véraison et à maturité (azote assimilable par les levures et NH_4^+), le pétiole à la mi-véraison et le limbe à la mi-véraison. Les valeurs indiquées dans la figure 1 représentent des moyennes obtenues sur 8 millésimes (2004 à 2011) et deux cépages (Merlot et Cabernet franc). Tous les indicateurs testés permettent de différencier la nutrition azotée de la vigne sur les sols étudiés et ce de manière hautement significative ($p < 0,001$). Cependant, la teneur en azote du limbe à mi-véraison, la teneur en azote assimilable du moût à mi-véraison ainsi que la teneur en NH_4^+ du moût à mi-véraison ne permettent pas de différencier le statut azoté de la vigne sur le sol graveleux et le sol sableux. La teneur en azote du pétiole à mi-véraison, la teneur en azote assimilable du moût à maturité et la teneur en NH_4^+ du moût à maturité indiquent que l'alimentation en azote est la plus forte sur le sol graveleux, la plus faible sur le sol argileux et intermé-

diaire sur le sol sableux. Il n'avait pas été possible d'obtenir ce résultat à partir d'une analyse chimique de sol. Cet exemple montre l'effet déterminant des conditions de minéralisation sur la nutrition azotée de la vigne. La teneur en azote total est moyenne dans le sol graveleux, mais la minéralisation de la matière organique est rapide sur ce sol chaud et bien aéré. Par conséquent, l'alimentation en azote de la vigne est plus forte sur ce sol en comparaison avec les deux autres. En revanche, la teneur en azote total est forte sur le sol argileux, mais la minéralisation de la matière organique est lente dans ce sol froid et mal aéré.

Il faut noter que la teneur en azote assimilable du moût est plus élevée à maturité qu'à la mi-véraison (figure 2). On observe une dynamique inverse pour le cation NH_4^+ . Pour l'interprétation des valeurs, il est donc important de bien préciser le stade auquel les analyses ont été effectuées. Les analyses du pétiole et du limbe sont le plus couramment effectuées à la mi-véraison, alors que les analyses du l'azote du moût (et azote assimilable) sont le plus couramment effectuées à maturité. Le dosage de l'azote assimilable à maturité présente l'avantage d'être à double fin : le résultat donne à la fois une indication sur le statut azoté de la vigne et sur la fermentescibilité du moût. Il est important de signaler qu'il ne faut pas confondre ces deux objectifs lors de l'interprétation des résultats. Un moût avec une teneur en azote assimilable inférieure à 150 mg N/L doit être supplémenté pour éviter des problèmes de fermentation. En revanche, une teneur en azote assimilable inférieure à 150 mg N/L n'indique pas forcément un problème viticole, à condition que la vigueur et le rendement soient suffisants. Bien au contraire, pour la production de vins rouges de garde un statut azoté modérément faible est plutôt un atout, car il limite la taille des baies et la sensibilité à *Botrytis cinerea* et augmente la teneur en composés phénoliques des raisins (Choné et al., 2001).

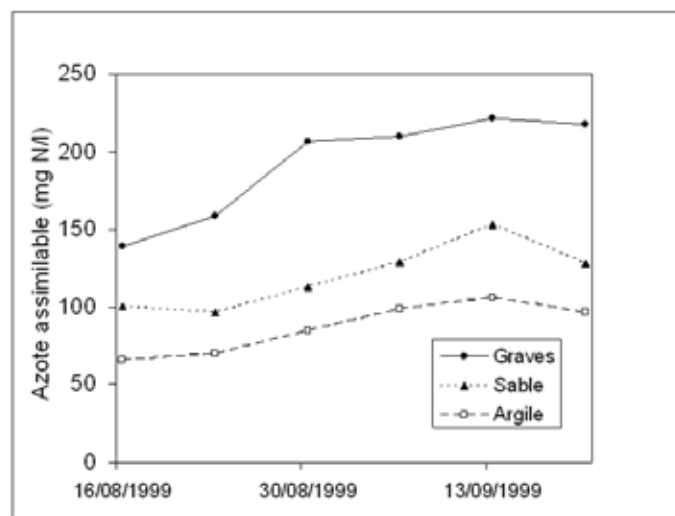
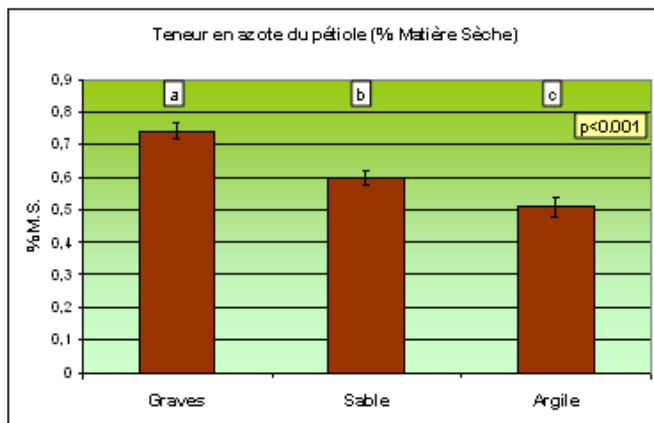
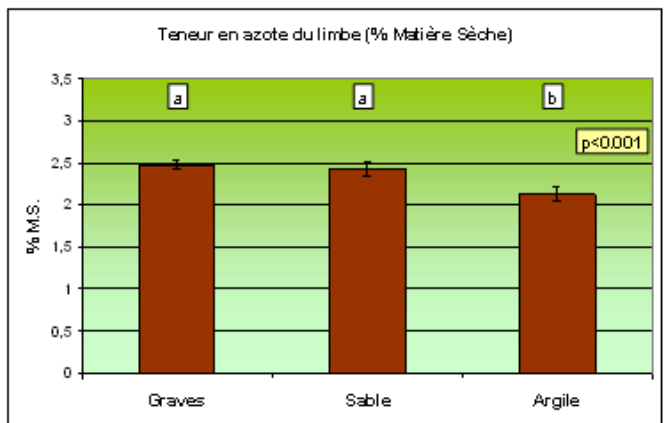


Figure 2 – Evolution de l'azote assimilable du moût sur trois sols de la région de Saint-Emilion, en 1999, de la véraison à la maturité (cépage Merlot).

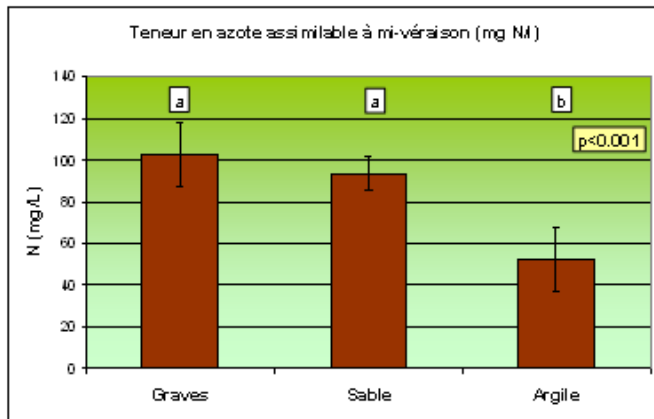
Dans ce travail, l'azote assimilable a été dosé par formol titration (Masneuf et Dubourdieu, 1999). Aujourd'hui, cette analyse se fait de plus en plus fréquemment par Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (IRTF). Cette dernière méthode donne des résultats beaucoup moins précis et cette approche peut remettre en cause la validité de l'azote assimilable du moût comme indicateur du statut azoté de la vigne. Certains laboratoires proposent aujourd'hui le dosage de l'azote alpha aminé. La somme de l'azote alpha aminé et de l'azote ammoniacal se rapproche de la valeur de l'azote assimilable et leur détermination est plus précise que le dosage de l'azote assimilable par IRTF. L'azote total du moût est également un très bon indicateur du statut azoté de la vigne (van Leeuwen et al., 2000), qui est par ailleurs bien corrélé à l'azote assimilable (figure 3). Cependant, la difficulté de sa mesure, qui nécessite une attaque acide qui produit beaucoup de mousse en présence de sucre, rend peu pratique sa détermination.



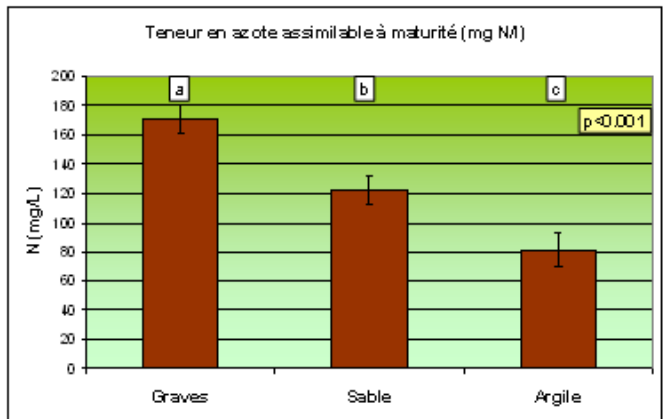
a



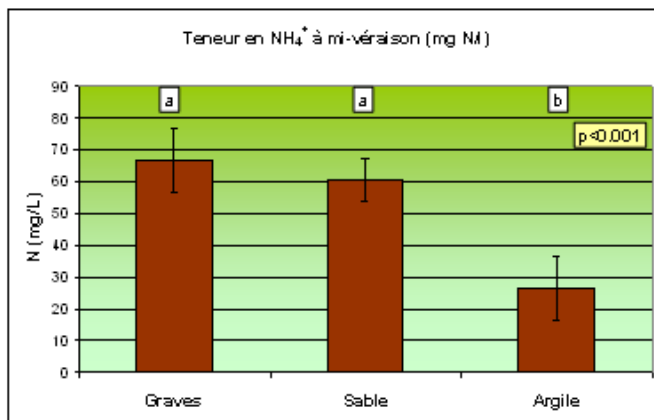
b



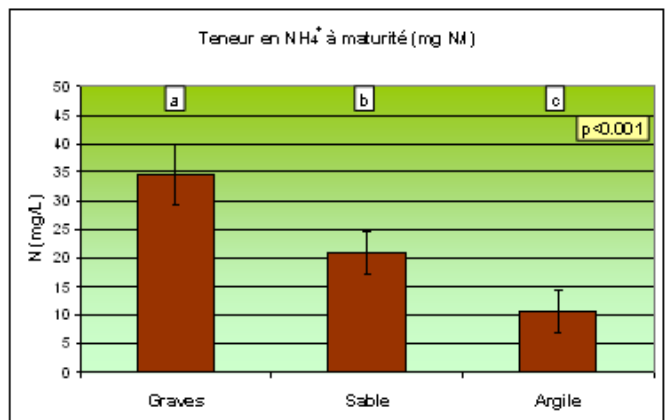
c



d



e



f

Figure 1 – Teneur en azote total du pétiole à mi-vérison (a), du limbe à mi-vérison (b), de l'azote assimilable du moût à mi-vérison (c) et à maturité (d) et de NH_4^+ du moût à mi-vérison (e) et à maturité (f) sur trois sols de la région de Saint-Émilion (moyennes 2004 – 2011 sur Merlot et Cabernet franc). Une valeur qui porte une lettre différente (a, b ou c) est statistiquement différente (ANOVA suivi de test de Newman et Keuls).

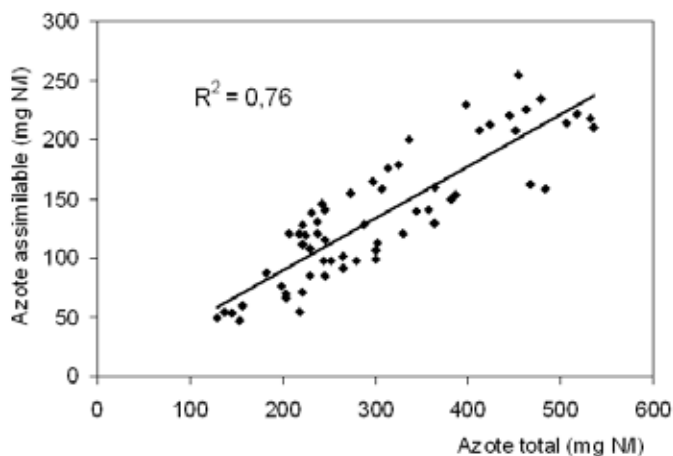


Figure 3 – Evolution de l'azote assimilable du moût sur trois sols de la région de Saint-Émilion, en 1999, de la véraison à la maturité (cépage Merlot).

Il est difficile d'établir avec précision des normes d'interprétation pour la teneur en NH_4^+ et en azote assimilable du moût en relation avec le statut azoté de la vigne car on observe un effet cépage important. Dans des conditions de sol, de climat et de culture identiques, les moûts du cépage Cabernet franc sont toujours plus pauvres en azote que ceux du cépage Merlot (figures 4a, 4b, 4c, 4d). Par ailleurs, on a également observé un effet du rendement : la teneur en azote du moût diminue avec le rendement par effet de dilution (Trégoat et al., 2002). On constate par exemple souvent de très faibles teneurs en azote assimilable dans les moûts d'Ugni blanc en Charente, qui sont plus à mettre en relation avec de forts rendements, qu'avec un statut azoté déficitaire de la vigne. Il reste cependant possible d'indiquer des ordres de grandeur pour des vignes dont le rendement se situe entre 5 et 10 t/ha. Une teneur en azote assimilable à maturité inférieure à 50 mg N/L indique une très faible alimentation en azote de la vigne, une teneur entre 50 et 100 mg N/L une faible alimentation en azote et une teneur entre 100 et 150 mg N/L une alimentation en azote faible à moyenne. L'alimentation en azote est moyenne à forte entre 150 et 200 mg N/L, forte entre 200 et 250 mg N/L et très forte au-delà de 250 mg N/L. Il

n'est pas forcément nécessaire de viser une alimentation en azote « moyenne ». En effet, il existe des situations où une faible alimentation en azote constitue un facteur limitant favorable au potentiel qualitatif, en particulier pour la production de vins rouges de garde. Il est inutile (et même déconseillé) d'effectuer une fertilisation azotée dans ces situations, sauf si une trop faible vigueur et rendement ne permettent pas la pérennité et la viabilité économique de la culture de la vigne. L'effet cépage est beaucoup plus faible sur l'azote du pétiole et du limbe (bien que statistiquement significative, figures 4e et 4f). Il est donc plus facile d'établir des normes d'interprétation pour ces derniers. On considère qu'une teneur en azote totale « normale » se situe entre 0,4 et 0,6% de Matière Sèche (MS) dans le pétiole et entre 1,8 et 2,4% dans le limbe à mi-véraison.

ÉVALUATION DES CONDITIONS D'ALIMENTATION EN AZOTE DE LA VIGNE PAR UN APPAREIL OPTIQUE : LE N-TESTER

Le N-tester est un appareil optique qui mesure l'intensité de la coloration verte du limbe. Celle-ci dépend de la teneur en chlorophylle de la feuille, elle-même en relation avec la nutrition azotée de la vigne (Spring 1999). Les performances de cet appareil ont été comparées avec celles

des indicateurs basées sur la teneur en azote d'organes de la vigne. Sur une vigne modérément alimentée en azote, un apport d'azote de 45 U/ha a été réalisé à la floraison (van Leeuwen et al., 2000). Le N-tester a permis de différencier les deux modalités, tout comme l'analyse pétioleaire et le dosage de l'azote total, de l'azote assimilable et l'azote minéral du moût (tableau 3). Contrairement aux dosages des différentes formes d'azote du moût, du pétiole et du limbe, cet appareil permet d'effectuer un diagnostic précoce et les résultats sont immédiatement connus après la mesure. En outre, les mesures sont non destructives et ne nécessitent pas d'analyses au laboratoire. Le N-tester est commercialisé par la société Yara. Un inconvénient du N-tester est que son utilisation est seulement possible en mode piéton, il ne peut pas être embarqué sur des engins agricoles. Cela limite son utilisation pour des travaux de spatialisation du statut azoté de la vigne.

Si le N-tester est assez performant pour différencier le statut azoté entre parcelles d'un même cépage, au même moment, il est difficile d'établir avec précision des normes d'interprétation. En effet, les valeurs de N-tester mesurées évoluent au cours de la saison et peuvent varier en fonction du cépage (les valeurs sont sans unité). Par ailleurs, tout trouble physiologique ou maladie qui peut affecter la coloration

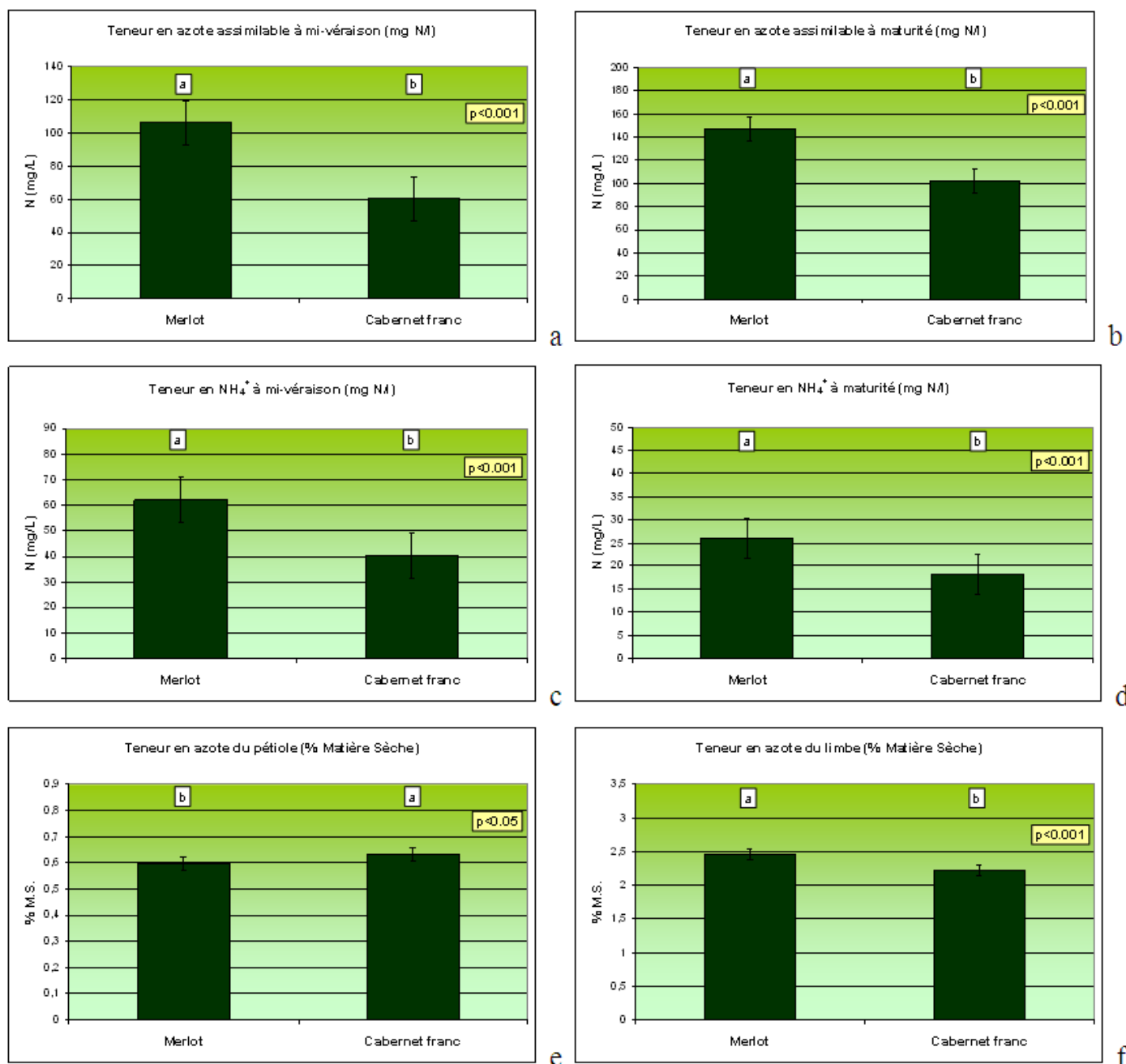


Figure 4 – Teneur en azote assimilable du moût à mi-véraison (a), à maturité (b), de NH_4^+ du moût à mi-véraison (c) et à maturité (d) de l'azote total du pétiole à mi-véraison (e) et l'azote total du limbe à mi-véraison (f) des cépages Merlot et Cabernet franc de la région de Saint-Émilion (moyennes 2004-2011 sur trois sols). Une valeur qui porte une lettre différente (a, b ou c) est statistiquement différente (ANOVA suivi de test de Newman et Keuls).

	N- TESTER		TENEUR EN AZOTE DU MOÛT			ANALYSE PÉTIOLAIRE (VÉRAISON)
	30/07	17/09	Ntotal (mg N/l)	Nassimilable (mg N/l)	N NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ /l)	N total %
0 kg N/ha						
moyenne (n=5)	50.3	494	436	194	33	0.52
écart type	32.7	39.2	18.09	9.13	4.18	0.08
45 kg N/ha						
moyenne (n=5)	577	577	527	230	47	0.66
écart type	23.7	31.0	20.95	9.83	2.77	0.08
Test de student : différence significative à	0,01	0,01	0.0001	0.001	0.001	0.05

Tableau 3. Comparaison du N-tester avec quatre autres indicateurs de l'alimentation en azote de la vigne pour leur capacité à distinguer deux niveaux de fertilisation minérale (0 et 45 kg N/ha). Cépage Merlot, 1999, Saint-Émilion

de la feuille (chlorose, maladie à virus....) modifie la valeur de l'indice N-tester indépendamment du statut azoté de la vigne. Il est cependant possible de donner quelques ordres de grandeur. Pour une mesure effectuée au moment de la véraison, une valeur N-tester inférieure à 400 indique une très faible alimentation en azote de la vigne, une valeur comprise entre 400 et 450 indique une faible alimentation en azote, une valeur comprise entre 450 et 500 une alimentation en azote moyenne, une valeur comprise entre 500 et 550 une alimentation en azote forte et une valeur supérieure à 550 une alimentation en azote très forte.

ÉVALUATION DES CONDITIONS D'ALIMENTATION EN AZOTE DE LA VIGNE PAR D'AUTRES APPAREILS DE MESURE OPTIQUE

Le greenseeker (société Avidor) est un appareil de proxy détection qui permet d'établir un indice de végétation, le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Il s'agit d'un outil qui peut être embarqué sur des engins agricoles et qui mesure à la fois de la porosité de la canopée et sa teneur relative en chlorophylle (Goutouly et al., 2006). Cette dernière est susceptible de varier principalement avec le statut azoté de la vigne. En revanche, d'autres facteurs peuvent agir sur la porosité de la canopée (contrainte hydrique par exemple), indépendamment du statut azoté de la vigne.

Le multiplex (société ForceA) est un capteur de proxy détection qui est prometteur pour le diagnostic du statut azoté de la vigne (Cervic et al., 2008). L'un des indices qu'il permet de générer, le SFR_G, est directement relié à la teneur en chlorophylle et présente, par conséquent, de très bonnes corrélations avec d'autres indicateurs du statut azoté de la vigne, comme par exemple l'azote assimilable du moût (Serrano et al., 2010). Le multiplex génère également un indice, appelé Nitrogen Balance Index, qui est le rapport entre l'indice SFR_G et l'indice FLAV (lié à la teneur en Flavonols). Il faut signaler que le coût du multiplex est nettement plus élevé que celui du greenseeker.

EFFET MILLÉSIME SUR LA NUTRITION AZOTÉE DE LA VIGNE

La nutrition azotée varie en fonction du sol. Elle varie également en fonction du millésime, car les conditions climatiques au printemps influent sur la vitesse de minéralisation de la matière organique. Dans la région de Saint-Émilion, 2008 et 2011 ont été des années où l'alimentation en azote a été relativement faible (figure 5). Il est probable que le niveau de nutrition azoté influe sur les caractéristiques du millésime. 2008 est un bon millésime dans la région de Bordeaux pour les vins rouges, malgré l'absence de contraintes hydriques. Il est possible que la faible alimentation en azote, induite par des conditions climatiques particulières au printemps (très fortes précipitations au mois de mai) ait pu contribuer à modérer la vigueur et à créer des conditions favorables à l'accumulation des composés phénoliques dans les raisins. Il s'agit cependant seulement d'hypothèses qui méritent d'être explorées plus en profondeur. L'effet du sol est néanmoins plus important que l'effet millésime sur le statut azoté de la vigne : dans cette étude,

45% de la variance totale de la teneur en azote assimilable du moût avait été déterminée par l'effet « sol », 14% par l'effet « millésime » et 17% par l'effet « cépage ».

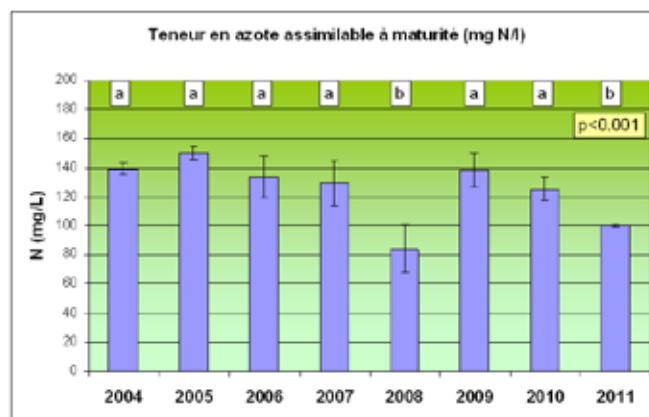


Figure 5 – Effet millésime sur la teneur en azote assimilable du moût (moyennes de deux cépages et trois sols). Une valeur qui porte une lettre différente (a ou b) est statistiquement différente (ANOVA suivi de test de Newman et Keuls).

LA SPATIALISATION DU STATUT AZOTÉ DE LA VIGNE

Au même titre que le régime hydrique de la vigne, son statut azoté a un effet important sur la vigueur, le niveau de production et la composition du raisin. Le statut azoté de la vigne varie fortement en fonction de paramètres liés au sol (teneur en matière organique, rapport C/N de la matière organique, vitesse de minéralisation de la matière organique) et peut, à ce titre, être considéré comme un élément du terroir. Cette variabilité s'opère sur de courtes distances, à l'échelle parcellaire voire même à l'échelle intra-parcellaire. Pour une meilleure connaissance du terroir il est fondamental d'appréhender cette variabilité. Il est également important de gérer cette variabilité intra-parcelle, par une adaptation de la gestion technique (modulation de la fertilisation ou de l'entretien du sol). Parmi les indicateurs qui permettent d'évaluer le statut azoté de la vigne, la teneur en azote assimilable du moût est robuste et facile à mesurer. Il est possible d'effectuer un nombre suffisant de mesures d'azote assimilable sur une parcelle ou une propriété pour spatialiser le statut azoté de la vigne par le biais de cet indicateur. Sur la figure 6, le statut azoté de la vigne a été spatialisé sur un domaine de 37 ha par la mesure de la teneur en azote assimilable

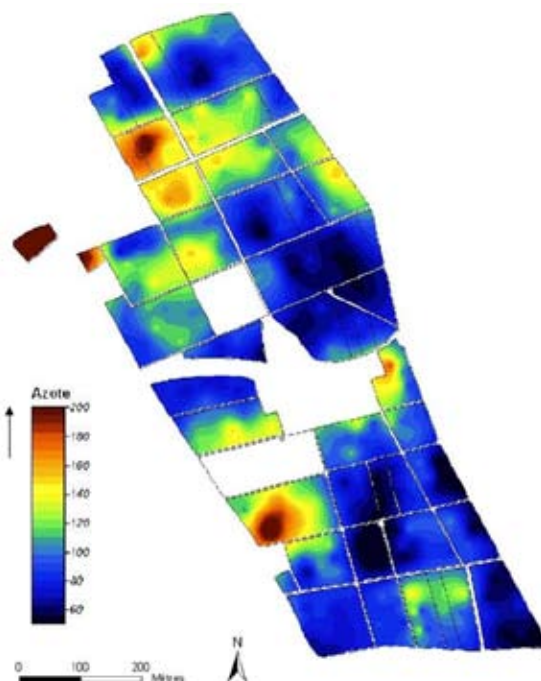


Figure 6. Variabilité spatiale du statut azoté de la vigne sur un domaine viticole de 37 hectares, situé à Saint-Émilion, en 2009, évaluée par la teneur en azote assimilable du moût à maturité (mg N/L). Densité de mesures : 10/ha, soit environ 350 mesures pour la réalisation de la carte.

du raisin à maturité sur dix placettes par hectare (collaboration David Pernet, SOVIVINS). Sur cet exemple, la teneur en azote assimilable du moût à maturité varie du simple au quadruple. Certaines parcelles sont entièrement soumises au même type d'alimentation en azote (forte ou faible) tandis que sur d'autres parcelles l'alimentation en azote peut être fortement variable à l'intérieur même de la parcelle. Un lien peut être établi avec les types de sol présents sur la propriété. L'alimentation en azote y est forte sur les sols graveleux et faible sur les sols argileux. La limite de cette approche réside dans le fait que la teneur en azote assimilable du moût est également influencée par le cépage. La propriété de la figure 6 est plantée avec du Merlot et du Cabernet franc. À nutrition azotée égale, les raisins de Cabernet franc sont plus pauvres en azote assimilable que les raisins de Merlot.

CONCLUSION

De nombreux indicateurs existent pour évaluer le statut azote de la vigne. Trois approches existent : l'analyse de sol, l'analyse d'organes de la vigne ou l'utilisation de capteurs optiques. L'analyse de sol est d'un intérêt limité car il est difficile d'extrapoler la nutrition azotée de la vigne à partir de valeurs d'azote total. La teneur en azote peut être analysée dans de nombreux organes, comme le pétiole, le limbe ou le raisin, sous différentes formes (NH₄⁺, azote assimilable par les levures, azote total) et à différents moments de la saison. La plupart de ces indicateurs varient avec le statut azoté de la vigne. L'azote assimilable du moût est facile à doser et constitue à ce titre un indicateur de choix. Cependant, il varie avec le cépage et le rendement ce qui rend l'établissement de normes précis d'interprétation délicat. Il est plus facile d'établir de telles normes pour l'azote total du pétiole et du limbe, qui varient moins fortement avec le cépage. La mesure d'indices par des appareils optiques, tels que le N-tester, le greenseeker ou le Multiplex est facile et présente l'intérêt de donner des valeurs à l'instant de la mesure. Il est probable que ces appareils prendront de plus en plus d'importance dans l'évaluation du statut azoté de la vigne. Etant donné l'importance d'une connaissance précise du statut azoté de la vigne pour caractériser le terroir et conduire le vignoble, il est recommandé de croiser plusieurs indicateurs (par exemple azote assimilable du moût à maturité, teneur en azote du limbe à mi-véraison et mesure de l'indice N-tester à mi-véraison). La spatialisation du statut azoté, à l'échelle parcellaire ou intra-parcellaire, est particulièrement intéressante. Elle peut être obtenue à l'aide de mesures de l'azote assimilable du moût ou des mesures avec des capteurs optiques embarqués.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Jean-Pascal Goutouly (INRA-UMR EGFV Bordeaux) pour une relecture critique du manuscrit et Laure de Rességuier (ENITA – UMR EGFV Bordeaux) pour la mise en forme de la figure 6.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOURGUIGNON C., 1995. Le sol, la terre et les champs, Ed. Sang de la Terre, 221 pp.
- CHONE X., VAN LEEUWEN C., CHERY Ph. and RIBEREAU-GAYON P., 2001. Terroir influence on water status and nitrogen status of non irrigated Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera*): vegetative development, must and wine composition. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 22, n°1, 8-15.
- CEROVIC Z., MOISE N., AGATI G., LATOUCHE G., BEN GHOLEN N. and MEYER S., 2008. New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. *J. Food Comp. Anal.*, 21, 650-654.
- GOUTOULY J.-P., DRISSI R., FORGET D. and GAUDILLÈRE J.-P., 2006. Characterization of vine vigour by ground based NDVI measurements. 6th International Terroir Congress Bordeaux-Montpellier, 237-242.
- DELAS J., 2010. Fertilisation de la vigne, 2e édition. Ed Féret, Bordeaux, 165p.
- MASNEUF I. et DUBOURDIEU D., 1999. L'azote assimilable: intérêt de son dosage par formol titration; étude de quelques paramètres à l'origine des variations de sa teneur dans les moûts. *Rev Œnol.*, n°93, 31-32.
- SERRANO E., DIAS F., BIAIS T. et DUFOURCQ T., 2010. Les nouvelles technologies pour renseigner du statut azoté des raisins. Recherche de modèles de prédiction à l'aide du capteur multiplex. Colloque Mondial-viti, Bordeaux, 101-109.
- SOYER J.-P., MOLOT C., BERTRAND A., GAZEAU O., LOVELLE B. et DELAS, J., 1995. Influence de l'enherbement sur l'alimentation azotée de la vigne et sur la composition des moûts et des vins. *Œnologie* 95, 5e Symposium International Œnologie, Bordeaux, Ed. Lavoisier Tech et Doc, 81-84.
- SPRING J.-L., 1999. Indice chlorophyllien du feuillage et nutrition azotée du cépage Chasselas. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, 31, 141-145.
- TREGOAT O., VAN LEEUWEN C., CHONE X. et GAUDILLÈRE J.-P., 2002. Etude du régime hydrique et de la nutrition azotée de la vigne par des indicateurs physiologiques. Influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* L. cv Merlot, 2000, Bordeaux). *J. Int. Sci. Vigne Vin.* 36, n°3, 133-142.
- VAN LEEUWEN C., FRIANT Ph., SOYER J.-P., MOLOT C., CHONE X. et DUBOURDIEU D., 2000. L'intérêt du dosage de l'azote total et l'azote assimilable dans le moût comme indicateur de la nutrition azotée de la vigne. *J. Int. Sci. Vigne Vin.* 34, n°2, 75-82.