

L'INTÉRÊT DU DOSAGE DE L'AZOTE TOTAL ET DE L'AZOTE ASSIMILABLE DANS LE MOÛT COMME INDICATEUR DE LA NUTRITION AZOTÉE DE LA VIGNE

MEASUREMENT OF TOTAL NITROGEN AND ASSIMILABLE NITROGEN IN GRAPE JUICE TO ASSESS VINE NITROGEN STATUS

C. van LEEUWEN^{1,2*}, Ph. FRIANT¹, J.-P. SOYER³,
Ch. MOLOT³, X. CHONE² et D.DUBOURDIEU²

¹ENITA de Bordeaux, 1 Cours du Général de Gaulle, 33175 Gradignan cedex (France)

²Faculté d'Œnologie, Université Bordeaux 2, 351 Cours de la Libération,
33405 Talence cedex (France)

³INRA Agronomie, Domaine de la Grande Ferrade, 33140 Villenave d'Ornon (France)

Résumé : Dans un essai de fertilisation, les performances de cinq indicateurs de la nutrition azotée de la vigne ont été comparées : l'azote total du pétiole, la couleur du limbe, l'azote total du moût, l'azote assimilable du moût et l'azote ammoniacal du moût. Une amélioration du dosage de l'azote total dans le moût par une minéralisation à l'aide de micro-ondes est proposée. Les plus pertinents parmi les indicateurs testés permettent de différencier le niveau de l'alimentation en azote de la vigne en fonction du type de sol, en l'absence de toute fertilisation azotée. Enfin, il est rappelé qu'une faible alimentation en azote de la vigne peut être un facteur de qualité dans l'élaboration de raisins rouges.

Abstract : Five indicators of vine nitrogen status were compared for their accuracy to differentiate two levels of nitrogen fertilization (0 and 45 kg N / ha) : petiole total nitrogen content, leaf blade color intensity measured by a device called "N-tester", grape juice total nitrogen content, grape juice assimilable nitrogen content and grape juice ammonium content. Differences in must total nitrogen content and must assimilable nitrogen content were highly significant between fertilization levels. They can be considered as two powerful tools to assess vine nitrogen status. Levels of must total nitrogen content and must assimilable nitrogen content were highly correlated. Mineralizing must in order to measure its total nitrogen content is difficult, mainly because of the presence of large amounts of sugar. This operation can take more than 12 hours and it can fail because of caramelization and the appearance of foam. We propose mineralizing must by means of microwave. Complete mineralization was obtained in only one hour. No foam or caramelization was observed on any of the samples mineralized. Vine nitrogen uptake is likely to vary to a considerable extent with soil parameters, even if no nitrogen fertilization is applied. Figuring among those parameters are: soil organic matter content, organic matter C/N ratio and soil organic matter turnover. The latter depends mainly on soil temperature, soil aeration, soil pH and soil moisture content. Differences in vine nitrogen status depending on the soil type were clearly evidenced by measuring must total nitrogen and must assimilable nitrogen at ripeness. Limited nitrogen uptake, as a result of particular soil conditions, can limit vine vigor and be a quality enhancing factor in red grape production. This emphasizes the role of moderate environmental stress in the production of high quality potential grapes.

Mots clés : vigne, nutrition azotée, azote total, azote assimilable, moût, minéralisation.

INTRODUCTION

Plus que tout autre élément minéral que la vigne prélève dans le sol, l'azote intervient dans l'expression de la vigueur et du rendement (KLIEWER, 1971; SPAYD *et al.*, 1993). En fonction du niveau d'alimentation en azote de la vigne, la constitution du raisin et la qualité du vin peuvent être profondément modifiées (BELL *et al.*, 1979; DELAS *et al.*, 1991; SPAYD *et al.*, 1994; VAN LEEUWEN *et al.*, 1999). L'incidence

de l'azote sur le potentiel œnologique de la vendange est en partie due à des effets directs et en partie due à des effets indirects, liés à une modification du micro-climat dans la zone des grappes (SMART, 1991).

La plupart des publications concernant l'alimentation en azote de la vigne provient d'équipes travaillant dans les vignobles du nouveau monde (Californie, Washington State, Afrique du Sud, Australie). Ces études sont basées sur des essais de fertilisation, où dif-

férents 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 à l'expression végétative de la vigne dans les mécanismes de l'élaboration de la qualité est admis de longue date.

En étudiant l'incidence de l'enherbement permanent de la vigne sur son développement et sur la maturation du raisin, SOYER *et al.* (1996) ont montré que l'effet positif de cette technique d'entretien du sol sur le potentiel oenologique de raisins rouges pouvait être largement imputé à une limitation de l'alimentation en azote de la vigne. Les auteurs évoquent dans ce travail l'intérêt d'utiliser l'azote total du moût comme indicateur de l'alimentation azotée de la vigne.

Hormis une fertilisation azotée importante, ce qui est rare dans les vignobles de cru, l'essentiel de l'alimentation en azote de la vigne est fourni par le sol. L'azote minéral est très faiblement retenu sur le complexe adsorbant et la vigne se nourrit d'azote libéré par minéralisation de la matière organique du sol. La disponibilité de l'azote dépend ainsi fortement du type de sol. Les principaux paramètres du sol qui régissent les quantités d'azote minéralisées sont :

- la quantité de matière organique stockée dans le sol ;
- le rapport C/N de la matière organique, qui indique sa richesse en azote et sa vitesse de minéralisation ;
- la température du sol ;
- l'aération du sol ;
- le pH du sol ;
- la teneur en eau du sol ;
- la microflore du sol.

On peut être étonné que très peu de travaux aient été consacrés à l'étude du niveau d'alimentation en azote de la vigne, et à son incidence sur le potentiel oenologique du raisin, en fonction du type de sol.

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 oeuvre. Nous comparons ici l'aptitude de cinq d'entre eux à différencier deux niveaux de fertilisation azotée de la vigne : l'azote total des pétioles à la véraison, la couleur du limbe et différentes mesures de l'azote des moûts à maturité.

MATÉRIELS ET METHODES

I - PARCELLES EXPÉRIMENTALES

La pertinence de cinq outils de diagnostic de l'alimentation en azote de la vigne a été testée, en 1999, sur un essai de fertilisation, où un apport d'azote minéral de 45 unités au moment de la floraison a été comparé avec un témoin n'ayant par reçu d'apport d'azote minéral. La parcelle d'essai est située à Saint-Emilion (Gironde, France) ; elle fut plantée en 1989 avec du Merlot noir greffé sur Riparia Gloire de Montpellier à une densité de 6000 souches par hectare. Chaque traitement a été répété cinq fois.

L'alimentation en azote de la vigne en fonction du type de sol a été étudiée, en 1999, sur trois sols de la région de Saint-Émilion :

- un sol graveleux, comportant plus de 50 p. cent d'éléments grossiers dans chaque horizon ("G") ;
- un sol à sous-sol très argileux avec plus de 50 p. cent d'argile au-delà de 50 cm ("A") ;
- un sol à sableux, comportant une nappe d'eau à portée des racines ("S").

Sur chaque sol, trois fois 100 cepes avaient été sur-greffés en 1996 sur des vignes adultes avec respectivement du Merlot noir (cl 181), du Cabernet franc (cl 326) et du Cabernet-Sauvignon (cl 191). La densité de plantation est de 6000 souches par hectare et les porte-greffes sont issus d'un croisement Riparia x Rupestris (3309C sur "G" et "A", 101-14Mgt sur "S").

II - OUTILS DE DIAGNOSTIC DE L'ALIMENTATION EN AZOTE

Sur l'essai de fertilisation, cinq indicateurs de l'alimentation en azote ont été comparés.

1) La teneur en azote du pétiole

Sur chaque répétition, 100 pétioles ont été prélevés au hasard sur des feuilles opposées à une grappe. Les pétioles ont été séchés et broyés. La poudre ainsi obtenue a été minéralisée par attaque Kjeldahl. Le cation ammonium formé a été dosé par spectrophotométrie sur un auto analyseur à flux continu.

2) La coloration du limbe

L'intensité de la coloration verte du limbe des feuilles a été mesurée à l'aide d'un appareil appelé "N-tester". Le N-tester a été mis au point une société commercialisant des engrais azotés pour ajuster la fertilisation du blé et du riz en cours de saison (Norsk-Hydro, Nanterre, France). Après avoir pincé trente feuilles avec

le N-tester, l'appareil affiche une valeur, sans unités, qui est d'autant plus élevée que la coloration des feuilles est foncée. Des valeurs élevées indiquent donc une vigne bien alimentée en azote, tandis que des valeurs faibles sont obtenues sur des vignes carencées en azote. Des traitements cupriques foliaires ainsi que des chloroses de différentes origines sont cependant susceptibles d'interférer avec les mesures. Le N-tester n'est pas commercialisé.

3) La teneur en azote du moût.

Nous avons testé trois formes d'azote dans le moût comme indicateur de l'alimentation en azote de la vigne : l'azote total, l'azote assimilable par les levures et l'azote ammoniacal.

Pour doser l'azote total du moût, toutes les formes d'azote du moût (acides aminés, petits peptides, protéines) doivent être transformées en azote ammoniacal. Cette transformation est obtenue par une minéralisation à chaud en milieu fortement acide (attaque Kjeldahl). Le cation NH_4^+ est ensuite transformé en NH_3 par ajout d'un excès de NaOH 10N. Le NH_3 est dosé par titration après entraînement à la vapeur. Il peut également être dosé par spectrophotométrie.

L'azote assimilable a été dosé par la méthode au formol, appelée également méthode de Sørensen (MASNEUF et DUBOURDIEU, 1999). Il s'agit d'un dosage dont l'intérêt œnologique a été souligné par plusieurs auteurs, pour prévoir la fermentescibilité des moûts. La fonction amine des acides aminés est bloquée par addition massive de méthanal. Le dérivé méthylénique formé contient le carboxyle des acides aminés, mais n'en possède plus le groupement basique. De ce fait, la fonction acide fortement dissociée est titrable par la soude. Le cation ammonium est également bloqué par le méthanal qui laisse titrer son acide. 50 ml de moût sont ramenés à pH 8,5 avec de la soude N. Dans le cas des moûts sulfités, l'ajout de quelques gouttes d'eau oxygénée à 30 p. cent permet d'éviter une erreur par défaut liée à la présence de SO_2 . 20 ml de méthanal préalablement amené à pH 8,5 sont rajoutés au moût. Après quelques minutes de repos, le pH est ramené à 8,5 avec de la soude NaOH 0,1N, soit n ml versés. L'azote assimilable exprimé en mg N/l est égal au volume de NaOH versé (exprimé en ml) multiplié par 28.

Le cation ammonium a été dosé dans le moût par réaction enzymatique à l'aide d'un kit de marque BOEHRINGER (Mannheim, Allemagne).

RÉSULTATS

I - DOSAGE DE L'AZOTE TOTAL DU MOÛT PAR MINÉRALISATION À L'AIDE DE MICRO-ONDES

L'azote total du moût est peu dosé, malgré l'intérêt œnologique et viticole que présente ce paramètre. En effet, la minéralisation du moût est une opération délicate à cause de la présence importante de sucres. Elle peut facilement échouer à cause de réactions de caramélisation ou à cause de formation massive de mousse. Sur résistance électrique ou sur bec bunsen la réaction est longue et peut prendre plus de 12 heures. Dans ce travail, une nouvelle technique de minéralisation du moût est proposée. Elle fait appel à un appareil appelé « MAXIDIGEST MX 4350 » (Prolabo, Fontenay-sous-bois, France) qui utilise des micro-ondes comme source d'énergie. Elle permet d'effectuer la réaction en seulement une heure, en l'absence de toute caramélisation ou formation de mousse.

Le MAXIDIGEST MX 4350 comporte quatre matras, dans lesquels sont introduits 5 ml de moût à analyser, 15 ml d'acide sulfurique 36N et quelques billes de verre. Les quatre matras sont placés dans quatre gaines qui comportent chacune une source de chauffage aux micro-ondes. Un tuyau d'arrivée de H_2O_2 , qui est utilisée dans la réaction comme catalyseur, est fixé au-dessus de chaque matras. Le MAXIDIGEST exécute ensuite un programme composé d'une alternance de phases de chauffe (15 minutes) et d'ajout de catalyseur (5 minutes). En une heure la réaction est totale, comme en témoigne le minéralisat incolore. L'azote ammoniacal libéré est ensuite dosé par titrimétrie après distillation.

Afin de tester la validité de ce nouveau procédé de minéralisation du moût, il a été, dans un premier temps, appliqué à une solution standard, contenant 2 800 mg/l de lysine. La répétabilité de l'ensemble du dosage (minéralisation à l'aide du MAXIDIGEST et dosage du cation ammonium par titrimétrie après distillation) est excellente, comme en témoigne le faible coefficient de variation ($\text{cv} = 1,17$ p. cent, tableau I).

Ensuite, nous avons répété neuf dosages sur le même moût (tableau II). Sur une moyenne de 589,9 mg/l d'azote total, l'écart type est de 11,3 et le coefficient de variation 1,92 p. cent.

II - COMPARAISON DE CINQ INDICATEURS DE L'ALIMENTATION AZOTÉE DE LA VIGNE.

Cinq indicateurs de la nutrition azotée de la vigne ont été comparés pour leur pertinence à distinguer l'effet sur la vigne de deux niveaux de fertilisation azotée (0 et 45 unités/ha). La meilleure différenciation des

deux traitements a été obtenue avec le dosage de l'azote total du moût à maturité ($\alpha = 0,0001$, tableau III). L'azote assimilable et l'azote ammoniacal ont également permis de montrer une différence hautement significative entre les deux traitements ($\alpha = 0,001$).

Si le N-tester s'est montré un peu moins performant, il a néanmoins permis de distinguer les deux niveaux

TABLEAU II

Dosage de l'azote total dans un moût standard par dosage du cation ammonium après minéralisation dans un MAXIDIGEST MX4350 (minéralisation micro-ondes) : moyenne, écart-type et coefficient de variation (n = 9)

Table II - Measurement of total nitrogen in a standard grape juice by dosing NH₄⁺ after mineralization by MAXIDIGEST MX4350 (mineralization by microwave): average, standard error and variation coefficient (n = 9)

	azote total (mg/l)
moyenne (9 répétitions)	590
écart type	11,3
coefficient de variation %	1,92

d'alimentation en azote au seuil de $\alpha = 0,01$. Contrairement aux dosages des différentes formes d'azote du moût, cet appareil permet d'effectuer un diagnostic précoce. En outre, les mesures sont non destructives et ne nécessitent pas d'analyses au laboratoire. Malheureusement, le N-tester n'est actuellement pas commercialisé.

Le dosage de l'azote total du pétiole, qui est en France fréquemment utilisé pour le diagnostic de nutrition azotée de la vigne, n'est pas particulièrement performant (différence entre les deux traitements au seuil de $\alpha = 0,05$ seulement). En effet, parmi les cinq indicateurs testés, l'azote total du pétiole est le moins performant. Il est d'ailleurs signalé dans la littérature que de meilleurs résultats sont obtenus avec le dosage de l'azote total du limbe (KLEWER, 1991).

III - L'UTILISATION D'INDICATEURS DE L'ALIMENTATION AZOTÉE DE LA VIGNE DANS DES ÉTUDES DE TERROIR.

En l'absence de fertilisation azotée minérale, ce qui est souvent le cas en vignoble de cru, l'alimentation en azote de la vigne dépend en grande partie de paramètres

TABLEAU I

Dosage de l'azote total contenu dans une solution de 2 800 mg/l de lysine par dosage du cation ammonium après minéralisation dans un MAXIDIGEST MX4350 (minéralisation micro-ondes) : pourcentage de recouvrement et coefficient de variation (n = 4)

Table I - Measurement of total nitrogen in a standard lysine solution (2800 mg/l) by dosing NH₄⁺ after mineralization by MAXIDIGEST MX4350 (mineralization by microwave) : recovery and variation coefficient (n = 4)

	lysine dans l'échantillon (mg/l)	lysine mesurée (mg/l)	pourcentage de lysine mesuré
Moyenne (4 répétitions)	2800	2762	98,6
Écart type		32,4	1,16
coefficient de variation (%)		1,17	1,17

TABLEAU III

Comparaison de cinq indicateurs de l'alimentation en azote de la vigne pour leur capacité à distinguer deux niveaux de fertilisation (0 et 45 kg/ha) : trois formes d'azote du moût à maturité, intensité de la coloration verte du limbe (N-tester) et azote total du pétiole à la véraison

Table III - Comparison of five tools for assessing vine nitrogen status and their capacity to differentiate two levels of nitrogen fertilization (0 and 45 kg/ha) : three forms of must nitrogen content at ripeness, leaf color intensity measured by N-tester and petiole total nitrogen content at veraison

		teneur en azote du moût (14/9/99)			N-Tester		analyse pétiole (véraison) N total %
		N total (mg N/l)	N assimilable (mg N/l)	N NH ₄ ⁺ (mg NH ₃ /l)	30/07/99	17/09/99	
0 kg N/ha	moyenne (n=5)	436	194	33	503	494	0,52
	écart type	18,09	9,13	4,18	32,7	39,2	0,08
45 kg N/ha	moyenne (n=5)	527	230	47	577	577	0,66
	écart type	20,95	9,83	2,77	23,7	31,0	0,08
test de Student :							
différence significative à α :		0,0001	0,001	0,001	0,01	0,01	0,05

liés au sol. On peut donc considérer que, dans ces conditions, l'absorption de l'azote par la vigne est une des composantes de l'effet terroir.

Dans une étude de terroir réalisée à Saint-Emilion (Gironde, France), l'azote total et l'azote assimilable du moût ont été dosés de la véraison à la maturité (figure 1, exemple du cépage Merlot). Pour chacune des dates, ces deux formes d'azote ont permis de différencier l'offre en azote du sol, qui était forte sur le sol graveleux, faible sur le sol argileux et intermédiaire sur le sol sableux (aucune fertilisation minérale n'avait été appliquée à ces parcelles).

Des résultats similaires ont été trouvés pour le Cabernet franc et le Cabernet-Sauvignon, même si le niveau absolu de la teneur en azote du moût variait en fonction du cépage (Cabernet-Sauvignon > Merlot > Cabernet franc) et de la date de prélèvement. Il est également intéressant de noter que la proportion d'azote assimilable par rapport à l'azote total semble dépendre du cépage (tableau IV).

Pour un cépage donné, il existe une excellente corrélation entre la teneur du moût en azote total et en azote assimilable (figure 2, exemple du cépage Merlot). Cette corrélation est un peu moins bonne pour l'ensemble des trois cépages étudiés, mais reste convenable (figure 3).

L'azote total du moût est un indicateur particulièrement performant pour l'évaluation de la nutrition azotée de la vigne en fonction du type de sol. Le dosage de l'azote assimilable, plus facilement réalisable, est également performant.

IV - IMPACT DE LA FOURNITURE EN AZOTE DU SOL SUR LE COMPORTEMENT DE LA VIGNE ET LA CONSTITUTION DU RAISIN

Quelques résultats tirés d'une étude terroir réalisée à Saint-Julien (Gironde, France) en 1997 permettent d'apprécier l'importance de l'alimentation en azote de la vigne, induite par des particularités du sol, sur le comportement de la vigne et le potentiel oenologique

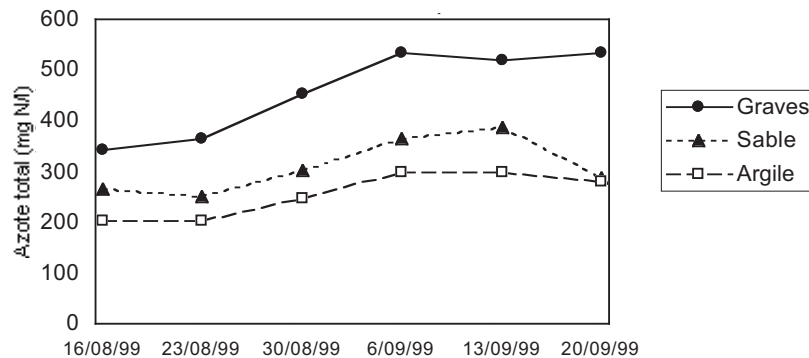


Fig. 1a - Évolution de l'azote total du moût sur trois sols de la région de Saint-Émilion, en 1999, de la véraison à la maturité (cépage Merlot)

Fig. 1a - Evolution of total nitrogen in grape juice on three soils of the Saint-Emilion region, in 1999, from veraison until ripeness (Merlot)

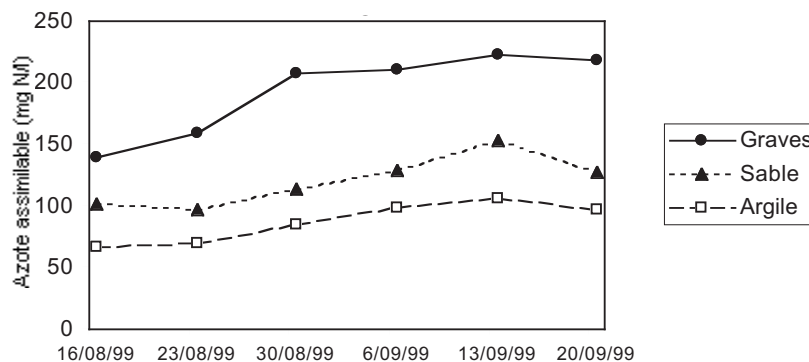


Fig. 1b - Évolution de l'azote assimilable du moût sur trois sols de la région de Saint-Émilion, en 1999, de la véraison à la maturité (cépage Merlot)

Fig. 1b - Evolution of assimilable nitrogen in grape juice on three soils of the Saint-Emilion region, in 1999, from veraison until ripeness (Merlot)

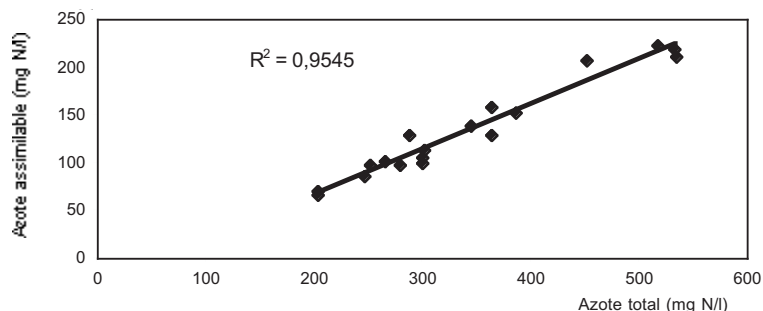


Fig. 2 - Corrélation entre l'azote total du moût et l'azote assimilable du moût (cépage Merlot, Saint-Emilion, 1999)

Fig. 2 - Correlation between must total nitrogen content and must assimilable nitrogen content (Merlot, Saint-Emilion, 1999)

TABLEAU IV
Rapport azote assimilable / azote total
et azote ammoniacal / azote total
pour trois cépages rouges à Saint-émilion (1999)

Table IV - Ratio of assimilable N / total N
and NH₄⁺ N / total N for three red grapevine
varieties in Saint-Emilion (1999)

cépage	N assimilable	N NH ₄ ⁺
	en % de l'azote total	
Merlot	38 ± 4	10 ± 4
Cabernet franc	40 ± 8	11 ± 6
Cabernet-Sauvignon	53 ± 6	23 ± 7
moyenne	44	15

du raisin (VAN LEEUWEN *et al.*, 1999). Les parcelles étudiées sont plantées avec du Cabernet-Sauvignon, greffé sur Riparia Gloire de Montpellier et situées dans une même propriété. Aucune des parcelles n'a reçu une fertilisation minérale azotée pendant l'année de l'étude. En l'absence de contrainte hydrique (potentiels foliaires faiblement négatifs), le comportement des parcelles peut surtout être expliqué par des différences de l'alimentation en azote, induites par des particularités du sol (tableau V).

Le sol de la parcelle 4H (un PLANOSOL sédimorphe profond) est très pauvre en matière organique. Le niveau de l'alimentation en azote est faible comme en témoigne la teneur en azote assimilable du moût. Dans ces conditions, la vigueur de la vigne est faible et le rendement est modéré (770 g de raisins par souche, environ 7 tonnes par hectare). En revanche, la constitution du raisin est particulièrement intéressante, avec de petites baies sucrées, riches en anthocyanes.

Le sol de la parcelle 5P est un PODZOSOL anthropisé, riche en matière organique, dont les caractéristiques ont été profondément modifiées à la suite de sa mise en culture. Le redressement du pH a favorisé l'activité minéralisatrice de la microflore du sol (malgré un rapport C/N toujours élevé : 25). Par conséquent, la disponibilité de l'azote pour la vigne est excellente,

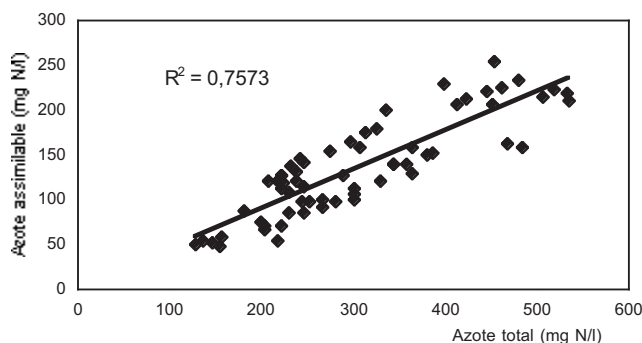


Fig. 3 - Corrélation entre l'azote total du moût et l'azote assimilable du moût (données Saint-Émilion, 1999, cépages Merlot, Cabernet franc et Cabernet-Sauvignon)

Fig. 3 - Correlation between must total nitrogen content and must assimilable nitrogen content (data from three cultivars: Merlot, Cabernet franc, Cabernet-Sauvignon, Saint-Emilion, 1999)

comme en témoigne la teneur en azote assimilable du moût. En l'absence d'un facteur limitant à son développement (pas de contrainte hydrique, alimentation en azote non limitante) la vigne a été vigoureuse. Elle a produit des baies volumineuses, peu sucrées et pauvres en composés phénoliques.

La parcelle 3A est située sur un PLANOSOL sédimorphe (texture gravelo-sableuse en surface, sous-sol très argileux). La disponibilité d'azote dans ce sol a été moyennement faible en 1997. Dans ces conditions, la vigueur de la vigne a été modérée et les raisins présentaient un bon potentiel oenologique, sans toutefois atteindre la richesse observée sur le sol 4H.

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'expression de la vigueur et le potentiel oenologique des raisins sont fortement influencés par l'alimentation en azote de la vigne. Celle-ci dépend, en plus d'une éventuelle fertilisation azotée (organique ou minérale), de la minéralisation de l'humus du sol. La vitesse de cette minéralisation est influencée par de nombreuses

caractéristiques du sol et du pédoclimat et peut donc être considérée comme une composante de l'effet terroir. Dans la conduite raisonnée du vignoble, la connaissance du niveau de satisfaction des besoins en azote de la vigne de chaque parcelle constitue un élément essentiel. Elle nécessite de disposer d'un indicateur de la nutrition azotée pertinent et facile à mettre en oeuvre.

L'azote total et l'azote assimilable du moût sont des outils particulièrement performants pour le diagnostic de l'alimentation en azote de la vigne. Parmi ces deux indicateurs, l'azote assimilable présente l'intérêt de pouvoir être dosé en routine avec un équipement minimum (une burette et un pH mètre). Les mesures d'azote assimilable ont jusqu'ici été utilisées pour estimer si les besoins en azote des levures sont couverts dans le moût. Un même dosage peut donc fournir deux informations, l'une d'ordre œnologique, l'autre d'ordre viticole.

L'interprétation des teneurs en azote assimilable en relation avec l'alimentation en azote de la vigne nécessite l'établissement de valeurs seuils. Comme la teneur en azote total du moût, mais aussi la proportion d'azote assimilable par rapport à l'azote total, dépendent du cépage, ces seuils doivent probablement être établis cépage par cépage. De plus, leur interprétation sera différente dans le cas de l'élaboration de vins blancs et de vins rouges. Pour obtenir des raisins blancs à fort poten-

tiel œnologique, l'alimentation en azote de la vigne doit être modérée. Si une trop forte alimentation en azote peut engendrer une vigueur excessive et accroître la sensibilité à Botrytis, il a également été montré qu'une carence en azote est préjudiciable à la composition aromatique du raisin. Une relation a notamment été mise en évidence entre la composition azotée du moût et la formation de 2-aminoacétophénone, une substance qui est associée au vieillissement défectueux des vins blancs (RAPP *et al.*, 1995). En ce qui concerne les cépages destinés à l'élaboration de vin rouge, une faible alimentation en azote est un facteur favorable à la richesse en composés phénoliques, notamment en l'absence de contrainte hydrique. La limite inférieure de l'alimentation en azote semble, dans ce cas, être atteinte seulement lorsque la vigueur et le niveau de productivité de la vigne descendent en dessous du seuil souhaité par le viticulteur (et qui est variable en fonction de ses objectifs).

Sur 32 échantillons de moût de raisins blancs de la région de Bordeaux analysés (millésimes 1996-1999), MASNEUF *et al.* (2000) ont trouvé entre 36 et 270 mg/l d'azote assimilable, avec une moyenne de 182 mg/l. Sur 55 échantillons de moût de raisins rouges, les mêmes auteurs ont trouvé une valeur moyenne de 157 mg/l (46 à 354 mg/l). Ils situent la limite inférieure pour une fermentiscibilité correcte du moût à 130 mg/l.

TABLEAU V

Effet de l'alimentation en azote, mesurée par le dosage de l'azote assimilable du moût, sur la vigueur, le rendement, la constitution du raisin et la qualité du vin (Saint-Julien, 1997)

Table V - Effects of vine nitrogen status as measured by must assimilable nitrogen content on vine vigor, yield, berry constitution and wine quality (Saint-Julien, 1997)

	4H	3A	5P
Azote total (mg/l)	161	229	380
Azote assimilable (mg/l)	95	154	218
Potentiel foliaire de base minimum de la saison (Mpa)	-0,23	-0,20	-0,16
différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	ab	b
Surface foliaire (m ² /cep)	0,80	0,96	1,46
Différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	a	b
Poids des bois de taille (kg par cep)	0,19	0,31	0,43
Différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	b	c
Rendement (kg par cep)	0,77	1,09	1,10
Différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	b	b
Poids d'une baie (g)	1,10	1,34	1,46
Teneur en sucres réducteurs (g/l)	214	198	185
Acidité totale (meq/l)	72	84	85
Vitesse de maturation (de la pulpe) : k	0,80	0,66	0,56
Teneur en acide malique (meq/l)	25	27	31
Teneur en anthocyanes des baies (mg/l)	1231	823	748
Dégustation (classement)	1	2	3
Différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	a	b

Le poids des baies et la constitution du raisin sont mesurés le jour de la vendange: 27/09/97

S'il est trop tôt de dégager de ces valeurs des seuils précis, il semble déjà possible d'avancer qu'à partir de 180 mg/l d'azote assimilable les besoins en azote de la vigne en viticulture de qualité sont largement satisfaits et qu'il est dans ce cas souhaitable de suspendre tout apport d'azote sur la parcelle pour l'année suivante. Dans certaines situations propices à la production de raisins rouge de qualité, la teneur en azote assimilable du moût peut être inférieure à 130 mg/l, sans que la vigueur et la productivité soient jugées insuffisantes par le viticulteur (cas de la parcelle 4H, tableau V). Plutôt que d'apporter de l'azote à la vigne, il est, dans ce cas, préférable de compléter le moût en azote.

En attendant l'établissement de seuils précis pour chaque cépage, le dosage systématique de l'azote assimilable sur les derniers prélèvements avant vendange permet de mieux connaître le niveau de nutrition azotée de la vigne. Couplé à des observations concernant le rendement, la vigueur de la vigne et la coloration du feuillage il doit permettre de raisonner plus finement les apports d'azote, sous forme minérale ou organique, parcelle par parcelle. De plus, en viticulture de cru, l'objectif ne doit pas être la satisfaction des besoins de la vigne à tout prix, mais la production de la meilleure qualité possible du raisin, ce qui peut impliquer le maintien d'un facteur limitant l'expression végétative de la vigne.

Remerciements : Nous remercions Messieurs Enzo Ronco de la Faculté de Pharmacie de l'Université de Turin et Cyrill Jourdan de la Faculté d'Œnologie de Bordeaux pour leur participation à ce travail. Nous remercions également Monsieur Guy Gilleron de la Société Norsk Hydro pour le prêt du N-Tester et Monsieur Pierre Lurton, gérant du Château Cheval Blanc pour la mise à disposition des parcelles d'essai.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BELL A., OUGH C. and KLIEWER W., 1979. Effects on must and wine composition, rates of fermentation, and wine quality of nitrogen fertilization on *Vitis vinifera* var. Thompson seedless grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, **30** (2) 124-129.
- DELAS J., MOLOT C and SOYER J.-P., 1991. Effects of nitrogen fertilization and grafting on the yield and quality of the crop of *Vitis vinifera* cv. Merlot. In: *Proceedings of the Int. Symp. on Nitrogen in Grapes and Wines*. J. Rantz (Ed.). Am. Soc. Enol. Vitic., Davis 242-248.
- KLIEWER W. 1991. Methods for determining the nitrogen status of vineyards. In: *Proceedings of the Int. Symp. on Nitrogen in Grapes and Wines*. J. Rantz (Ed.) Am. Soc. Enol. Vitic., Davis 133-147.
- 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.
- MASNEUF I., MURAT M.-L., CHONE X. et DUBOURDIEU D., 2000. Dosage systématique de l'azote assimilable: détecter les carences au chai. *Viti*, n°249, février, 19-22.
- RAPP A., VERSINI G. und ENGEL L., 1995. Nachweis und bestimmung von 2-Aminoacetophenon in vergorenen Modellösungen. *Vitis*, **34**, n°3, 193-194.
- SMART R.E., 1991. Canopy microclimate implications for nitrogen effects on yield and quality. *Int. Symp. on Nitrogen in Grapes and Wine*. Am. Soc. Enol. Vitic., june 1991, 90-101.
- SOYER J.-P., MOLOT C., BERTRAND A., GAZEAU O., LOVELLE B. et DELAS J., 1996. Influence de l'enherbement sur l'alimentation azotée de la vigne et sur la composition des moûts et des vins. In: "*Œnologie 95*", Coordonnateur: A. Lonvaud-Funel, Ed. Lavoisier Tec et Doc., Paris, 81-84.
- SPAYD S., WAMPLE R., STEVENS R., EVANS R. and KAWAKAMI A., 1993. Nitrogen fertilization of white Riesling grapes in Washington. Effects on petiole nutrient concentration, yield, yield components, and vegetative growth. *Am. J. Enol. Vitic.*, **44** 378-386.
- SPAYD S., WAMPLE R., EVANS R., STEVENS R., SEYMOUR B. and NAGEL C., 1994. Nitrogen fertilization of white Riesling grapes in Washington. Must and wine composition. *Am. J. Enol. Vitic.*, **45**, (1) 34-41.
- VAN LEEUWEN C., CHONÉ X., CHERY Ph., MOLOT C. et SOYER J.-P., 1999. Étude de quatre sols viticoles de l'AOC Saint-Julien (Haut-Médoc, Bordeaux); incidences du régime hydrique et de l'alimentation en azote de la vigne sur la maturation du raisin et la qualité du vin (*Vitis vinifera* var. Cabernet-Sauvignon, 1997). In: "*Œnologie 99*", Coordonnateur: A. Lonvaud-Funel, Ed. Lavoisier Tec et Doc, Paris.

Reçu le 20 avril 2000
accepté pour publication le 10 juin 2000
