


Effet de la pulvérisation foliaire d'urée sur l'alimentation azotée et la qualité du Chasselas en vigne enherbée

J.-L. SPRING et F. LORENZINI¹, Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Centre viticole du Caudoz, CH-1009 Pully

 E-mail: jean-laurent.spring@rac.admin.ch
Tél. (+41) 21 72 11 563.

Résumé

L'efficacité d'apports foliaires d'urée sur des vignes enherbées soumises à une importante concurrence pour l'azote a été étudiée sur les domaines expérimentaux d'Agroscope Changins-Wädenswil à Pully et à Changins (VD). L'azote (50 kg N/ha) appliqué de juin à août sur les feuilles a été mieux valorisé par la plante que la même quantité apportée dans le sol au printemps. Une quantité réduite d'azote (20 kg N/ha) pulvérisée tardivement (autour de la véraison) sur les feuilles a entraîné la même hausse des taux d'azote dans les moûts (indice de formol ou acides aminés) que 50 kg N/ha apportés au sol au printemps. La vigueur et le potentiel de production de la vigne n'ont été que peu influencés par les différentes modalités d'apport d'azote. Dans les vins, les corrections azotées par apport d'urée foliaire ont permis d'atténuer les caractères négatifs liés au stress hydro-azoté.

Matériel et méthodes

Deux essais ont été mis en place à Pully (VD) et à Changins (VD) sur des parcelles de Chasselas greffé sur 3309, plantées en 1984 pour l'essai de Pully et en 2000 pour celui de Changins et conduites en Guyot mi-haute (200 × 85 cm). A Pully, la moyenne pluriannuelle des températures durant la période de végétation (du 15 avril au 15 octobre) s'élève à 15 °C et les précipitations annuelles moyennes sont de 1140 mm. Le sol (0-20 cm) est de nature légère à moyenne (10 à 15% d'argile), peu calcaire (4% CaCO₃) et contient un taux de matière organique satisfaisant. L'analyse chimique montre que ce sol est normalement pourvu en potassium, calcium, magnésium et bore, et qu'il est riche en phosphore. A Changins, la moyenne des températures durant la période de végétation (15 avril au 15 octobre) s'élève à 14,9 °C et les précipitations annuelles moyennes sont de 1009 mm. Le sol (0-20 cm) est moyen, peu calcaire (0-9% de CaCO₃) et contient un taux de matière organique satisfaisant. L'analyse chimique montre que ce sol est riche en phosphore et en potassium et qu'il est normalement pourvu en magnésium.

Les essais à quatre répétitions ont été conduits en blocs randomisés selon le protocole suivant:

- A = témoin sans fumure azotée.
- B = application au sol de 50 kg N/ha (ammonitrates localisés sur le cavaillon désherbé, environ un tiers de la surface) au printemps.
- C = application foliaire de 20 kg N/ha (quatre applications de 5 unités N/ha hebdomadaires) avec de l'urée pauvre en biuret (Folur[®]) autour de la véraison du début à la fin d'août).
- D = application foliaire de 50 kg N/ha (dix applications de 5 unités N/ha hebdomadaires) de la floraison à la véraison avec de l'urée pauvre en biuret (Folur[®]).

A Pully, l'essai a été conduit de 2001 à 2004, sauf pour la variante D qui n'a été introduite qu'en 2002. A Changins, l'expérimentation a porté sur les millésimes 2003 et 2004. Les observations suivantes ont été réalisées:

¹CH-1260 Nyon.

Introduction

L'enherbement permanent de l'interligne peut, dans certaines conditions de sol et de climat, exercer une concurrence hydro-azotée excessive pour la vigne et entraîner une dénaturation de la qualité des vins, en particulier pour les vins blancs (Maigre *et al.*, 1995; Christoph *et al.*, 1995; Schwab *et al.*, 1996; 1997; Löhnertz, 1998a). Pour améliorer sensiblement la qualité de ces vins, une gestion adaptée des techniques d'entretien du sol est nécessaire (Stotz, 1994; Masson *et al.*, 1996; Löhnertz *et al.*, 1998b; Spring, 2001; Spring, 2002a). Dans certains cas, des apports d'azote peuvent toutefois se révéler nécessaires. Des essais conduits dans le bassin lémanique ont montré qu'en vigne engazonnée dans tous les interlignes, les apports d'azote localisés sur le cavaillon désherbé sont mieux valorisés par la vigne que ceux effectués sur toute la surface (Spring, 2002a; Spring, 2003). Le climat du bassin lémanique varie assez fortement d'une

année à l'autre, pouvant influencer notablement l'alimentation azotée de la vigne. Les recommandations de fumure azotée à apporter au printemps sont essentiellement basées sur le comportement de la vigne lors des années précoces (Spring *et al.*, 2003). Les conditions climatiques spécifiques de l'année en cours ne sont pas prises en compte, notamment l'importance et la répartition des précipitations, qui influencent l'absorption d'azote par la plante.

Dans le cadre d'essais mis en place sur les domaines expérimentaux d'Agroscope Changins-Wädenswil à Pully et à Changins, l'intérêt d'appliquer de l'urée directement sur le feuillage a été examiné. Les objectifs étaient, d'une part, d'évaluer l'efficacité des apports foliaires par rapport à la fumure localisée sur le cavaillon et, d'autre part, de juger de l'efficacité de corrections foliaires tardives (applications autour de la véraison) sur des vignes soumises à un stress hydro-azoté marqué. Un premier bilan partiel de cette expérimentation a fait l'objet d'une publication (Spring et Lorenzini, 2005).

- détermination des taux de N, P, K, Ca et Mg de feuilles situées dans la zone des grappes à la véraison (diagnostic foliaire);
- suité en 2004 de l'indice chlorophyllien (indice N-Tester) de feuilles principales situées dans la zone des grappes du mois de juin au mois d'octobre selon la méthode proposée par Spring (1999) et Spring et Zufferey (2000);
- expression végétative par le pesage des bois de taille sur un échantillon de dix ceps par parcelle unitaire;
- relevé des composantes du rendement: fertilité des bourgeons, poids des baies et poids des grappes; la récolte a fait l'objet d'une limitation par le maintien de cinq grappes par cep en juillet;
- détermination au foulage dans les moûts du taux de sucre, du pH, de l'acidité totale exprimée en acide tartrique, de l'acide tartrique et malique, ainsi que de la teneur en azote des moûts, selon la méthode proposée par Aerny (1996);
- en 2003 et en 2004, vinification de la récolte de chaque procédé. Après pressurage, les moûts ont été sulfités à raison de 50 mg/l SO₂ et débourbés; les moûts ont été ramenés à une teneur en sucre standard par chaptalisation; ils ont été levurés à raison de 15 g/hl (Bourgo-blanc®). Les vins ont été centrifugés après fermentation alcoolique et ont subi une fermentation malolactique induite par des bactéries sélectionnées (Vini-flora oenos® en 2003 et Vitilactif F® en 2004). Après stabilisation chimique et physique, les vins ont été filtrés et mis en bouteilles;

- les analyses courantes des moûts et des vins ont été effectuées selon le *Manuel suisse des Denrées alimentaires*;
- une analyse détaillée des différents acides aminés a été effectuée dans les moûts après pressurage (analyseur A200: Forschungsanstalt Geisenheim);
- la teneur en alcools supérieurs (2- et 3-méthyl-1-butanol, ainsi que le phényl-2-éthanol) a été déterminée par chromatographie en phase gazeuse;
- les vins ont été dégustés à deux reprises par un collège de dégustateurs d'Agroscope Changins-Wädenswil, une première fois chaque année, quelques semaines après la mise en bouteilles, et une seconde fois à l'issue de l'expérimentation, le 12 décembre 2005; l'appréciation organoleptique des différents critères s'est effectuée selon une échelle de notation allant de 1 (mauvais, faible) à 7 (excellent, élevé).

Tableau 1. Essai de fumure azotée sur Chasselas. Diagnostic foliaire N à la véraison. Pully, moyennes 2002-2004. Changins, moyennes 2003-2004.

Variantes	N (% MS)	
	Pully	Changins
A	1,96	1,89
B	2,08	2,01
C	2,15	2,01
D	2,21	2,14
ppds p = 0,05	0,20	0,22

mure azotée (variante A); après application foliaire tardive d'urée à dose réduite (20 kg N/ha) autour de la véraison (variante C), les feuilles présentaient des teneurs en azote comparables à celles de la variante B avec une fertilisation printanière au sol plus importante (50 kg N/ha). Pour la même quantité (50 kg N/ha), la fumure foliaire répartie durant la période floraison-véraison (variante D) a été mieux absorbée par la vigne que l'apport localisé sur le cavaillon à mi-mai (variante B).

Indice de formol des moûts au foulage

Pour le Chasselas, l'indice de formol des moûts déterminé à la vendange selon la méthode proposée par Aerny

Résultats et discussion

Indicateurs d'alimentation azotée

Diagnostic foliaire N

Le tableau 1 réunit les résultats concernant la teneur en azote des feuilles à la véraison pour les essais de Pully et de Changins. Les résultats sont les mêmes dans les deux sites: les teneurs les plus basses sont celles du témoin sans fu-

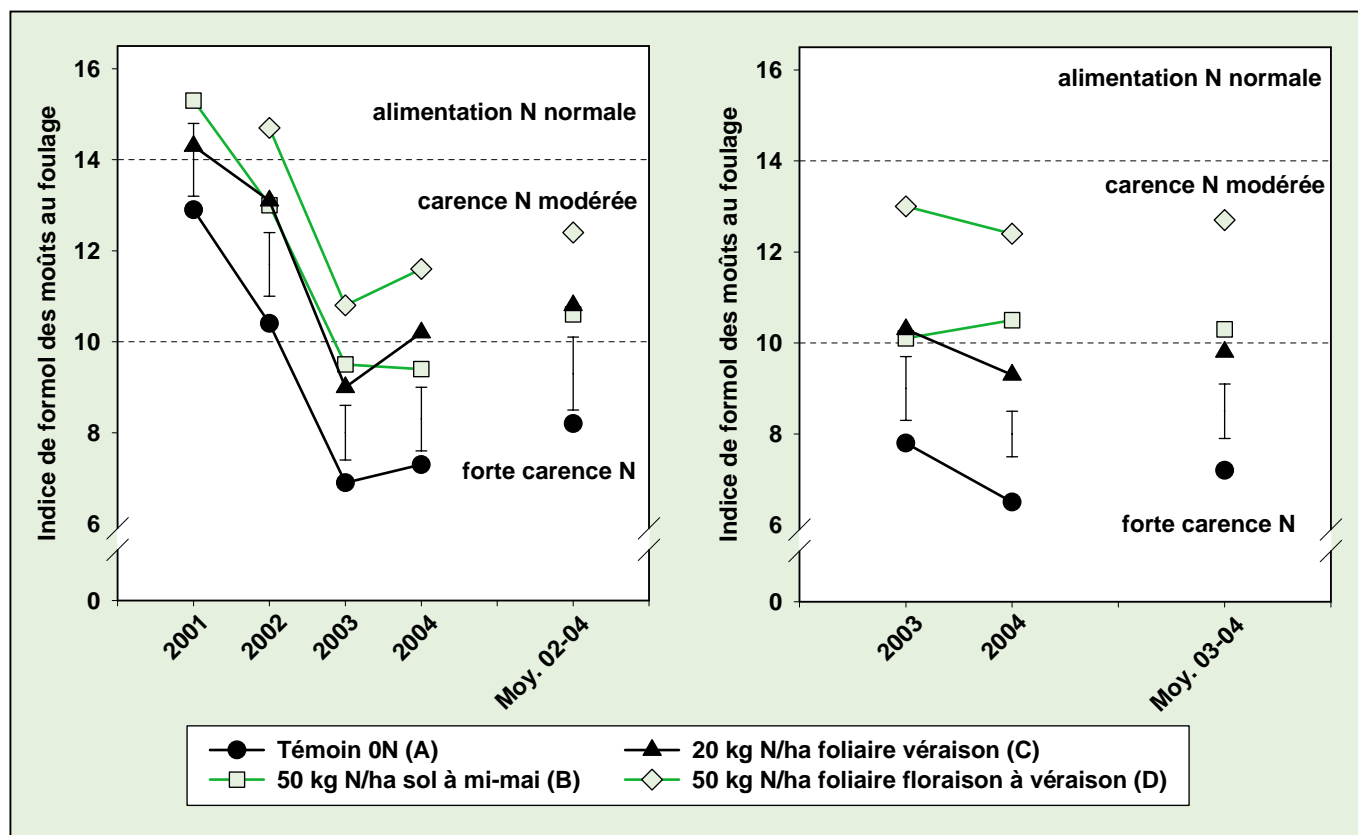


Fig. 1. Essai de fumure azotée sur Chasselas à Pully. Azote dans les moûts au foulage (indice de formol). 2001-2004. Barres verticales = ppds (5%).

Fig. 2. Essai de fumure azotée sur Chasselas à Changins. Azote dans les moûts au foulage (indice de formol). 2003-2004. Barres verticales = ppds (5%).

(1996) est un bon indicateur du niveau de stress hydro-azoté subi par la vigne. Les seuils de l'indice de formol déterminés par Lorenzini (1996) pour le Chasselas sont les suivants:

< 10: carence azotée marquée;

10-14: carence azotée modérée;

> 14: alimentation azotée non limitante.

Les figures 1 et 2 rendent compte des valeurs d'indice de formol observées sur les moûts au foulage pour les essais de Pully et de Changins. Ce paramètre confirme largement les résultats obtenus avec le diagnostic foliaire. La réponse est identique dans les deux sites expérimentaux. Dans les deux cas, les valeurs les plus basses ont été enregistrées chez le témoin sans fumure azotée (variante A). L'application de 20 kg N/ha en quatre pulvérisations d'urée foliaire autour de la véraison a amélioré la teneur en azote des moûts dans la même mesure qu'un apport plus important (50 kg N/ha) effectué sur le cavaillon désherbé au printemps. Il semble donc qu'un apport foliaire tardif d'azote, effectué autour de la véraison, lors du second pic d'absorption d'azote par la vigne (Löhnertz, 1988), soit encore bien valorisé par la plante. Ce fait présente l'intérêt de pouvoir corriger relativement tard dans la saison une situation de stress hydro-azotée identifiée en cours d'été. La comparaison des deux variantes avec apports de 50 kg N/ha – apportés au sol

(variante B) et par pulvérisation foliaire (variante D) – démontre clairement que la fumure foliaire est mieux valorisée par la plante. L'intérêt de l'application foliaire d'urée en viticulture a été étudié dans le Palatinat sur de nombreuses exploitations de 1998 à 2004 (Ziegler, 2005). Les doses testées étaient généralement très inférieures (5 à 8 kg N en trois à quatre applications) à celles utilisées dans nos essais. Les résultats montrent que, dans 50% des cas, les taux d'azote utilisables pour les levures ont augmenté dans les variantes avec apport foliaire d'urée. Cet auteur mentionne que les variantes traitées tendent à être un peu plus sujettes à la pourriture du raisin et au dessèchement de la rafle, ce qui n'a pas été observé dans nos essais.

Teneur en chlorophylle du feuillage (indice N-Tester)

En 2004, l'évolution de l'indice chlorophyllien du feuillage (indice N-Tester) a été suivie de juin à octobre à Pully et à Changins. Les résultats sont reportés dans les figures 3 et 4. Les valeurs de la variante fertilisée au sol au printemps ont été les plus élevées. La variante D, avec fertilisation foliaire de juin à août, présente des valeurs un peu plus élevées que le témoin (variante A) seulement en fin de cycle végétatif. L'apport foliaire tardif autour de la véraison (variante C) ne se distingue guère du té-

moins sans fumure azotée (variante A). L'indice chlorophyllien du feuillage ne traduit, dans ce cas, que très imparfaitement les différences observées avec la teneur en azote dans les feuilles et dans les moûts.

Acides aminés dans les moûts après pressurage

Le tableau 2 rend compte du profil amino-azoté des moûts des essais de Pully et de Changins (moyenne 2003-2004). Toutes les variantes expérimentales montrent que l'arginine est l'acide aminé quantitativement le plus important, qui représente à lui seul plus de 50% de la somme de l'azote aminé. La proline est également présente en proportion importante (12%), suivie de plus loin (2,5 à 5%) par l'alanine, la thréonine, l'acide aminobutyrique, l'acide glutamique, la glutamine, la sérine et l'histidine. La caractérisation de la composition en acides aminés du moût de Chasselas correspond à celle qu'on trouve dans la littérature pour d'autres cépages, mais pas forcément dans les mêmes proportions (Rapp et Versini, 1991; Bisson, 1991).

La détermination de ces composés azotés confirme également la très bonne corrélation existant entre la somme de l'azote aminé et l'indice de formol des moûts ($R^2 = 0,96$). Les effets des différents apports d'azote à la vigne sur la composition amino-azotée des moûts

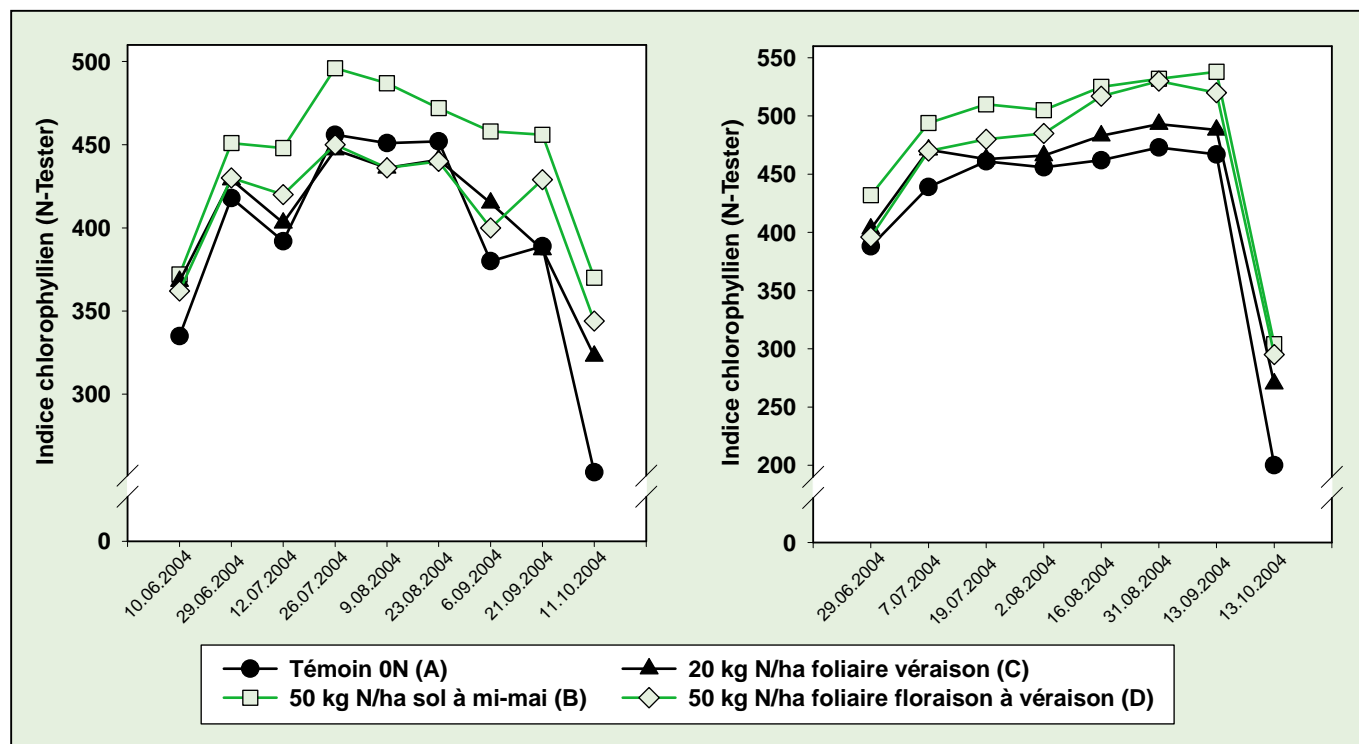


Fig. 3. Essai de fumure azotée sur Chasselas à Pully. **Indice chlorophyllien** des feuilles de la zone des grappes. **Pully 2004.**

Fig. 4. Essai de fumure azotée sur Chasselas à Changins. **Indice chlorophyllien** des feuilles de la zone des grappes. **Changins 2004.**

Tableau 2. Essai de fumure azotée sur Chasselas. Composition azotée des moûts. Moyennes 2003-2004.

Azote aminé (mg AA-N/l)	Chasselas de Pully				Chasselas de Changins			
	Témoin 0N	50 U sol	Urée foliaire 4x (20 U)	Urée foliaire 10x (50 U)	Témoin 0N	50 U sol	Urée foliaire 4x (20 U)	Urée foliaire 10x (50 U)
Ala (alanine)	8,4	12,0	13,2	16,5	7,7	10,7	11,3	14,8
Arg (arginine)	113,9	147,0	165,1	181,4	103,4	161,5	155,7	192,1
AsN (asparagine)	1,4	1,6	1,8	1,9	0,8	1,2	1,6	1,4
Asp (acide aspartique)	3,7	4,4	4,7	4,5	3,6	4,0	3,2	3,7
Cit (citruline)	4,0	7,5	8,7	12,0	3,9	8,0	8,7	12,0
Cys (cystéine)	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
g-ABA (acide gamma-aminobutyrique)	8,2	9,7	10,3	12,1	7,0	8,0	10,1	10,9
Gln (glutamine)	5,4	7,9	8,4	10,2	4,9	5,2	5,8	9,7
Glu (acide glutamique)	6,7	7,2	8,7	8,7	7,5	7,9	7,9	8,7
Gly (glycine)	0,4	0,5	0,5	0,7	0,4	0,5	0,6	0,7
His (histidine)	5,2	8,0	8,5	11,8	6,4	9,5	9,6	12,1
Ile (isoleucine)	1,6	1,9	1,8	2,3	1,7	2,3	2,0	2,5
Leu (leucine)	2,0	2,7	2,7	3,2	2,3	3,3	3,0	3,7
Lys (Lysine)	0,7	0,8	0,8	1,1	0,6	1,0	1,0	1,3
Met (méthionine)	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Orn (ornithine)	0,9	1,4	1,7	2,3	0,7	1,4	1,4	2,1
Phe (phénylalanine)	1,1	1,4	1,4	1,5	1,5	1,8	1,8	2,1
Pro (proline)	24,9	28,3	34,2	38,8	27,6	35,7	34,9	43,3
Ser (sérine)	5,5	7,5	8,6	10,0	6,6	8,2	8,3	10,6
Thr (thréonine)	8,3	10,9	11,7	13,6	7,6	10,6	10,2	12,9
Trp (tryptophane)	2,6	3,3	3,4	4,1	3,4	4,4	4,1	4,3
Tyr (tyrosine)	1,1	1,6	1,7	2,0	1,2	2,0	1,9	2,3
Val (valine)	2,6	3,5	3,4	4,3	2,7	3,7	4,0	4,5
Somme	209,0	269,4	301,7	343,5	201,8	291,2	287,4	355,9
Indice de formol (après pressurage)	8,0	10,8	11,0	12,9	7,9	11,3	11,4	14,5

U = unité d'azote (kg/ha).

sont donc logiquement conformes à ceux décrits pour l'indice de formol: les valeurs les plus basses sont enregistrées dans le témoin sans fumure azotée, l'effet de la pulvérisation foliaire de 20 kg N/ha rejoint, voire dépasse pour la somme de l'azote aminé, celui de 50 kg N/ha distribués au sol et l'effet le plus marqué est observé avec la pulvérisation foliaire de 50 kg N/ha sous forme d'urée.

Tous les principaux acides aminés réagissent positivement à un apport d'azote à la vigne (fig. 5 et 6). Quantitativement (mg/l), ce sont l'arginine et la proline qui y répondent le plus. La glutamine semble moins réactive, tandis que l'effet sur l'histidine, l'alanine et l'acide glutamique paraît plus marqué, comparativement à la variante témoin. L'ampleur de cette augmentation peut être très importante, très variable selon l'acide aminé considéré et pas forcément identique d'un domaine expérimental à l'autre (Pully et Changins).

Diagnostic foliaire P, K, Ca, Mg

Les résultats des teneurs en phosphore, potassium, calcium et magnésium des feuilles prélevées à la véraison sont présentés dans le tableau 3. Les variantes

expérimentales ont peu influencé ces paramètres. Tout au plus peut-on noter que les teneurs en magnésium tendent à être plus basses dans le témoin (variante A) sans fumure azotée. Le même phénomène a été signalé par Maigre (1995) pour des vignes soumises à un fort stress hydro-azoté.

Tableau 3. Essai de fumure azotée sur Chasselas. Diagnostic foliaire P, K, Ca, Mg à la véraison. Pully, moyennes 2002-2004. Changins, moyennes 2003-2004.

	Variantes	Éléments (% MS)			
		P	K	Ca	Mg
Pully	A	0,19	1,80	2,75	0,17
	B	0,16	1,60	2,91	0,22
	C	0,18	1,88	2,92	0,22
	D	0,18	1,79	2,84	0,20
Changins	A	0,19	1,14	2,52	0,26
	B	0,15	1,18	2,59	0,31
	C	0,18	1,36	2,83	0,33
	D	0,16	1,37	2,77	0,34

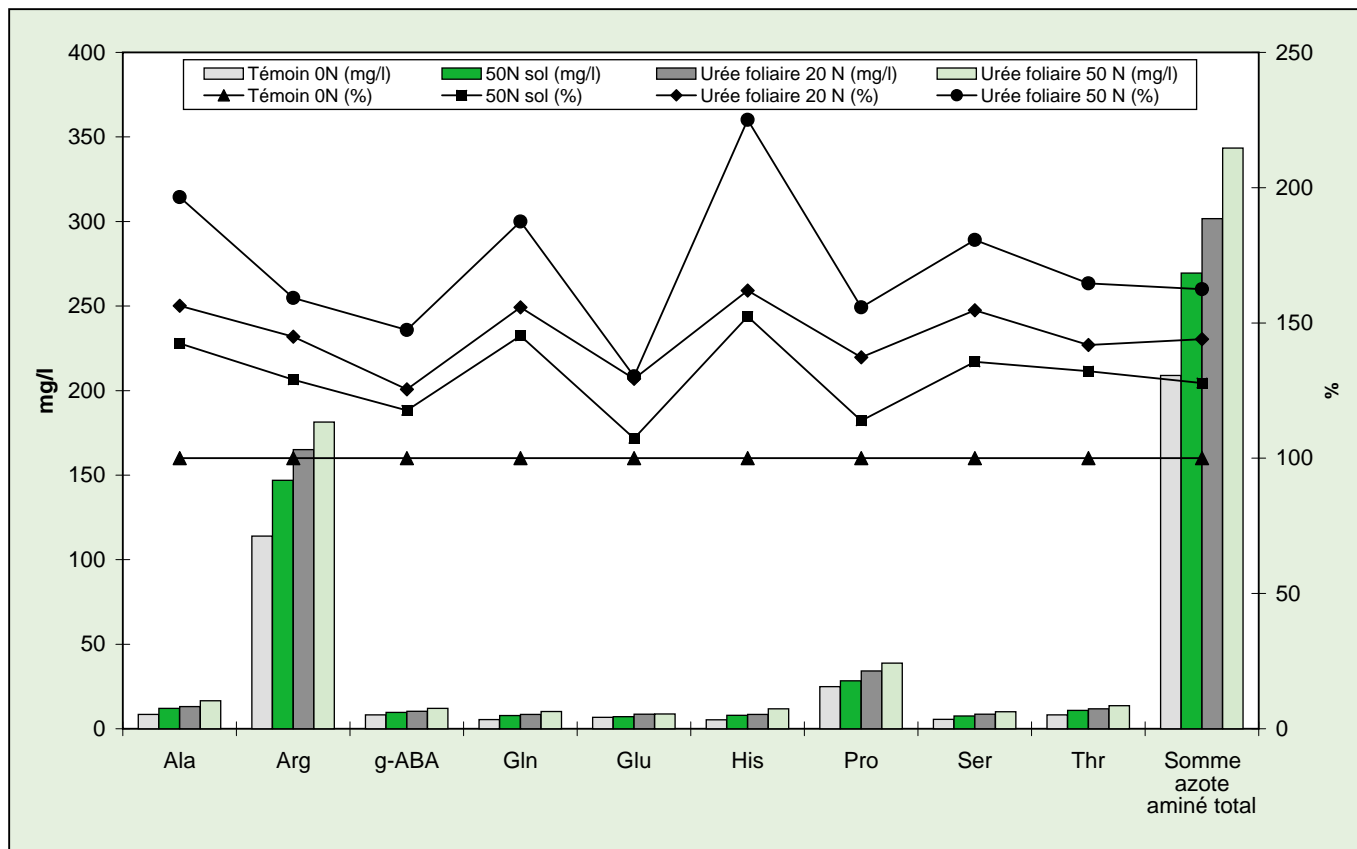


Fig. 5. Essai de fumure azotée sur Chasselas à **Pully**. Effet des apports de fumure azotée sur les **principaux acides aminés** (mg/l et % par rapport au témoin, moyennes 2003-2004).

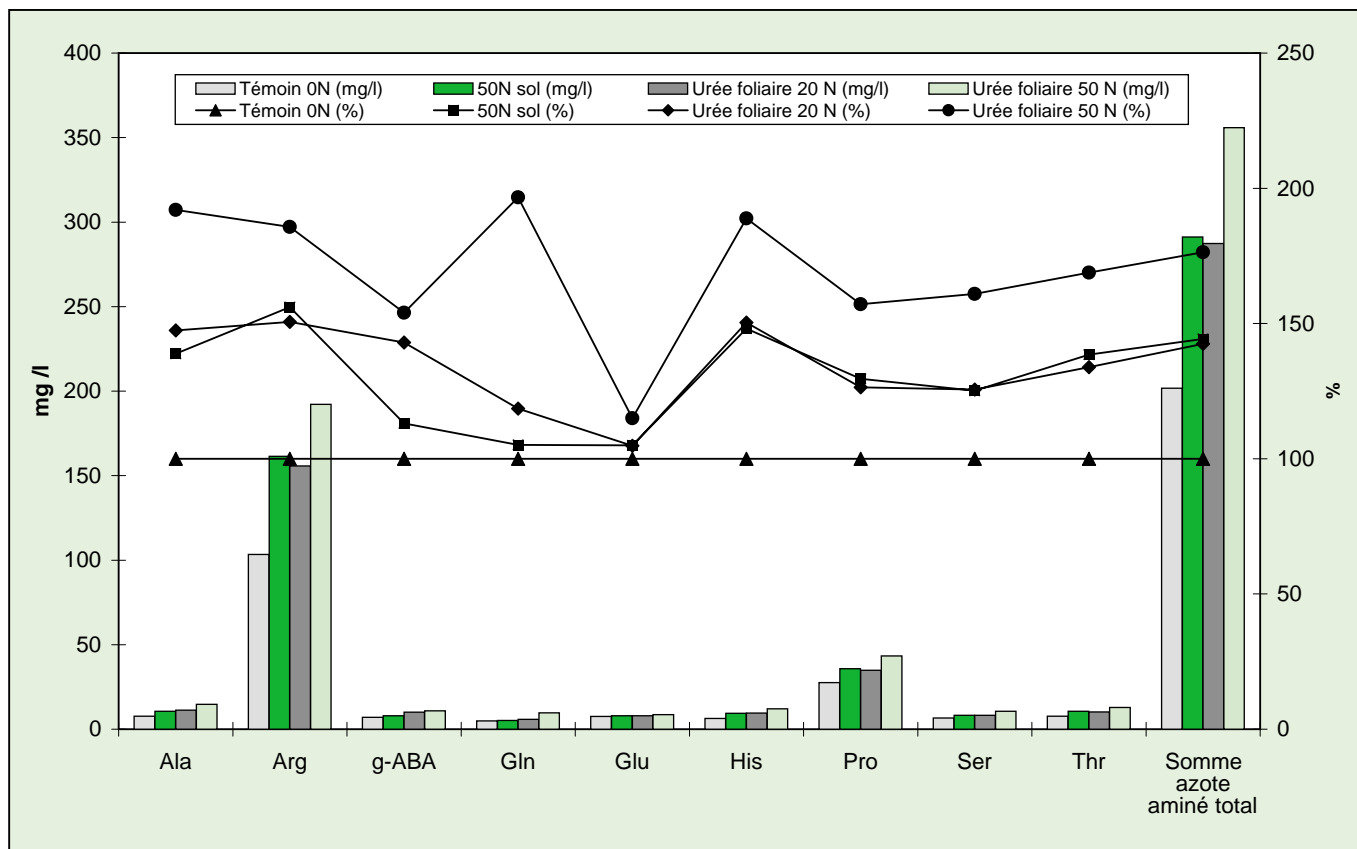


Fig. 6. Essai de fumure azotée sur Chasselas à **Changins**. Effet des apports de fumure azotée sur les **principaux acides aminés** (mg/l et % par rapport au témoin, moyennes 2003-2004).

Expression végétative

Le tableau 4 réunit les poids des bois éliminés à la taille pour les essais de Pully et de Changins. Les différences n'ont pas été significatives pour l'essai de Pully. A Changins, l'apport d'azote au sol (variante B) a favorisé une vigueur un peu plus importante, alors que les deux variantes (C et D) avec apport foliaire ne se sont pas distinguées significativement du témoin.

Tableau 4. Essai de fumure azotée sur Chasselas. Poids des bois éliminés à la taille. Pully, moyennes 2002-2004. Changins, moyennes 2003-2004.

Variantes	Poids des bois (g/cep)	
	Pully	Changins
A	568	387
B	592	483
C	592	434
D	577	435
ppds p = 0,05	non significatif	80

Composantes du rendement

Les observations concernant les composantes du rendement sont reportées dans le tableau 5. Les différences ont été peu importantes et non significatives pour l'essai de Changins, avec des tendances semblables dans les deux sites expérimentaux. Les variantes avec apport de 50 kg N/ha, au sol (variante B) et sur les feuilles (variante D), semblent avoir favorisé le poids des grappes, ce qui s'est traduit par des rendements légèrement plus élevés. Le témoin sans fumure azotée (variante A) et la variante avec apport foliaire tardif de 20 kg N/ha autour de la véraison ont fourni des rendements très similaires.

Analyses des moûts au foulage

Le tableau 6 réunit les observations sur la teneur en sucre, l'acidité totale, l'acide tartrique et malique, ainsi que sur le pH des moûts au foulage. Dans les deux essais, les apports d'azote au sol (variante B) se sont traduits par des moûts contenant légèrement moins de sucre, ce qui se rapporte peut-être à la vigueur un peu plus importante de cette variante. Les différences d'acidités entre les moûts des différents procédés ont été limitées. Les pH sont légèrement plus élevés dans les variantes avec apport foliaire d'azote.

Tableau 5. Essai de fumure azotée sur Chasselas. Composantes du rendement. Pully, moyennes 2002-2004. Changins, moyennes 2003-2004.

	Variantes	Fertilité des bourgeons (nb grappes/bois)	Poids des baies (g)	Poids des grappes (g/grappe)	Rendement (kg/m ²)
Pully	A	2,1	2,97	369	0,94
	B	2,0	3,12	438	1,11
	C	2,1	3,11	390	0,98
	D	2,0	3,17	437	1,12
	ppds p = 0,05	non significatif	non significatif	52	0,10
Changins	A	2,2	2,47	309	0,92
	B	2,3	2,42	378	1,11
	C	2,1	2,57	338	0,99
	D	2,2	2,64	370	1,06
	ppds p = 0,05	non significatif	non significatif	non significatif	non significatif

Tableau 6. Essais de fumure azotée sur Chasselas. Analyse des moûts au foulage. Pully, moyennes 2002-2004. Changins, moyennes 2003-2004.

	Variantes	Réfractométrie (°Oe)	Acidité totale ¹ (g/l)	Acide tartrique (g/l)	Acide malique (g/l)	pH
Pully	A	76,8	5,7	5,5	2,5	3,36
	B	74,2	5,9	5,6	2,5	3,36
	C	76,2	5,7	5,6	2,5	3,40
	D	76,4	5,8	5,6	2,7	3,42
	ppds p = 0,05	1,6	non significatif	non significatif	non significatif	0,03
Changins	A	82,3	5,2	6,4	1,4	3,38
	B	77,6	5,4	6,3	1,7	3,39
	C	81,1	5,5	6,4	1,6	3,43
	D	79,0	5,3	6,4	1,9	3,44
	ppds p = 0,05	3,2	non significatif	non significatif	0,4	0,03

¹Exprimée en acide tartrique.

Fermentations alcoolique et malolactique

L'effet des apports d'azote à la vigne sur la composition azotée des moûts et la durée de leur fermentation alcoolique (moyenne des deux sites et des deux

millésimes) est représenté à la figure 7. L'allure des courbes de l'indice de formol et de la somme des acides aminés souligne la très bonne corrélation déjà évoquée entre ces deux paramètres. Le moût du témoin, avec une moindre teneur azotée, a eu une fermentation al-

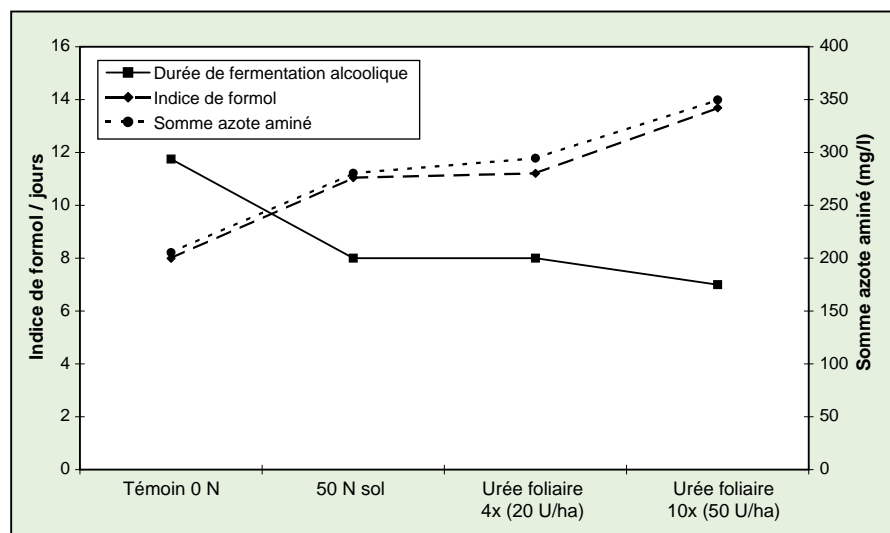


Fig. 7. Composition azotée des moûts et durée de fermentation alcoolique. Moyennes des deux sites (Pully et Changins) et des deux millésimes (2003-2004).

Tableau 7. Essais de fumure azotée sur Chasselas. Analyses des vins en bouteilles. Moyennes 2003-2004.

Composants	Chasselas de Pully				Chasselas de Changins			
	Témoin 0N	50N sol	Urée foliaire 4x (20U/ha)	Urée foliaire 10x (50U/ha)	Témoin 0N	50N sol	Urée foliaire 4x (20U/ha)	Urée foliaire 10x (50U/ha)
Ethanol (vol. %)	11,0	11,1	11,2	11,5	11,8	11,9	12,0	12,0
Sucres (g/l)	0,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0	1,2	1,1
pH	3,60	3,58	3,63	3,71	3,53	3,52	3,59	3,59
Acidité volatile (g/l)	0,50	0,44	0,45	0,45	0,36	0,37	0,43	0,44
Acidité totale ¹ (g/l)	4,4	4,3	4,1	3,6	3,7	3,8	3,4	3,5
Acide malique (g/l)	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Acide tartrique (g/l)	1,4	1,5	1,4	1,4	1,7	1,9	1,8	1,9
Acide lactique (g/l)	1,7	1,7	1,7	1,6	1,1	1,1	1,0	1,1
Glycérol (g/l)	6,0	6,4	6,5	6,1	5,9	5,9	5,6	5,6
2- et 3-méthyl-1-butanol (mg/l)	203,9	222,1	203,4	181,5	248,3	200,8	203,0	168,2
Phényl-2-éthanol (mg/l)	27,9	30,3	26,1	20,4	52,7	33,9	30,6	21,7

¹Exprimée en acide tartrique.

coolique systématiquement plus longue. Les moûts des variantes avec 20 kg N/ha sous forme foliaire et 50 kg N/ha au sol, de teneur azotée voisine, ont eu une fermentation de même durée. Le moût de la variante à 50 kg N/ha sous forme foliaire avait une teneur en azote plus élevée et sa fermentation alcoolique a été plus courte. Ces essais confirment ainsi le rôle prépondérant de la richesse en azote des moûts sur le bon déroulement de la fermentation alcoolique.

La fermentation malolactique des vins s'est déroulée correctement dans tous les cas, avec des délais d'achèvement relativement courts (20 à 30 jours). Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les différentes variantes viticoles, en raison notamment de l'utilisation de préparations bactériennes performantes et de conditions du milieu favorables et très voisines (composition chimique du vin).

Analyse des vins

La composition chimique des vins est indiquée dans le tableau 7. Les variantes n'ont pas suscité de réelles différences entre les valeurs d'alcool, d'acidité volatile, d'acides tartrique et lactique et de glycérol. Les pH ont été par contre plus élevés et les acidités totales plus faibles dans les variantes avec pulvérisation d'urée foliaire que dans le témoin et la variante fumure au sol. Concernant

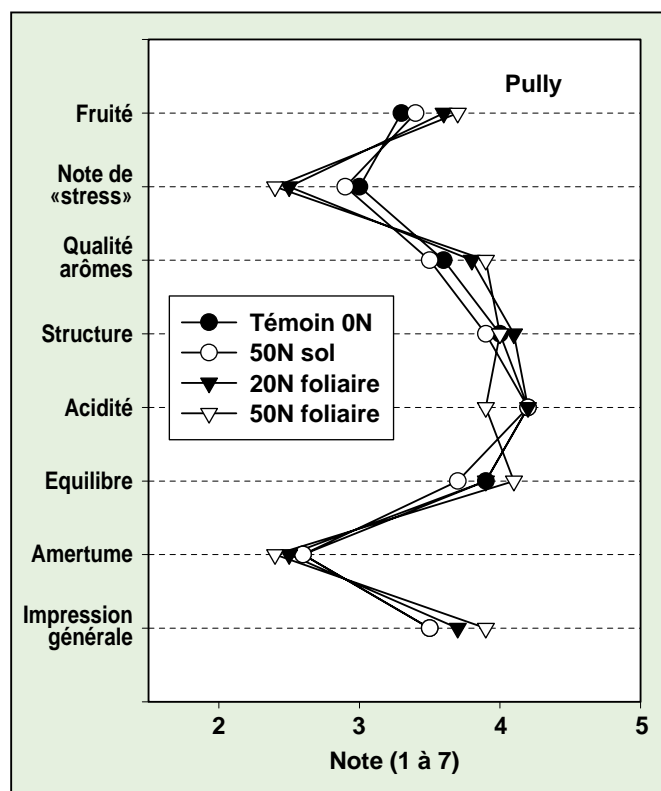


Fig. 8. Essai de fumure azotée sur Chasselas à Pully. Caractéristiques organoleptiques des vins (moyennes 2003-2004).

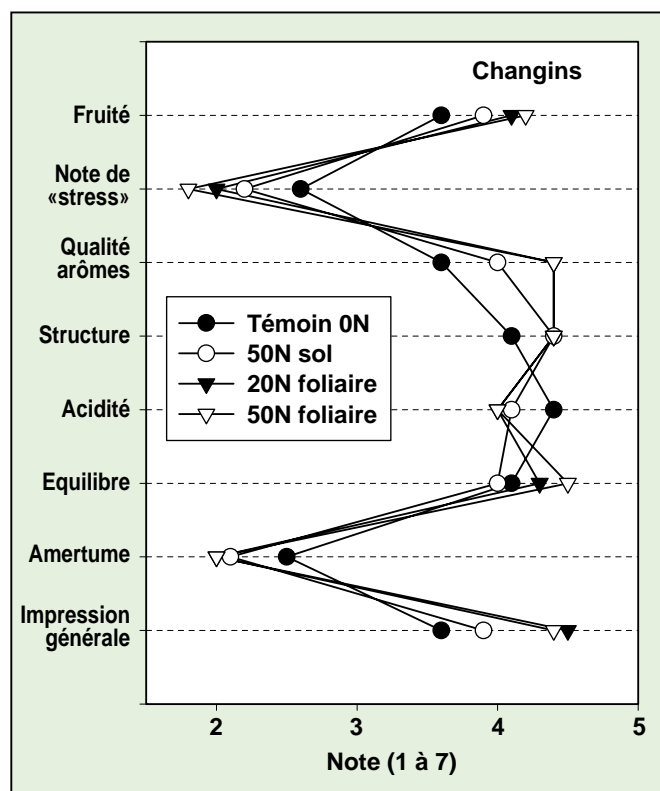


Fig. 9. Essai de fumure azotée sur Chasselas à Changins. Caractéristiques organoleptiques des vins (moyennes 2003-2004).

les alcools supérieurs, les différences ont été également bien marquées. Les teneurs en 2- et 3- méthyl-1-butanol et en phényl-2-éthanol ont été systématiquement moins élevées dans la variante 50 kg N/ha sous forme foliaire. Les valeurs les plus élevées ont été relevées dans la variante 50 N au sol de l'essai de Pully et dans la variante témoin de l'essai de Changins.

La teneur en alcools supérieurs des vins apparaît généralement inversement proportionnelle à la quantité d'azote dans les moûts (Rapp et Versini, 1991; Maigre *et al.*, 1995; Spring, 2003). Les résultats des essais conduits à Changins, sur l'indice de formol ou la somme de l'azote aminé, sont allés significativement dans ce sens. Dans les essais de Pully, cette relation a été moins flagrante. Considérés individuellement, les acides aminés glycine, histidine et lysine ont contribué largement à cette corrélation, contrairement à l'acide aspartique et à la méthionine.

Qualité des vins

Les figures 8 et 9 représentent les profils sensoriels des vins tracés à partir de la moyenne 2003-2004 des dégustations effectuées quelques semaines après la mise en bouteilles. Les vins issus des variantes avec apport foliaire d'azote (20 kg N/ha et 50 kg N/ha) ont été systématiquement mieux appréciés que les vins témoins sans apport d'azote et que ceux de la variante 50 kgN/ha au sol. Ils sont apparus plus fruités, avec un caractère de «stress» et une amertume moins marqués. Les vins de la variante 50 kg N/ha au sol ont été jugés équivalents ou supérieurs au témoin, ce qui démontre que les apports au sol n'ont pas permis de réduire aussi nettement les caractères négatifs liés à une concurrence hydro-azotée marquée à la vigne. Ces résultats ont été confirmés par une dégustation effectuée après sept (millésime 2004) et dix-neuf mois de bouteille (millésime 2003).

En prenant en compte la composition chimique des moûts et des vins, il apparaît que la qualité sensorielle des vins a été jugée de manière inversement proportionnelle à leur teneur en alcools supérieurs, en particulier en phényl-2-éthanol, comme cela a été montré par Maigre *et al.* (1995) et Spring (2003). Les résultats de ces dégustations sont également très bien corrélés positivement avec la teneur des moûts en composés azotés, confirmant ainsi les résultats de la littérature (Rapp et Versini, 1991; Maigre *et al.*, 1995; Spring 2002b et 2003). Considérés individuellement,

presque tous les acides aminés, en particulier l'asparagine et l'acide aminobutyrique, ont contribué à cette relation, hormis l'acide aspartique, la cystéine et la méthionine.

Remarques générales sur la fumure azotée par pulvérisation foliaire d'urée

Les différents expérimentateurs qui ont conduit des essais de correction azotée par voie foliaire (Ziegler, 2003; Raifer, 1999; Fox, 1997) s'accordent à relever que cette forme de fertilisation ne remplace en aucun cas une gestion équilibrée de la nutrition azotée de la vigne par le sol, notamment au travers des modalités d'entretien du sol. L'intérêt de l'apport par voie foliaire est de permettre de résoudre des cas de carences azotées identifiées relativement tardivement en cours de saison (Ziegler, 2003). Dans nos essais, les pulvérisations d'urée ont été effectuées indépendamment des traitements phytosanitaires avec des volumes de bouillie voisins de 500 l/ha (point de dégouttage) et tôt le matin, afin de garantir un ressuyage lent. Fox (1997) relève une meilleure absorption de l'azote lorsque le feuillage reste longtemps humide après l'application. La concentration élevée (1%) utilisée dans nos essais a parfois causé quelques nécroses marginales sur le feuillage. En général, une concentration d'urée de plus de 0,5% dans la bouillie n'est pas conseillée en raison des risques de phytotoxicité (Ziegler, 2005). Lors d'une application combinée avec des produits phytosanitaires, les problèmes éventuels de miscibilité et de compatibilité doivent être considérés. Des pulvérisations d'urée durant la période de floraison de la vigne sont à proscrire en raison des risques accrus de coulure et de millerandage.

Remerciements

Nous tenons particulièrement à remercier la firme Optisol pour la mise à disposition de l'urée à faible teneur en biuret (Folur®), ainsi que pour la prise en charge des frais d'analyse des acides aminés dans les moûts et du diagnostic foliaire en 2004. Nous remercions également l'ensemble du personnel de la section Viticulture et Œnologie d'Agroscope Changins-Wädenswil qui a participé à cette expérimentation à la vigne, à la cave et au laboratoire.

Conclusions

- ❑ L'équilibre de l'alimentation azotée de la vigne doit être assuré prioritairement par une disponibilité suffisante dans le sol, notamment par un entretien du sol adapté.
- ❑ Des compléments sous forme de pulvérisation foliaire peuvent se révéler efficaces pour résoudre des cas de carences manifestes identifiées en cours de saison.
- ❑ Dans le cadre d'essais conduits à Pully (VD) et à Changins (VD) sur des vignes enherbées soumises à une concurrence azotée assez importante, l'apport foliaire d'azote sous forme d'urée à faible teneur en biuret (Folur®) a été mieux valorisé par la plante que des quantités équivalentes apportées au sol.
- ❑ Une quantité réduite d'azote (20 kg N/ha), appliquée tardivement autour de la véraison sur les feuilles, a autant corrigé le taux d'azote dans les moûts (indice de formol ou acides aminés) que des quantités plus importantes (50 kg N/ha) distribuées au sol au printemps.
- ❑ La vigueur et le potentiel de production de la vigne n'ont été que peu influencés par les différentes modalités de fumure azotée.
- ❑ Les corrections sous forme d'urée foliaire ont influencé positivement la composition azotée des moûts et par conséquent leur cinétique fermentaire.
- ❑ La teneur des vins en phényl-éthanol a été plus basse dans les variantes avec apports foliaires d'urée.
- ❑ Dans les vins, les corrections effectuées par pulvérisation foliaire d'urée se sont traduites par une diminution des caractères négatifs liés au stress hydro-azoté.

Bibliographie

- Aerny J., 1996. Composés azotés des moûts et des vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **28** (3), 161-165.
- Bisson L. F., 1991. Influence of nitrogen on yeast and fermentation of grapes. International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine, 78-89.
- Christoph N., Bauer-Christoph C., Gessner M. & Köhler H. J., 1995. Die «Untypische Alterungsnote» im Wein. Teil 1: Untersuchungen zum Auftreten und zur sensorischen Charakterisierung der «Untypischen Alterungsnote». *Rebe u. Wein* **9**, 350-356.

Fox R., 1997. Nährstoffversorgung: ist die Blatt-düngung im Weinbau interessant? *Der deutsche Weinbau* **15**, 20-23.

Löhnertz O., 1988. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme bei *Vitis vinifera* (cv. Riesling). Dissertation, Universität Giessen, 228 p.

Löhnertz O., 1998a. Begrünung und Weinqualität in «Gesunder Boden durch Begrünung». *Compte-rendu 5^e Symposium international «Technik im Weinbau»*, Stuttgart, Allemagne, 12-13 mai 1998, 101-112.

Löhnertz O., Prior B., Bleser M. & Linsenmeier A., 1998b. Einfluss von weinbaulichen Massnahmen auf die Aminosäuregehalte in Trauben und Most der Sorte Riesling. *Actes du colloque «Intervitis»*, Stuttgart, Allemagne, 12 mai 1998, 1-23.

Lorenzini F., 1996. Teneur en azote et fermentescibilité des moûts. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **27**, 237-251.

Maigre D., Aerny J. & 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.

Masson P. & Bertoni G., 1996. Essai d'enherbement d'un vignoble méridional à base de trèfle souterrain, synthèse de six années d'expérimentation. *Actes du 11^e colloque «Begrünung im Weinbau»*, Kaltern, Allemagne, 28-31 août 1996, 140-142.

Raifer B., 1999. Stickstoffversorgung und Weinqualität. *Obstbau-Weinbau Fachblatt des süd-tiroler Beratungsringes* **36** (5), 155-157.

Rapp A. & Versini G., 1991. Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds of wines. *International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*. 156-164.

Schwab A. L., Peternel M., Köhler J. & Hergel K.-P., 1996. Die untypische Alterungsnote im Wein. *Rebe und Wein* **6**, 181-187.

Schwab A.L., Peternel M., 1997. Untersuchung der Auswirkungen einer langjährigen Dauerbegrünung auf die Most- und Weinqualität unter fränkischen Boden- und Klimaverhältnissen. *Vitic. Enol. Sci.* **52** (1), 20-26.

Spring J.-L., 1999. Indice chlorophyllien du feuillage et nutrition azotée du cépage Chasselas. Premières expériences en Suisse romande. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **31** (3), 141-145.

Spring J.-L., Zufferey V., 2000. Intérêt de la détermination de l'indice chlorophyllien du feuillage en viticulture. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **32** (6), 323-328.

Spring J.-L., 2001. Influence du type d'enherbement sur le comportement de la vigne et la qualité des vins. Résultats d'un essai sur Chasselas dans le bassin lémanique. 1. Résultats agronomiques. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **33** (5), 253-260.

Spring J.-L., 2002a. Influence du type d'enherbement sur le comportement de la vigne et la qualité des vins. Résultats d'un essai sur Chasselas dans le bassin lémanique. 2. Résultats œnologiques. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **34** (2), 111-116.

Spring J.-L., 2002b. Valorisation de la fumure azotée en vignes enherbées. Résultats d'un essai sur Chasselas dans le bassin lémanique. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **34** (5), 289-296.

Spring J.-L., 2003. Localisation de la fumure azotée sur l'intercep dans les vignes enherbées. Résultats d'un essai sur Chasselas dans le bassin lémanique. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **35** (2), 113-119.

Summary

Effect of foliar urea application on nitrogen supply and wine quality of Chasselas in grass-covered vineyards

The efficacy of nitrogen fertilization by applying foliar urea in grass-covered vineyards relatively sensitive to high nitrogen competition has been studied in the experimental vineyards of Swiss federal Research Station Agroscope Changins-Wädenswil at Pully (VD) and Changins (VD).

The same nitrogen quantity (50 kg N/ha) applied on the leaves from June to August was better used by the plants than nitrogen added to the soil in spring. A reduced amount of nitrogen (20 kg N/ha) applied late in the season on the leaves (around veraison) brought about the same correction of nitrogen levels in the musts (formol index) as greater quantities (50 kg N/ha) applied to the soil in spring. The different modalities of nitrogen fertilization had little influence on vigor and productive potential of the vines. Corrections of nitrogen levels by foliar fertilization reduced the negative characters of the wines induced by water-nitrogen stress.

Key words: grapevine, nitrogen competition, nitrogen fertilization, urea, wine quality.

Zusammenfassung

Einfluss des Ausbringens von Blatt-Harnstoff auf die Stickstoff-Ernährung von Chasselas in begrüneten Weinbergen

Reben in begrüneten Weinbergen unterstehen einer grossen Stickstoff-Konkurrenz. Die Wirksamkeit des Ausbringens von Blatt-Harnstoff wurde auf Experimentier-Parzellen von Agroscope Changins-Wädenswil in Pully (VD) und Changins (VD) studiert.

Der gleiche Eintrag (50 kg N/ha), von Juni bis August auf Blätter ausgebracht, wurde von der Pflanze besser verwertet als eine Bodendüngung im Frühling. Das verspätete (um das Weichwerden) Ausbringen einer reduzierten Menge von Blatt-Stickstoff (20 kg N/ha) führte zur gleichen Korrektur des Stickstoff-Gehaltes im Most (Formol-Index oder Amino-Säuren) wie die im Frühling ausgebrachten höheren Mengen (50 kg N/ha). Die Wüchsigkeit und das Produktions-Potential der Reben wurden durch die verschiedenen Arten der Stickstoff-Zugabe nur wenig beeinflusst. Die durch Blatt-Stickstoff bewirkten Korrekturen führte im Wein zu einer Verminderung der durch den Wasser-Stickstoff-Stress verursachten negativen Eigenschaften.

Riassunto

Effetto dell'apporto fogliare d'urea nell'alimentazione azotata del Chasselas in vigne inerbite

Nei vigneti sperimentali dell'Agroscope Changins-Wädenswil a Pully ed a Changins (VD), è stata studiata l'incidenza dell'apporto fogliare di urea in vigneti inerbiti e sottoposti ad una concorrenza azotata abbastanza importante.

La stessa quantità di azoto (50 kg N/ha) distribuita da giugno a agosto sotto forma di fertilizzante fogliare è stata meglio valorizzata dalla pianta rispetto all'apporto nel suolo effettuato in primavera.

L'apporto, sempre per via fogliare, di quantitativi ridotti di azoto (20 kg N/ha) applicato tardivamente sulla pianta (periodo dell'invaatura) ha portato la stessa correzione del tasso di azoto presente nei mosti (indice di formolo) rispetto all'apporto di quantitativi più importanti nel suolo (50 kg N/ha) distribuiti in primavera. Il vigore e il potenziale produttivo della pianta sono stati poco influenzati dalle diverse modalità di apporto dell'azoto. Le correzioni azotate effettuate tramite l'apporto di urea fogliare hanno evidenziato una diminuzione dei caratteri negativi nei vini legati agli stress idrico-azotati.

Spring J.-L., Ryser J.-P., Schwarz J.-J., Basler P., Bertschinger L. & Häseli A., 2003. Données de base pour la fumure en viticulture. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **35** (4), 1-24.

Spring J.-L. & Lorenzini F., 2005. Effect of foliar urea spraying on the nitrogen supply to Chasselas vines in vineyards with grass swards between rows. *Actes du 15^e colloque «Begrünung im Weinbau»*, Weinsberg, Allemagne, 14-16 septembre 2005.

Stotz J., 1994. Die Stickstoffversorgung der Rebe durch Begrünung mit Leguminosen in drei Weinbaubereichen Badens. Dissertation, Universität Hohenheim, 169 p.

Ziegler B., 2003. Blattdüngung: rasch ins Blatt. *Das deutsche Weinmagazin* **11**, 32-35.

Ziegler B., 2005. Untersuchungen zur N-Blattdüngung im Weinbau. *Actes du 15^e colloque «Begrünung im Weinbau»*, Weinsberg, Allemagne, 14-16 septembre 2005.