

**RELATION ENTRE LA FERMENTESCIBILITÉ DES
MOÛTS ET LA TENEUR EN COMPOSÉS AZOTÉS.
INFLUENCE D'UNE FUMURE AZOTÉE
SUR LA NATURE ET LA CONCENTRATION DES
PRINCIPAUX ACIDES AMINÉS DES MOÛTS D'UNE
VIGNE DE *VITIS VINIFERA* L. var. MUSCADELLE AVEC
ENHERBEMENT PERMANENT.**

**RELATION BETWEEN KINETIC OF ALCOHOLIC FERMENTATION
AND MUST NITROGEN CONTENT. INFLUENCE OF NITROGEN
FERTILIZATION ON *VITIS VINIFERA* cv MUSCADELLE WITH
PERMANENT GRASS COVER. NATURE AND CONCENTRATION
LEVELS OF SOME AMINO ACIDS OF MUSTS.**

Corine LARCHEVÊQUE*¹, A. CASANOVA* et V. DUPUCH**

*Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux,
Unité de Recherche « Chimie Analytique », B.P 201, 33175 Gradignan Cedex (France).

**Chambre d'Agriculture de la Gironde, Service Vigne, 39, rue Michel Montaigne,
33290 Blanquefort (France).

Résumé : Deux niveaux de fumure azotée sont appliqués sur une parcelle enherbée pour tenter d'améliorer la fermentescibilité des moûts. Le cépage est la Muscadelle greffée sur le porte-greffe 3309 C. Les teneurs en composés azotés, et plus particulièrement celles en acides aminés, sont déterminées pour chaque moût dont la cinétique fermentaire est suivie. On analyse de manière identique les vins obtenus. La nature et la concentration des acides aminés des moûts et des vins sont comparées avec celles des modalités enherbée (sans fumure azotée) et désherbée. On détermine l'influence de l'herbe sur la composition en acides aminés et la durée des fermentations alcooliques. Une différenciation des modalités est ainsi établie.

Abstract : An experiment concerning the introduction of nitrogen fertilization on permanent grass cover was undertaken in 1995. This was done in order to determine both the role and the influence of nitrogen on the fermentability of must. Located in the Sainte-Foy La Grande area, the plot studied has a deep silty soil. The cultivar Muscadelle was grafted on the 3309 C rootstock. Four tests with several N-fertilizations were compared : 1 (no-tillage and 0 kg N/ha/year), 2 (permanent grass cover without N-fertilization), 3 (permanent grass cover and 30 kg N/ha/year) and 4 (permanent grass cover and 60 kg N/ha/year). Nitrogen was added at springtime, on the total interrow area as well as on the narrow strip around the vines. The grass cover (with or without N-fertilization) had a great effect on yield : it decreased the latter by about 38 percent compared to the no-tillage trial. Moreover, the total acidity values were lower for the musts in trials 2,3 and 4 than in the control 1. Inversely, the initial sugar values were greater in the grass-cover trials. The duration of alcoholic fermentation was very different with the no-tillage test and the others : 17 days were necessary for the first, and 42 to 50 for the other musts. This parameter was quite closely correlated to the content of nitrogen composites in the must and more particularly to amino acids. The global amino acid contents of must and wine were higher in test 1 than in the others. It is noteworthy that numerous kinds of amino acids were present but it seems likely that some of them were very important by virtue of their nature or their concentration levels. Among the principal amino acids, proline represented at least 20 percent of the global amino acids content for musts 2 and 4, and 14 to 19 percent for musts 3 and 1. Arginine was present only in the must of the grass-cover trials. Proline, arginine, alanine, asparagine/glutamine and aspartic acid represented about 50 to 60 percent of the global amino acids content of the musts. A statistical analysis of the four musts and wines showed a clear differentiation between the no-tillage trial (1) and the others. However, there seemed to be some composition similarities between musts 1 and 4, but the fermentation kinetic was different probably because of the lack of, or the lower concentration of, some of amino acids in case 4.

Mots clés : fumure azotée, enherbement permanent, cinétiques de fermentation, acides aminés.

Key words : nitrogen fertilization, permanent grass cover, fermentation kinetics, amino acids.

INTRODUCTION

L'enherbement permanent est présenté depuis quelques années comme l'un des moyens de substitution aux façons culturales traditionnelles : amélioration de la structure du sol, lutte contre l'érosion, maîtrise de la vigueur de la vigne... (MORLAT, 1981 ; CARSOULLE, 1986 ; MORLAT *et al.*, 1993). La réponse de la vigne, pour des paramètres tels que la vigueur et le rendement, est en relation directe avec le niveau de concurrence exercé par l'enherbement (RIOU, 1997). MORLAT (1986) précise que le rendement peut être fortement diminué tandis que la qualité de la vendange dépend du niveau de concurrence établi, principalement vis-à-vis de l'alimentation azotée de la plante (MAIGRE et MURISIER, 1991b). Une fumure azotée adaptée permet d'atténuer ce phénomène par une meilleure disponibilité en azote pour la vigne (MAIGRE et MURISIER, 1992a).

Une précédente étude nous a permis d'observer les variations qualitatives et quantitatives des acides aminés des moûts et des vins issus d'une vigne de Merlot avec enherbement permanent recevant plusieurs niveaux de fumure azotée. De profondes modifications de la composition azotée des moûts, concernant notamment les acides aminés, sont induites lorsque la concurrence exercée par l'herbe est très forte (LARCHEVÈQUE *et al.*, 1998). Les fermentations alcooliques sont anormalement ralenties et on constate alors une altération de la qualité des vins obtenus (MAIGRE *et al.*, 1995), avec apparition de caractères tanniques et d'une dénaturation de la typicité du cépage (DUPUCH, 1997). Ce phénomène, observé parfois sur les moûts de cépages rouges, concerne davantage les vinifications en blanc (OUGH *et al.*, 1968 ; BELL *et al.*, 1979).

Cette expérimentation, effectuée en 1995, a deux objectifs :

- déterminer l'effet de l'enherbement, par rapport à un désherbage classique, sur les cinétiques fermentaires,

- évaluer l'opportunité d'un apport d'azote minéral sur une parcelle enherbée afin d'atténuer les effets dépressifs sur la vigne et de diminuer la durée des fermentations alcooliques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

I - DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

La parcelle étudiée est située dans la région de Sainte-Foy-la-Grande (France). Le sol est profond, d'une texture limoneuse. La vigne a été plantée en 1989. Le cépage est la Muscadelle greffée sur le porte-greffe 3309 C. La densité de plantation est de 3 300 pieds par hectare. L'enherbement permanent à base de ray-grass anglais et de fétuque rouge a été mis en place en 1991, sur tous les interlignes, pour mieux maîtriser la vigueur de la vigne.

Le dispositif expérimental comprend 2 rangs de vigne de 110 souches chacun (1 souche sur 5 est retenue pour l'essai), sur lesquels se répartissent les 4 modalités étudiées :

- modalité 1, témoin : désherbage (interligne et cavaillon),

- modalité 2 : enherbement, sans apport de fumure azotée, désherbage sous le cavaillon,

- modalité 3 : enherbement + 30 unités d'azote, désherbage sous le cavaillon,

- modalité 4 : enherbement + 60 unités d'azote, désherbage sous le cavaillon.

L'azote est apporté au sol sous forme d'engrais ammoniac-nitrique à 33 p. cent, au débourrement (stade C de Baggioolini). L'épandage est manuel et couvre toute la largeur du rang (interligne et cavaillon).

La comparaison des modalités 1 et 2 permettra de préciser l'effet de l'enherbement sur la composition azotée des moûts.

Les deux dernières modalités ont pour objectif d'améliorer la richesse azotée des moûts (à des degrés divers) en vue d'obtenir une cinétique fermentaire se rapprochant de celle du témoin désherbé.

II - DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE DE VINIFICATION

Les traitements appliqués aux différents lots sont identiques d'une modalité à l'autre.

La récolte est manuelle. Suivent l'éraflage, le foulage et une macération pré-fermentaire d'une heure.

On procède ensuite au pressurage (pneumatique), puis à un débouillage à 5 °C. La turbidité recherchée est de 180 NTU (à plus ou moins 10 NTU) pour ne pas affecter la fermentescibilité du moût en l'appauvrissant en éléments indispensables à la levure, en particulier les lipides (LARUE *et al.*, 1989), ou par une élimina-

tion excessive des bourbes. Ces dernières fixent une partie des acides gras à courte chaîne, considérés comme des inhibiteurs de l'activité fermentaire (LARUE *et al.*, 1982 ; GENEIX *et al.*, 1983). On note la prise de densité et on effectue le dosage de l'acidité totale. Le levurage est systématique (souches VL1 à 20 g/hl). Il est réalisé lorsque la température du moût est, après le débouillage, au plus inférieure de 7 °C à celle du levain.

Les lots sont chaptalisés en fonction de leur teneur initiale en sucre : le titre alcoométrique volumique probable (TAVP) de chaque modalité est ajusté à 12,5 p. cent vol. Des échantillons de moûts sont prélevés et analysés. La fermentation alcoolique se déroule à la température de 20°C.

III - ANALYSES DES MOÛTS ET DES VINS

L'acidité totale est déterminée sur le moût de chacune des modalités.

Les analyses d'azote ammoniacal par la méthode de Kjeldahl et de divers acides aminés par C.L.H.P. après dérivation au FMOC (9-Fluorénylméthyl chloroformate) ont été réalisées sur les moûts et les vins. Le dosage de cinq cations (calcium, magnésium, potassium, cuivre, fer) par spectrophotométrie de flamme a été effectué sur les moûts.

RÉSULTATS - DISCUSSION

Pour l'année 1995, l'état sanitaire de la vendange (apprécié visuellement) a été moyen pour les souches désherbées et très bon pour les souches enherbées (avec ou sans fumure azotée). Cela est en accord avec les observations de nombreux auteurs (BECKER, 1986 ; MORLAT, 1986 ; MURISIER et CALAME, 1987 ; MAIGRE et MURISIER, 1991b).

Les rendements obtenus dans le cas des souches désherbées sont nettement supérieurs (4,99 kg de raisin par souche en moyenne) à ceux des autres modalités (3,06 kg de raisin par souche en moyenne). RADULESCU et CATANESCU (1991) signalent une diminution de rendement de l'ordre de 10 p. cent pour un enherbement permanent tous les 2 interlignes. Mais, dans la plupart des travaux, les auteurs notent une différence de rendement plus marquée (VAN HUYSTEN et WEBER, 1980 ; MURISIER et CALAME, 1987 ; CONDEI *et al.*, 1991 ; DORIGONI et SICHER, 1991 ; MAIGRE et MURISIER, 1991b ; ROZIER et ETIENNE, 1991 ; SCHALLER *et al.*, 1991). Cet effet fort les premières années de mise en place du gazon

(MURISIER et CALAME, 1987 ; MAIGRE et MURISIER, 1992b). La nette diminution de rendement se réalise parfois sans gain important de qualité (MURISIER et CALAME, 1987).

I - INFLUENCE DE L'ENHERBEMENT ET DE L'APPORT D'AZOTE SUR L'ACIDITÉ TOTALE ET LE DEGRÉ D'ALCOOL PROBABLE DES MOÛTS

L'effet de l'enherbement se traduit par une diminution de l'acidité totale (tableau I). Divers travaux ont montré que cette acidité totale des moûts est en général plus faible avec l'enherbement qu'en sol nu (SOYER *et al.*, 1984 ; MURISIER et CALAME, 1987 ; BOVIO *et al.*, 1991 ; LISA *et al.*, 1991 ; MAIGRE et MURISIER, 1991b et 1992 ; MAIGRE *et al.*, 1995). En outre, MORLAT *et al.* (1993) notent une diminution de la « surface foliaire secondaire » (entrecœurs) selon le niveau « d'agressivité » de l'herbe, permettant ainsi une meilleure aération des grappes et une bonne maturation du raisin. Cela a pour effet une diminution de l'acidité totale des moûts et particulièrement de la teneur en acide malique (ANCEL, 1986 ; ZAMBONI *et al.*, 1986 ; MORLAT *et al.*, 1993) : la concurrence exercée par le gazon entraîne un arrêt plus précoce de la végétation, et la combustion des acides est ainsi accélérée (MURISIER et CALAME, 1987 ; MAIGRE et MURISIER, 1991b et 1992a). D'autres auteurs ne constatent en revanche aucune diminution de l'acidité en présence d'un gazon permanent (ANCEL, 1983 ; SCHALLER *et al.*, 1991).

Le degré alcoolique probable augmente avec l'enherbement : + 1,57 p. cent vol. entre les modalités 1 et 2 (tableau I). VAN HUYSTEN et WEBER (1980) signalent que l'engazonnement a provoqué une augmentation du degré alcoolique d'environ 0,5 p. cent vol. pour une très forte diminution de rendement (environ - 65 p. cent). Une tendance inverse a été constatée par RADULESCU et CATANESCU (1991) et par

TABLEAU I
Acidité totale (g/l H₂SO₄)
et degré d'alcool probable des moûts

Table I - Total acidity (g/l H₂SO₄)
and potential percent alcohol by volume

Modalités	Acidité totale (g/l H ₂ SO ₄)	Degré d'alcool probable*
1	3,55	9,83
2	2,95	11,40
3	2,30	11,68
4	2,60	11,11

*Degré d'alcool probable = 2,5 * d₂₀ (initiale) - 2513 / 17,5

MAIGRE et MURISIER (1991a, 1992a et 1992b) sur d'autres essais.

L'apport de 30 unités d'azote renforce cet effet en augmentant de 0,28 p. cent vol. ce degré par rapport à celui de l'enherbé seul. Un apport d'azote plus important (60 unités) semble diminuer l'effet de concurrence exercé par l'herbe et tend à diminuer le degré alcoolique en dessous de la valeur obtenue pour l'enherbé sans fumure azotée.

II - INFLUENCE DE L'ENHERBEMENT ET DE L'APPORT D'AZOTE SUR LES CINÉTIQUES DE FERMENTATION DES MOÛTS

1) Durée des fermentations alcooliques

Pour le moût 1, la densité au temps $t=0$ est de 1074, ce qui correspond à une teneur en sucre de 172 g/l (tableau II), soit à un degré d'alcool probable, calculé selon la méthode citée par BLOUIN (1992) de 9,83 p. cent vol. (tableau I). Nous appliquons cette relation jusqu'à des densités de l'ordre de 1012, sachant qu'en deçà de 100 g de sucre par litre la valeur obtenue pour le degré alcoolique formé est approximative et ne donne qu'un ordre de grandeur.

Les moûts issus de parcelles enherbées (avec ou sans fumure azotée) ont des teneurs en sucre plus élevées que celle du témoin (tableau II). Ces faits ont déjà été relatés par divers auteurs (MAIGRE et MURISIER, 1991b ; SCHALLER *et al.*, 1991 ; LISA *et al.*, 1991 ; VALENTI *et al.*, 1991). La durée de fermentation alcoolique est de 50 jours pour le moût 2, soit 34 jours de plus que celle du témoin (figure 1). Dans ce cas, la cinétique fermentaire est ralentie dès les premiers jours : la

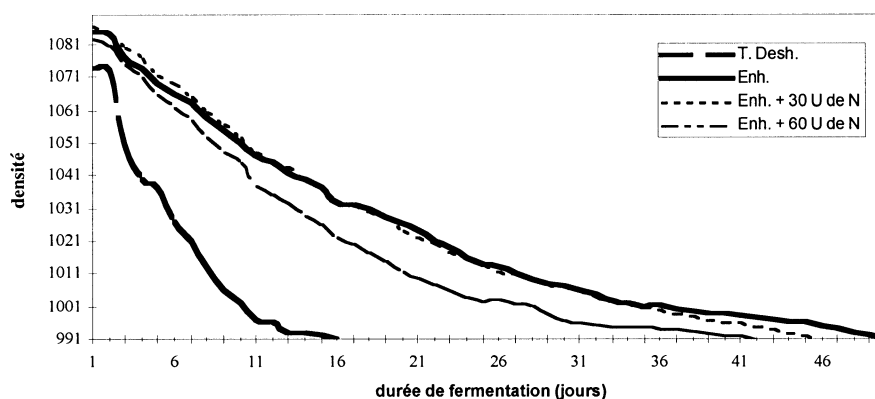


Fig. 1 - Courbes de fermentation des moûts 1, 2, 3 et 4.

Fig. 1 - Fermentation curves of the musts 1, 2, 3 and 4.

Moût 1 : T. Desh. (Témoin, désherbage) ; Moût 2 : Enh. (enherbement) ; Moût 3 : Enh. + 30 U de N (enherbement, apport de 30 U d'azote) ; Moût 4 : Enh. + 60 U de N (enherbement, apport de 60 U d'azote).

TABLEAU II
Durée de la fermentation alcoolique, teneur initiale en sucre (en g/l) et différence avec le témoin

Table II - Duration of alcoholic fermentation, initial sugar content (g/l) and comparison with the control

Modalités	Durée de la fermentation alcoolique (en jours)	Teneur initiale en sucre (en g/l)	Différence de teneur en sucre par rapport au témoin
1	16	172	—
2	50	199,5	+27,5 g/l
3	46	204,5	+32,5 g/l
4	42	194,5	+22,5 g/l

densité de 1050 est atteinte en 3 jours pour le désherbé, en 10 jours pour le moût 2.

Le comportement des modalités 3 et 4 est différent selon le niveau de fumure azotée apportée : avec 204,5 g/l de sucre, la fermentation alcoolique de la modalité 3 dure 46 jours (tableau II). Cette durée, bien qu'inférieure de 4 jours à celle de l'enherbé seul, demeure cependant supérieure à celle de la modalité 4 (figure 1). Cette variation serait due à la part de fumure azotée utilisée par la vigne, c'est-à-dire au niveau de concurrence exercé par l'enherbement (MORLAT, 1986).

2) Teneur en sucre des moûts après 8 jours de fermentation alcoolique

L'activité fermentaire des moûts provenant de parcelles enherbées (avec ou sans fumure azotée) est nettement ralentie. Bien que la teneur initiale en sucre du moût 2 soit plus importante (+ 27,5 g/l par rapport au

TABLEAU III
Etat des fermentations des diverses modalités à 8 jours

Tableau III - Fermentation states of the different musts after 8 days

Modalités	Densité initiale	Densité à 8 jours	Quantité de sucre restante à 8 jours (en g/l)*	Quantité de sucre transformée par les levures à 8 jours		Degré alcoolique du milieu à 8 jours**
				en g/l	en %	
1	1074	1013	19,5	152,5	88,6	8,71
2	1085	1059	134,5	65,0	32,6	3,71
3	1087	1061	139,5	65,0	31,8	3,71
4	1083	1053	119,5	75,0	38,6	4,29

(*) : Quantité de sucre restante à 8 jours = 2,5 * d₂₀ (à 8 jours) - 2513

(**) : Degré alcoolique à 8 jours = Quantité de sucre transformée à 8 jours / 17,5

moût 1), on note qu'après 8 jours de fermentation alcoolique seulement 65 g/l de sucre ont été consommés par les levures, soit une diminution de 57,4 p. cent par rapport au témoin (tableau III). Cette différence se fait surtout pendant la période qui correspond à la phase exponentielle de croissance des levures : le pourcentage de sucre consommé n'est que de 32,6 p. cent pour le moût 2 contre 88,6 p. cent pour le moût 1.

La quantité de sucre consommée après 8 jours de fermentation alcoolique pour la modalité 3 est identique à celle du moût 2, et ce, pour une teneur initiale en sucre légèrement supérieure. Pour la modalité 4, cette consommation est plus importante alors que la teneur initiale était comprise entre celles des moûts 1 et 2. On peut observer qu'un apport d'azote de 30 unités renforce l'effet de concurrence de l'enherbement : s'il améliore la teneur initiale en sucre, l'activité fermentaire est quasiment identique après 8 jours de fermentation alcoolique, la durée de fermentation n'est que peu écourtée (figure 1). L'apport de 60 unités d'azote présente une efficacité intermédiaire entre celle du témoin dés herbé et celle de la modalité avec enherbement. Cependant, la durée de fermentation demeure beaucoup trop longue (figure 1). Ces différences d'activité fermentaire peuvent être recherchées dans la composition azotée des moûts. Parmi les facteurs pouvant influencer le déroulement de la fermentation alcoolique, l'azote assimilable par les levures joue un rôle prépondérant, et une déficience du moût en composés azotés peut occasionner des fermentations languissantes voire inachevées (INGLEDEW et KUNKEE, 1985 ; BEZINGER *et al.*, 1986 ; KUNKEE, 1991 ; MAIGRE, 1992 ; MAIGRE *et al.*, 1992b et 1995 ; CARSOULLE, 1995 et 1997 ; SABLAYROLLES, 1995 ; SOYER *et al.*, 1995 ; LORENZINI, 1996 ; DUPUCH, 1997). L'analyse des acides aminés des diverses modalités devrait permettre de déceler les éventuelles carences par rapport à la modalité 1.

III - INFLUENCE DE L'ENHERBEMENT ET DE L'APPORT D'AZOTE SUR LES TENEURS EN CATIONS DES MOÛTS

Les moûts issus des parcelles enherbées présentent des teneurs plus faibles en calcium (- 4,7 mg/l entre les moûts 1 et 2). L'apport de 30 unités d'azote entraîne une diminution de 6,8 mg/l par rapport à la modalité 2, cette tendance s'accroît avec un apport de 60 unités d'azote (- 9,7 mg/l par rapport au moût 2). MAIGRE *et al.* (1995) ont obtenu, sur le cépage Chasselas, des résultats contraires sur certains essais, et sur d'autres, ils ont conclu à une absence d'influence de l'apport de fumure azotée sur la teneur en calcium du moût.

Le potassium se trouve en concentration nettement plus faible dans les moûts issus de souches enherbées : - 149 mg/l par rapport au témoin (tableau IV). Cela corrobore les résultats de MAIGRE *et al.* (1995). L'apport de 30 unités d'azote se traduit par une très forte augmentation du taux de potassium par rapport au moût 2, tandis que le moût 4 voit sa concentration diminuer de 38 mg/l par rapport à ce même moût 2. Ce dernier constat est en accord avec les résultats obtenus par KLIEWER *et al.* (1991).

TABLEAU IV
Teneurs des moûts en calcium, potassium, magnésium, cuivre et fer (mg/l)

Table IV - Calcium, potassium, magnesium, copper and iron contents (mg/l) of musts

	Modalités			
	1	2	3	4
Ca	74,1	69,4	62,6	59,7
K	925	776	993	738
Mg	61	70	61	65
Cu	1,3	1,8	1,5	1,3
Fe	12,8	15,6	16,2	17,4

Le moût provenant de la parcelle enherbée est plus riche en magnésium (tableau IV) ; MORLAT *et al.* (1984) ont fait la même constatation. L'apport d'azote au sol se traduit par une diminution de concentration de cet élément dans les moûts comparé au moût 2. Cela confirme les observations de CONRADIE et SAAYMAN (1989) et de MAIGRE *et al.* (1995).

Le dosage du cuivre dans les moûts des diverses modalités ne montre pas de variations notables (tableau IV).

L'enherbement semble entraîner une augmentation de la teneur en fer (tableau IV), en outre, celle-ci croît avec le niveau d'apport d'azote.

IV - INFLUENCE DE L'ENHERBEMENT ET DE L'APPORT D'AZOTE SUR LES TENEURS EN ACIDES AMINÉS DES MOÛTS ET DES VINS

L'influence de l'enherbement et de la fumure azotée sur la teneur en composés azotés des moûts a été notée à plusieurs reprises (MAIGRE *et al.*, 1995 ; LARCHEVEQUE *et al.*, 1998) : l'enherbement, avec ou sans fumure azotée, tend à faire diminuer la teneur en acides aminés. Dans notre essai, les teneurs en azote ammoniacal sont très faibles pour les modalités enherbées (nettement inférieures à 25 mg/l). La modalité 1 présente la teneur la plus élevée (tableau V). L'apport d'azote au sol ne se traduit pas par une augmentation massive de la teneur en azote ammoniacal du moût. Nous pouvons noter une diminution de cette teneur du moût au vin sur l'ensemble des modalités. SOYER *et al.* (1995) notent qu'une réduction de la nutrition azotée de la vigne, sur parcelle enherbée, se manifesterait après la véraison, c'est-à-dire pendant la phase la plus intense d'accumulation d'azote dans les baies. Ils constatent pour les moûts, que les formes ammoniacale et aminée, indispensables à l'activité des levures, sont particulièrement affectées, l'azote ammoniacal n'étant présent qu'à l'état de traces.

Une durée de fermentation plus importante peut trouver une certaine part d'explication dans une faible teneur en azote ammoniacal telles que celles des moûts

TABLEAU V
Teneurs en azote ammoniacal des moûts et des vins (mg/l)

Table V - Ammoniacal nitrogen contents (mg/l) of musts and wines

	Modalités			
	1	2	3	4
Moûts	45,5	8,7	12,0	8,8
Vins	0,0	0,0	0,0	0,0

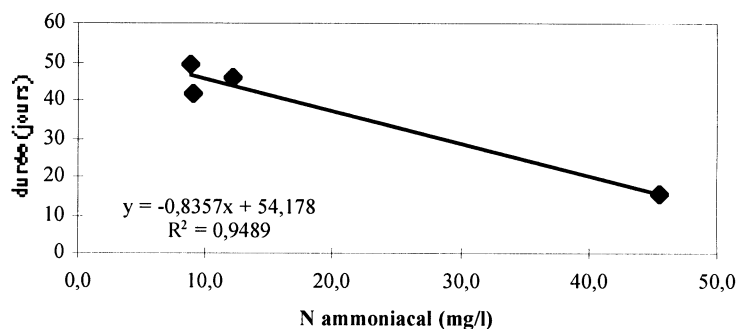


Fig. 2 - Relation entre la teneur en azote ammoniacal des moûts et la durée de fermentation alcoolique

Fig. 2 - Relation between ammoniacal nitrogen content of musts and the duration of alcoholic fermentation

2, 3 et 4 (figure 2). Signalons toutefois que le coefficient de détermination R^2 est surévalué du fait de l'éloignement du moût 1 dont les caractéristiques sont différentes des autres moûts. Cette observation est en accord avec celle faite par MAIGRE *et al.* (1995).

1) Influence sur les teneurs globales

Le moût de la modalité désherbée présente une teneur en acides aminés nettement supérieure à celle de la parcelle enherbée (tableau VI). L'apport d'azote semble améliorer ce paramètre, sans pour autant atteindre le niveau de concentration du moût 1.

Comme pour les moûts, les teneurs globales en acides aminés des vins (tableau VII), sont plus importantes pour le vin 1. Les vins 2 et 3 paraissent mieux pourvus en acides aminés que le vin 4.

La technique d'entretien du sol et la fumure azotée influencent le taux des composés azotés des moûts et induisent alors des différences dans la durée des fermentations. Il apparaît qu'à une faible teneur en azote ammoniacal du moût correspond une teneur globale en acides aminés relativement basse, conduisant à des fermentations languissantes (figures 3 et 4), comme l'ont déjà d'ailleurs constaté de nombreux auteurs (OUGH et BELL, 1980 ; INGLEDEW et KUNKEE, 1985 ; GOCKOWIAK *et al.*, 1992 ; MONTEIRO et BISSON, 1991 et 1992 ; BELY *et al.*, 1991 ; MAIGRE *et al.*, 1995 ; SPAYD *et al.*, 1995).

2) Influence sur les différents acides aminés

a) Cas des moûts

Les huit acides aminés suivants sont absents de toutes les modalités : phosphothréonine, acide cystéique, thréonine, méthionine, iso-leucine, leucine, hydroxy-lysine et tyrosine (tableau VI).

Les moûts 2 et 3 ne contiennent pas de phénylalanine tandis que le moût 1 a une concentration double de celle du moût 4.

La proline est l'un des acides aminés les plus abondants : elle est majoritaire dans les moûts 2 et 4 (entre 22,43 p. cent et 24,11 p. cent), tandis que pour les moûts 3 et 1, sa concentration atteint respectivement 14,5 p. cent et 18,9 p. cent, ce qui la place en troisième et deuxième position par ordre d'importance. Pour de nombreux auteurs (LAFON-LAFOURCADE et PEYNAUD, 1959 ; LAFON-LAFOURCADE et GUIMBERTEAU, 1962 ; KLIEWER, 1969 et MIELE, 1986) la proline est l'acide aminé le plus important dans les moûts, CANTAGREL *et al.*, 1982 donnent l'arginine comme acide aminé principal. L'arginine est l'un des acides aminés prépondérants dans les moûts

provenant des souches enherbées (avec ou sans fumure azotée). Elle occupe le 3^e rang pour les moûts 2 et 4, le 2^em rang pour le moût 3 et est absente dans le moût 1.

Arginine et proline représentent de 29 à 36 p. cent de la teneur globale en acides aminés des moûts des modalités enherbées. MIELE (1986) constate, sur les moûts de Cabernet Sauvignon, que ces deux acides aminés représentent environ 65 p. cent de cette teneur globale sur parcelle dés herbée.

L'alanine compte parmi les trois principaux acides aminés des moûts 2 et 4 qui en contiennent plus de 11 p. cent. Elle fait partie des cinq acides aminés majeurs pour les deux autres moûts, avec des teneurs de l'ordre de 9 p. cent.

TABLEAU VI
Teneurs en acides aminés (mg/l et %) des différents moûts

Table VI - Amino acids contents (mg/l and %) of musts

	Moût 1		Moût 2		Moût 3	
	(mg/l)	en %	(mg/l)	en %	(mg/l)	en %
PSER	0,018	2,41	0,00	0,00	0,012	2,53
PTHR		0,00		0,00		0,00
Ac.CYS		0,00		0,00		0,00
TAU	0,143	19,17	0,016	4,98	0,013	2,74
ARG		0,00	0,040	12,46	0,070	14,77
ASN/GLN	0,082	10,99	0,028	8,72	0,049	10,34
OH-PRO	0,041	5,50	0,019	5,92	0,016	3,38
SER	0,030	4,02	0,016	4,98	0,013	2,74
ASP	0,058	7,77	0,032	9,97	0,030	6,33
GLU	0,031	4,16	0,008	2,49	0,007	1,48
THR		0,00		0,00		0,00
GLY	0,003	0,40		0,00	0,003	0,63
ALA	0,071	9,52	0,038	11,84	0,043	9,07
PRO	0,141	18,90	0,072	22,43	0,069	14,56
MET		0,00		0,00		0,00
VAL	0,014	1,88	0,006	1,87		0,00
PHE	0,024	3,22		0,00		0,00
ILEU		0,00		0,00		0,00
LEU		0,00		0,00		0,00
OH-LYS		0,00		0,00		0,00
ORN	0,014	1,88	0,024	7,48	0,100	21,10
HIS	0,019	2,55	0,014	4,36	0,019	4,01
LYS		0,00	0,013	4,05		0,00
TYR		0,00		0,00		0,00
CITRU	0,057	7,64	0,047	14,64	0,029	6,12
TOTAL	0,746 mg/l		0,321 mg/l		0,474 mg/l	

PSER : phosphosérine ; PTHR : phosphothréonine ; AC.CYS : acide cystéique ; TAU : taurine ; ARG : arginine ; ASN/GLN : asparagine/glutamine ; OH-PRO : hydroxy-proline ; SER : sérine ; ASP : acide aspartique ; GLU : acide glutamique ; THR : thréonine ; GLY : glycine ; ALA : alanine ; PRO : proline ; MET : méthionine ; VAL : valine ; PHE : phénylalanine ; ILEU : iso-leucine ; LEU : leucine ; OH-LYS : hydroxy-lysine ; ORN : ornithine ; HIS : histidine ; LYS : lysine ; TYR : tyrosine ; CITRU : citrulline.

TABLEAU VII
Teneurs en acides aminés des différents vins

Table VII - Amino acids contents (mg/l and %) of wines

	Vin 1		Vin 2		Vin 3		Vin 4	
	(mg/l)	%	(mg/l)	%	(mg/l)	%	(mg/l)	%
PSER		0,00	0,012	14,46	0,011	11,83	0,016	25,00
PTHR		0,00		0,00		0,00		0,00
Ac.CYS		0,00		0,00		0,00		0,00
TAU	0,005	1,68	0,019	22,89	0,020	21,51	0,006	9,38
ARG		0,00		0,00		0,00		0,00
ASN/GLN		0,00		0,00		0,00		0,00
OH-PRO	0,012	4,03	0,006	7,23	0,006	6,45		0,00
SER	0,013	4,36		0,00		0,00		0,00
ASP	0,028	9,40	0,008	9,64		0,00		0,00
GLU	0,006	2,01		0,00		0,00		0,00
THR		0,00		0,00		0,00		0,00
GLY	0,010	3,36	0,004	4,82	0,003	3,23	0,004	6,25
ALA	0,007	2,35	0,005	6,02	0,003	3,23		0,00
PRO	0,161	54,03		0,00		0,00		0,00
MET		0,00		0,00		0,00		0,00
VAL		0,00		0,00		0,00		0,00
PHE	0,013	4,36		0,00	0,010	10,75		0,00
ILEU		0,00	0,006	7,23	0,008	8,60		0,00
LEU	0,015	5,03		0,00		0,00		0,00
OH-LYS		0,00	0,007	8,43	0,016	17,20	0,005	7,81
ORN	0,007	2,35	0,008	9,64	0,006	6,45	0,011	17,19
HIS	0,018	6,04	0,006	7,23	0,008	8,60	0,014	21,88
LYS		0,00		0,00		0,00	0,008	12,50
TYR		0,00		0,00		0,00		0,00
CITRU	0,003	1,01	0,002	2,41		0,00		0,00
TOTAL	0,298 mg/l		0,083 mg/l		0,093 mg/l		0,064 mg/l	

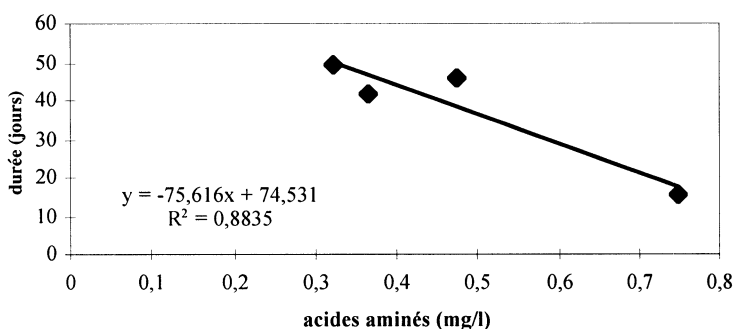


Fig. 3 - Relation entre la teneur globale en acides aminés des moûts et la durée de fermentation alcoolique

Fig. 3 - Relation between total amino acids content of musts and the duration of alcoholic fermentation

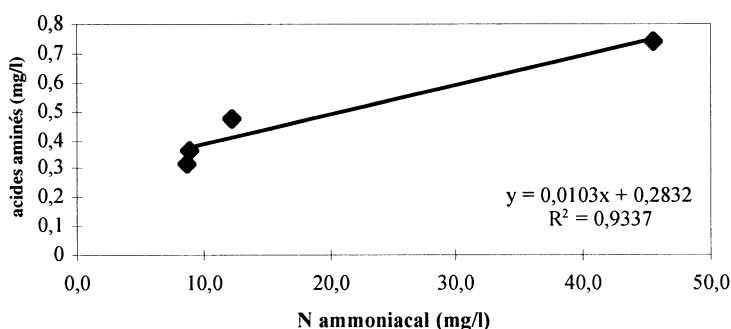


Fig. 4 - Relation entre la teneur en azote ammoniacal et la teneur globale en acides aminés des moûts

Fig. 4 - Relation between ammoniacal nitrogen content and the total amino acids content of musts

L'asparagine et la glutamine (dosées ensemble) présentent des teneurs voisines dans les 4 moûts (entre 10 p. cent et 11 p. cent). Outre la proline et l'arginine, HUANG et OUGH (1991) notent la présence, dans les moûts étudiés, d'un deuxième groupe d'acides aminés dominants constitué par la glutamine et l'alanine.

L'acide aspartique, dont la teneur avoisine 10 p. cent, est parmi les 5 premiers acides aminés des moûts 2 et 4. Sa concentration est un peu plus faible (6 à 7 p. cent) pour les autres moûts.

On constate qu'environ 50 p. cent à 60 p. cent de la teneur globale en acides aminés des moûts est représentée par 5 acides aminés : proline, arginine, alanine, asparagine/glutamine et acide aspartique.

Signalons que les moûts 1 et 3 ont un acide aminé majoritaire différent : la taurine (19,2 p. cent) pour le moût 1 et l'ornithine (21,1 p. cent) pour le moût 3. Par ailleurs, les quatre moûts contiennent de 7 à 8 p. cent de citrulline.

b) Cas des vins

La proline est l'acide aminé majoritaire du vin 1 (54 p. cent) alors que les autres vins n'en contiennent pas (tableau VII). L'acide aspartique (9,4 p. cent) occupe la seconde place. Six acides aminés présentent des teneurs variant de 3 p. cent à 6 p. cent : ce sont l'histidine, la leucine, la phénylalanine, la glycine, la sérine et l'hydroxy-proline.

Pour les vins 2 et 3, la taurine occupe le premier rang avec respectivement 22,9 p. cent et 21,5 p. cent. Sa teneur est très inférieure dans les autres vins. Le vin 2 contient 14,5 p. cent de phosphosérine et quelques acides aminés dont les teneurs sont comprises entre 7 p. cent et 9,6 p. cent (acide aspartique, ornithine, hydroxy-lysine, hydroxy-proline, iso-leucine et histidine). Pour le vin 3, c'est l'hydroxy-lysine (17,2 p. cent) qui est au second rang, suivie de la phosphosérine (11,8 p. cent) et de la phénylalanine (10,7 p. cent). Vient ensuite un groupe d'acides aminés dont les concentrations varient entre 6,5 p. cent et 8,6 p. cent : histidine, iso-leucine, ornithine et hydroxy-proline. On note quelques similitudes entre ces deux vins, tant par la nature que par le niveau de concentration des acides aminés qu'ils contiennent. Le vin 4 a pour acide aminé prépondérant la phosphosérine (25 p. cent), suivie de l'histidine (21,9 p. cent) et de l'ornithine (17,2 p. cent). Ces trois acides aminés sont à des niveaux de concentration beaucoup plus bas dans les autres vins. Un groupe de 4 acides aminés de concentrations comprises entre 6 p. cent et 12,5 p. cent fait suite : lysine, taurine,

hydroxy-lysine et glycine. Ce vin paraît assez différent des vins 2 et 3.

Les acides aminés sont utilisés par la levure dès les premiers jours de fermentation alcoolique. Après 5 jours, leur concentration diminue fortement. La plupart d'entre-eux comme l'arginine, l'acide γ -aminobutyrique, la tyrosine, la valine, l'acide aspartique, l'acide glutamique, la sérine, la thréonine, l'alanine, le tryptophane, la phénylalanine, la leucine, l'iso-leucine et la glutamine sont consommés rapidement par les levures (HERRAIZ et OUGH, 1993).

L'arginine, présente dans les moûts 2, 3 et 4, est absente de tous les vins (tableaux VI et VII), et l'ornithine voit sa concentration diminuer lors de la transformation du moût en vin. Il est possible que la consommation conjointe de l'arginine et de l'ornithine puisse trouver une explication dans la biosynthèse des polyamines, étant donné que l'ornithine (dérivé de l'arginine par l'activité arginase) est le précurseur. Le besoin en polyamines peut conduire à la dégradation d'arginine sans tenir compte du fait que cet acide aminé est également une source d'azote pour la biosynthèse générale, où les 4 atomes d'azote sont rendus utilisables lors de la dégradation complète de la molécule (MONTEIRO et BISSON, 1991 et 1992). Certains acides aminés semblent plus ou moins bien utilisés et d'autres pas du tout. La sérine est consommée totalement durant la fermentation alcoolique, excepté pour le vin 1 qui en contient 0,013 mg/l. L'alanine est utilisée en partie et l'asparagine/glutamine est totalement dégradée, ces résultats corroborent ceux d'HERRAIZ et OUGH (1993).

Notons également que l'histidine (qui contient 3 atomes d'azote) voit sa concentration diminuer très légèrement pour la modalité 1, plus fortement pour les modalités 2 et 3 (environ de 50 p. cent), et qu'elle apparaît dans le vin 4. Cet acide aminé qui ne peut pas être utilisé par *Saccharomyces* comme seule source d'azote (MONTEIRO et BISSON, 1991) a vraisemblablement subi une dégradation modérée, et il a pu être généré lors des phénomènes de relargage des levures en fin de fermentation. Si l'hydroxy-proline disparaît complètement dans le vin 4 et diminue d'environ 30 p. cent dans les autres vins, la glycine voit sa concentration se maintenir dans les vins 3 et 4, elle augmente dans les vins 1 et 2 ; ce qui est en accord avec les résultats de HERRAIZ et OUGH (1993).

La citrulline diminue considérablement dans les vins 1 et 2, et elle disparaît complètement dans les vins 3 et 4. Il en est de même pour l'acide glutamique qui appartient à la même famille dérivant de l'acide α -céto-glutarique (BRYAN, 1976). Cet acide glutamique inter-

vient dans la biosynthèse de la proline. Des variations similaires sont observées pour l'acide aspartique.

3) Comparaison des différentes modalités

L'étude des distances euclidiennes des variables centrées réduites effectuée sur les moûts et les vins nous a permis de comparer deux à deux les modalités et de repérer celles qui sont les plus proches (ou les plus éloignées) du point de vue de la composition en acides aminés. L'analyse en composantes principales (ACP) complète ces informations en différenciant les diverses

modalités par la nature et la concentration des acides aminés.

Les moûts 1 et 4 sont les plus proches (tableau VIII). Il y a vraisemblablement de fortes analogies de composition en acides aminés entre le moût issu de souches désherbées et celui provenant de souches enherbées ayant reçu un apport de 60 unités d'azote. On peut supposer que certains acides aminés font gravement défaut (en nature ou en quantité) au moût 4, ce qui engendre des conditions de fermentation différentes et une durée considérablement prolongée.

TABLEAU VIII
Comparaison des distances euclidiennes sur données centrées réduites des moûts et des vins

Table VIII - Comparison of euclidean distances on centred-reduced data of musts and wines

Moûts	1 - 4	3 - 4	2 - 4	1 - 3	1 - 2	2 - 3
Distances euclidiennes	31,59	38,71	40,13	48,45	49,36	63,77
Vins	2 - 3	3 - 4	2 - 4	1 - 2	1 - 3	1 - 4
Distances euclidiennes	22,15	44,18	45,41	45,46	49,52	65,27

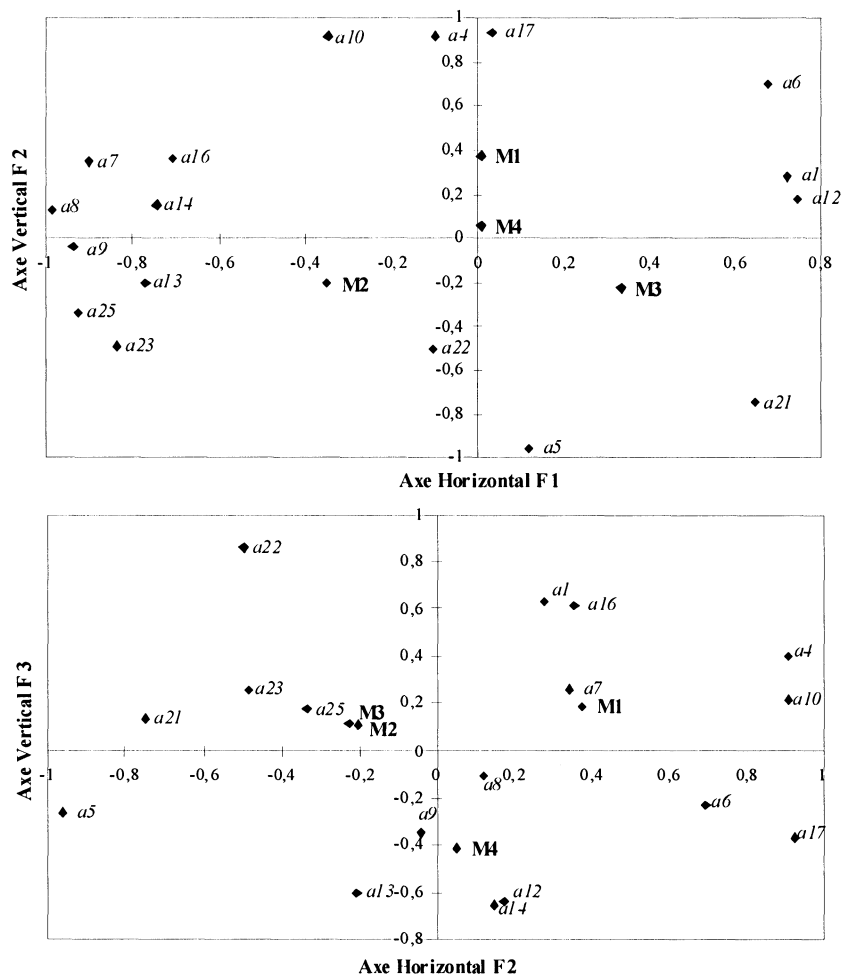


Fig. 5 - Analyse en composantes principales réalisée sur les moûts

Fig. 5 - Principal component analysis on musts

On note que la plus grande distance est enregistrée pour les moûts 2 et 3, ce qui laisse supposer qu'un apport d'azote de 30 unités se traduit par un remaniement important dans la distribution qualitative et quantitative des divers acides aminés. On remarque également que le moût 1 se différencie assez nettement des moûts 2 et 3.

L'ACP réalisée sur les moûts (figure 5) permet d'approcher plus précisément ces différences de composition. Le plan principal 1-2 met en évidence l'opposition entre les souches désherbées et enherbées : le moût 1 est éloigné des moûts 2 et 3 sur l'axe 2. Cette différence de composition s'explique surtout par trois variables fortement corrélées positivement (taurine, acide glutamique et phénylalanine) qui caractérisent le moût 1 (très riche par rapport aux autres) alors que les moûts 2 et 3 sont bien pourvus en arginine (corré-

lation négative très forte avec les 3 variables précédentes), absente dans le moût 1. D'autre part, sur ce même plan, on note une opposition sur l'axe 1 entre les individus 2 et 3. Les variables qui expliquent la différence de composition entre l'enherbé seul et l'enherbé recevant 30 unités d'azote sont l'alanine, la sérine, l'acide aspartique, la lysine et la citrulline. Elles évoluent dans le même sens et sont caractéristiques du moût 2 qui en est bien mieux doté que le moût 3. En outre, on remarque que ce dernier se différencie des autres par sa forte teneur en ornithine.

Le plan 2-3 nous permet de différencier les individus 1 et 4. Si un groupe de variables (asparagine/glutamine, hydroxy-proline, phénylalanine) montre une certaine ressemblance de composition entre les moûts 1 et 4, qui en contiennent à peu près la même quantité, d'autres font une distinction très nette entre ces deux

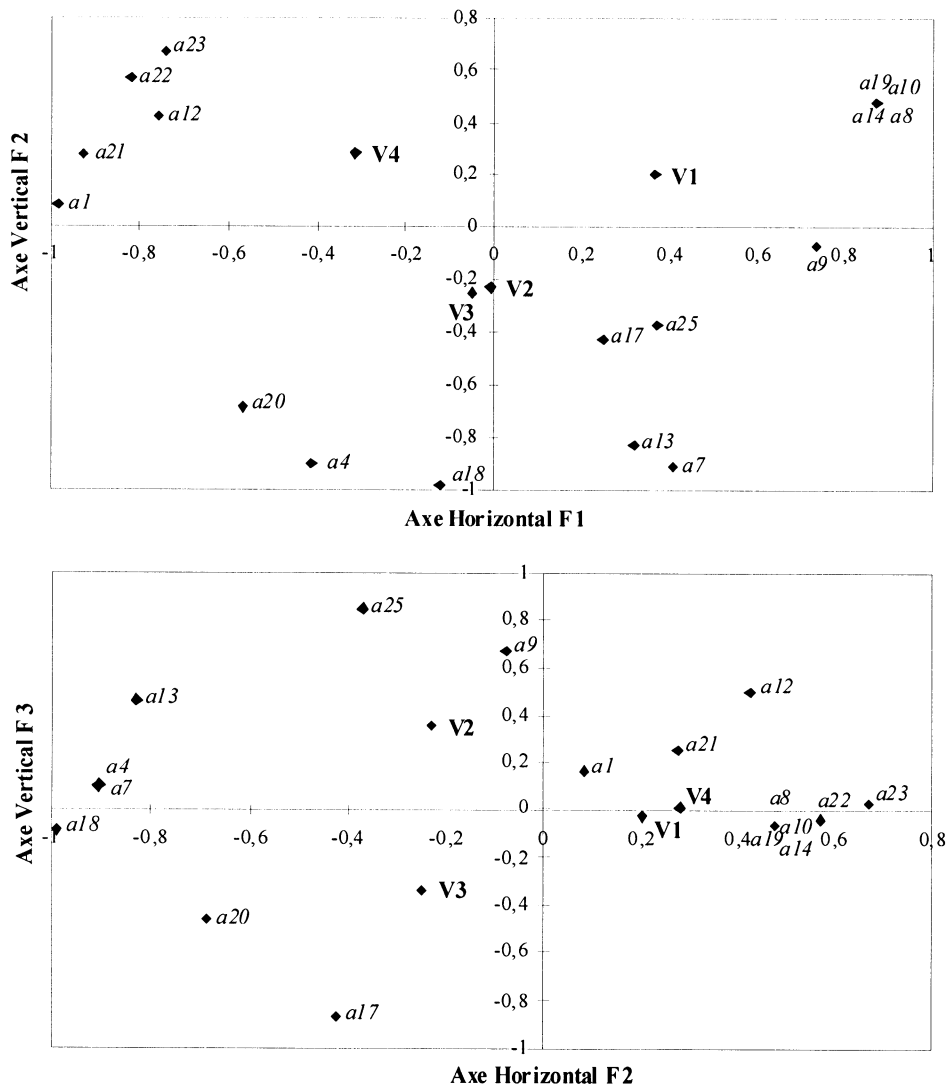


Fig. 6 - Analyse en composantes principales réalisée sur les vins.

Fig. 6 - Principal component analysis on wines

individus : le moût 1 se caractérise par sa richesse en taurine, acide glutamique, phosphosérine et valine alors que ces acides aminés font défaut au moût 4 ou sont en quantité nettement inférieure. Ce dernier est plus riche en arginine, glycine, proline et alanine.

Les vins 1 et 4 sont les plus éloignés (tableau VIII), ce qui ne surprend pas étant donné la différence de durée des fermentations : la composition en acides aminés du vin a été vraisemblablement affectée pour le moût 4 qui a une fermentation plus longue de 26 jours. La distance euclidienne la plus faible est obtenue pour les vins 2 et 3, ce qui pourrait s'interpréter par une grande similitude des fermentations des modalités 2 et 3 et des répartitions en acides aminés assez proches.

Le plan principal de l'ACP (figure 6) nous confirme l'éloignement entre le vin 1 et le vin 4, qui sont bien représentés et en opposition sur l'axe 1. Cet axe est expliqué par deux groupes de variables en opposition : le premier représenté par la phosphosérine et l'ornithine, le second par la sérine, l'acide glutamique, la proline et la leucine.

Le plan 2-3 nous permet de confirmer le rapprochement des vins 2 et 3, ces individus étant bien représentés sur ce plan. L'axe 2, expliqué par les variables : taurine, hydroxy-proline, iso-leucine et alanine, montre que ces deux individus possèdent des quantités relativement importantes de ces quatre acides aminés quand les deux autres vins n'en contiennent que très peu ou en sont dépourvus. Cependant, ces vins présentent quelques différences dans leur composition en acides aminés, ce qui expliquerait peut-être, en partie, les légères différences de comportement fermentaires. Deux variables expliquent l'axe 3 et évoluent en sens opposé : la phénylalanine (le vin 3 présente la plus forte teneur alors que le vin 2 n'en contient pas) et dans une moindre mesure la citrulline (présente uniquement dans le vin 2).

CONCLUSION

Le but de cet essai était de limiter l'effet dépressif de l'enherbement sur une vigne de Muscadelle afin d'améliorer la cinétique fermentaire. Pour ce faire, deux niveaux de fumure azotée ont été appliqués et une comparaison avec des parcelles désherbée et enherbée sans fumure azotée a pu être établie.

L'essai a montré que la fertilisation azotée s'est avérée inefficace sur la durée de la fermentation alcoolique. Cette dernière a été écourtée d'au mieux 8 jours par rapport à la modalité enherbée sans apport d'azote.

Si les effets de l'enherbement tels que la diminution du rendement, l'amélioration de l'état sanitaire de la vendange, l'augmentation de la teneur en sucre du moût et la diminution de son acidité ont été vérifiés, nous avons constaté que les composés azotés, et plus particulièrement les acides aminés ont un rôle majeur sur la cinétique fermentaire. La teneur en acides aminés de la modalité désherbée est plus de 2 fois supérieure à celle de la modalité enherbée, ce qui se traduit par une durée de fermentation plus longue de 34 jours pour cette dernière. Les apports d'azote étudiés améliorent quelque peu la teneur en acides aminés des moûts et leurs durées de fermentation, mais celles-ci restent beaucoup trop longues. L'apport de 60 unités ne réduit ce temps que de 8 jours par rapport à la modalité enherbée sans fumure azotée. Une comparaison avec les résultats obtenus pour le cépage Merlot (LARCHEVÈQUE *et al.*, 1998) montre que l'influence de l'enherbement est beaucoup plus marquée sur cépages blancs car la carence azotée des moûts est très importante. Les apports de fumure azotée semblent insuffisants pour pallier la faible teneur en acides aminés des moûts et pour améliorer leur cinétique fermentaire. Nous observons des différences dans la distribution des acides aminés, tant dans leur nature que dans leurs teneurs respectives. Comme dans la précédente étude conduite sur le cépage Merlot, la proline, l'arginine, l'alanine, l'acide aspartique et l'asparagine/glutamine sont majoritaires. Les analyses statistiques mettent en évidence des caractéristiques propres à chaque modalité. Elles permettent de différencier le témoin désherbé des modalités enherbées. Quelques analogies dans la composition en acides aminés des moûts 1 et 4 pourraient expliquer le comportement fermentaire différent du moût 4 par rapport aux moûts 2 et 3. En revanche, certains acides aminés lui font défaut ou sont en quantités nettement inférieures comparées à celles du témoin, ce qui modifie très certainement les conditions de fermentation. La durée est alors considérablement augmentée.

Des analyses similaires conduites sur les vins mettent en évidence un rapprochement des vins 2 et 3 au point de vue de la composition en acides aminés. Cela est à relier aux comportements fermentaires relativement semblables. Le vin 4 apparaît différent du vin 1, ce fait est dû à une fermentation beaucoup plus difficile.

Remerciements : Nous remercions vivement le Conseil Régional d'Aquitaine, l'Office National Interprofessionnel des vins et les vignobles UNIVITIS.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANCEL J., 1983. Influence de différentes techniques culturales sur la production et la vigueur de la vigne en Alsace. *12^e Conférence du COLUMA II*, 273-280.
- ANCEL J., 1986. Effets de la « non-culture » sur le système racinaire de la vigne et sur quelques caractéristiques du sol. *II^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 26-28 novembre 1986, 337-344.
- BECKER J., 1986. Konkurrenzverhalten von Rebsorten und Gründungpflanzen bei unterschiedlicher Wasserversorgung. Diss. Universität Hohenheim.
- BELL A., OUGH C.S. and KLIEWER W.M., 1979. Effects on must and wine composition, rates of fermentation, and wine quality of nitrogen fertilization of *Vitis vinifera* var. Thompson Seedless grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, **30**, 124-129.
- BELY M., SABLAYROLLES J.M. and BARRE P., 1991. Automatic detection and correction of assimilable nitrogen deficiency during alcoholic fermentation under enological conditions. *In The American Society for Enology and Viticulture*, éd., J.M. RANTZ, *Proc. Symp. on Nitrogen in grapes and wine*, Seattle (USA), 211-214.
- BEZENGER M.C., NAVARRO J.M., SABLAYROLLES J.M. et BARRE P., 1986. Préviation du déroulement en isotherme de la fermentation alcoolique d'un milieu modèle simulant les conditions de l'œnologie : influence des paramètres azote et température. *Sci. Aliment.*, **6**, 185-200.
- BLOUIN J., 1992. *Techniques d'analyses des moûts et des vins*. Ed. Dujardin-Salleron, Paris.
- BOVIO M., MORANDO A. and EYNARD I., 1991. Tillage, permanent grass cover and chemical weed control in a sloping vineyard. *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 257-263.
- BRYAN J.K., 1976. Aminoacid biosynthesis and its regulation. *In* : Bonner J. et Varner J.E., eds. *Plant biochemistry*, 3.ed. New York, Academic Press, 525-560.
- CANTAGREL R., SYMONDS P. et CARLES J., 1982. Composition en acides aminés du moût en fonction du cépage et de la technologie et son influence sur la qualité du vin. *Sci. Aliments*, **2**, 109-142.
- CARSOULLE J., 1986. Influence de quelques techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion en vignoble de côtes (Beaujolais). *II^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 26-28 novembre 1986, 345-352.
- CARSOULLE J., 1995. L'enherbement permanent du vignoble. Influence sur la production viticole et son environnement. *Phytoma*, **478**, 38-41.
- CARSOULLE J., 1997. Enherbement permanent du vignoble. Influence sur la production viticole. *Progr. Agric. Vitic.*, **114**, 87-92.
- CONDEI Gh., CIOLACU M., CATANESCU V. et LEPADATU Victoria, 1991. L'approche écologique du système intégré d'entretien du sol en plantations viticoles intensives. *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 289-296.
- CONRADIE W.J. and SAAYMAN D., 1989. Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on Chenin blanc vines. II. Leaf analyses and grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.*, **40**, 91-98.
- DORIGONI A. and SICHER L., 1991. Effect of floor management practices on vinegrape vigour and production. *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 417-424.
- DUPUCH V., 1997. Entretien des sols viticoles et conséquences œnologiques. *Progr. Agric. Vitic.*, **114**, 152-156.
- GENEIX C., LAFON-LAFOURCADE S. et RIBÉREAU-GAYON P., 1983. Effet des acides gras sur la viabilité des populations de *Saccharomyces cerevisiae*. *C.R. Acad. Sc. Paris*, **296**, série III, 943-947.
- GOCKOWIAK H. and HENSCHKE P.A., 1992. Nitrogen composition of grape juice and implication for fermentation : results of a survey made in N-E Victoria. The Australian Grape-grower and Winemaker. *Annual Technical Issue*.
- HERRAIZ T. and OUGH C.S., 1993. Formation of ethyl esters of amino acids by yeasts during the alcoholic fermentation of grape juice. *Am. J. Enol. Vitic.*, **44**, 41-48.
- HUANG Z. and OUGH C.S., 1991. Amino acid profiles of commercial grape juices and wines. *Am. J. Enol. Vitic.*, **42**, 261-267.
- INGLEDEW W.M. and KUNKEE R.E., 1985. Factors influencing sluggish fermentations of grape juice. *Am. J. Enol. Vitic.*, **36**, 65-76.
- KLIEWER W.M., 1969. Free amino acids and other nitrogenous substances of table grape varieties. *J. Food Sci.*, **34**, 274-278.
- KLIEWER W.M., BOGDANOFF C. and BENZ M., 1991. Response of Thompson Seedless grapevines trained to single and divided canopy trellis systems to nitrogen fertilization. *In The American Society for Enology and Viticulture*, éd., J. M. Rantz, *Proc. Int. Symp. on Nitrogen in grapes and wine*. Seattle (USA), 282-289.

- KUNKEE R.E., 1991. Relationship between Nitrogen content of must and sluggish fermentation. In The American Society for Enology and Viticulture, éd., J. M. Rantz, *Proc. Int. Symp. on Nitrogen in grapes and wine*. Seattle (USA), 148-155.
- LAFON-LAFOURCADE S. et PEYNAUD E., 1959. Dosage microbiologique des acides aminés des moûts de raisin et des vins. *Vitis*, **2**, 45-66.
- LAFON-LAFOURCADE S. et GUIMBERTEAU G., 1962. Evolution des amino acides au cours de la maturation des raisins. *Vitis*, **3**, 130-135.
- LARCHEVÊQUE C., CASANOVA A., DUPUCH V. et RENARD R., 1998. Influence de la fumure azotée sur une vigne de *Vitis vinifera* L. var. Merlot avec enherbement permanent (composition azotée, nature et teneur des acides aminés des moûts et des vins). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **32**, 27-43.
- LARUE F., LAFON-LAFOURCADE S. et RIBÉREAU-GAYON P., 1982. Inhibition de *Saccharomyces cerevisiae* dans le moût de raisin. *C.R. Acad. Sc. Paris*, **294**, Série III, 587-590.
- LARUE F., ROZES N., DOIGNON F. et FOHR L., 1989. Relation entre le métabolisme lipidique et l'activité fermentaire de *Saccharomyces cerevisiae* dans le moût de raisin. Ed. Dunod. *IV^e Symp. Int. Œnol.*, Bordeaux, France, 243-248.
- LISA L., PARENA S. and GIORDA F., 1991. Trials of reduced soil tillage in northern Monferrato hillside vineyards. Technical, economic and agronomical aspects. *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 273-280.
- LORENZINI F., 1996. Teneur en azote et fermentescibilité des moûts de Chasselas. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.*, **28**, 169-174.
- MAIGRE D., 1992. L'enherbement : réalité pour le vignoble septentrional de l'Europe. *Phytoma*, **444**, 34-39.
- MAIGRE D., 1992. Influence de différentes techniques d'entretien du sol sur le comportement de la vigne et la qualité du vin en Suisse romande. *IX. Kolloquium des Internat Arbeits-kreises « Begrünung im Weinbau »*. Bad Kreuznach. 71-80.
- MAIGRE D. et MURISIER F., 1991a. Comparaison de techniques d'entretien du sol dans trois sites pédoclimatiques différents. *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 281-288.
- MAIGRE D. et MURISIER F., 1991b. Bilan intermédiaire d'un essai d'entretien du sol en viticulture. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.*, **23**, 343-349.
- MAIGRE D. et MURISIER F., 1992a. Comparaison de techniques d'entretien des sols viticoles dans trois sites pédoclimatiques différents de Suisse romande. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.*, **24**, 173-177.
- MAIGRE D. et MURISIER F., 1992b. Essai d'entretien d'un sol viticole dans une région à faible pluviosité. Un bilan après 16 ans d'expérimentation en Valais. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.*, **24**, 271-278.
- MAIGRE D., AERNY J. et MURISIER F., 1995. Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas : influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.*, **27**, 237-251.
- MIELE A., 1986. Recherches sur la composition en acides aminés et en acides gras des feuilles et des raisins de *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon pendant la période de maturation et en fonction du système de conduite. *Thèse d'Université*, Bordeaux II, 153 p.
- MONTEIRO F.F. and BISSON L.F., 1991. Biological assay of nitrogen content of grape juice and prediction of sluggish fermentations. *Am. J. Enol. Vitic.*, **42**, 47-57.
- MONTEIRO F.F. and BISSON L.F., 1992. Nitrogen supplementation of grape juice. I- Effect on amino acid utilization during fermentation. *Am. J. Enol. Vitic.*, **43**, 1-10.
- MORLAT R., 1981. Effets comparés de deux techniques d'entretien du sol sur l'enracinement de la vigne et sur le milieu édaphique. *Agronomie*, **10**, 887-896.
- MORLAT R., 1986. Influence du mode d'entretien du sol sur l'alimentation en eau de la vigne en Anjou. Conséquences agronomiques. *II^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 26-28 novembre 1986, 15-26.
- MORLAT R., ROBICHET J., SIGOGNE M., REMOUE M., VENIN G., LEON H. et ASSELIN C., 1984. Influence de la densité de plantation et du mode d'entretien du sol sur l'alimentation minérale de la vigne. *Connaissance Vigne Vin*, **2**, 83-94.
- MORLAT R., JACQUET A. et ASSELIN C., 1993. Principaux effets de l'enherbement permanent contrôlé du sol, dans un essai de longue durée en Anjou. *Progr. Agric. Vitic.*, **110**, 406-410.
- MURISIER F. et CALAME F., 1987. Essais d'entretien du sol en viticulture. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.*, **19**, 233-241.
- OUGH C.S., LIDER L.A. and COOK J.A., 1968. Rootstock interactions concerning wine making. I. Juice composition changes and effects on fermentation rate with St. George and 99R. rootstocks at two nitrogen fertilizer levels. *Am. J. Enol. Vitic.*, **19**, 213-327.
- OUGH C.S. and BELL A.A., 1980. Effects of nitrogen fertilization of grapevines on amino acid metabolism and higher-alcohol formation during grape juice fermentation. *Am. J. Enol. Vitic.*, **31**, 122-123.

- RADULESCU I. et CATANESCU V., 1991. Les systèmes d'entretien des sols podzoliques dans le vignoble de Stefanesti - Arges - Roumanie. *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 219-226.
- RIOU C., 1997. Influence agro-viticole de l'effet terroir par l'enherbement des sols. *Progr. Agric. Vitic.*, **114**, 232-237.
- ROZIER J.P. et ETIENNE F., 1991. Synthèse des trois premières années d'études sur l'enherbement du vignoble méditerranéen. Effets sur la production et la qualité. *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 433-440.
- SABLAYROLLES J.M., 1995. I " mosti a rischio " : ruolo del azoto e dell' ossigeno. *Vignevini*, **4**, 49-51.
- SCHALLER K., BERTHOLD G. and LÖHNERTZ O., 1991. Investigations on the nitrogen turnover in permanent grass cover of vineyards as a tool for better fertilization practices. *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 173-180.
- SOYER J.P., DELAS J., MOLOT C., ANDRAL P. et CASTERAN P., 1984. Techniques d'entretien du sol en vignoble bordelais. Conséquences sur la vigne (production, vigueur, enracinement, nutrition) et sur le sol après 20 ans d'expérimentation. *Progr. Agric. et Vitic.*, **101**, 315-320.
- SOYER J.P., MOLOT C., BERTRAND A., GAZEAU O., LOVELLE B.R., DELAS J., 1995. Influence de l'enherbement sur l'alimentation azotée de la vigne et sur la composition des moûts et des vins. Ed. Lavoisier. *V^e Symp. Int. Œnol.*, Bordeaux, France, 81-84.
- SPAYD S.E., WAMPLE R.L., STEVENS R.G., EVANS R.G. and KAWAKAMI A.K., 1993. Nitrogen fertilization of white Riesling in Washington : effects on petioles nutrient concentration, yield, yield components and vegetative growth. *Am. J. Enol. Vitic.*, **44**, 378-386.
- SPAYD S.E., NAGEL C.W. and EDWARDS C.G., 1995. Yeast growth in Riesling juice as affected by vineyard nitrogen fertilization. *Am. J. Enol. Vitic.*, **46**, 49-55.
- VALENTIL., BRANCADORO L., BOGONI M., FAILLA O., MASTROMAURO F and SCIENZA A., 1991. Effects of different grass-covering systems on soil properties and Pinot noir yield and quality in Oltrepo Pavese (Italy). *III^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 18-20 novembre 1991, 403-415.
- VAN HUYSSTEEN L. and WEBER H.W., 1980. The effect of selected minimum and conventional tillage practices in vineyard cultivation on vine performance. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, **1**, 73-77.
- ZAMBONI M., BAVARESCO L. et CORAZZINA E., 1986. Trois années de recherche sur la non-culture : influence sur la production, la qualité et la nutrition du cépage « Garganega ». *II^e Symp. int. sur la non-culture de la vigne et les autres techniques d'entretien des sols viticoles*. Annales ANPP. Montpellier (France), 26-28 novembre 1986, 491-498.

Reçu le 1^{er} juillet 1998 ; accepté le 25 août 1998.