

Complémentation foliaire azotée du cépage *Vitis vinifera* Doral dans le canton de Vaud

Thibaut VERDENAL¹, Vivian ZUFFEREY¹, Jean-Laurent SPRING¹, Johannes RÖSTI¹, Ágnes DIENES-NAGY², Fabrice LORENZINI², Jean-Luc WOLFENDER³, Jorge SPANGENBERG⁴, Stéphane BURGOS⁵, Katia GINDRO¹ et Olivier VIRET¹

¹Agroscope, Institut des sciences en production végétale (IPV)

²Agroscope, Institut des sciences en denrées alimentaires (IDA)

³Université de Genève, Faculté des Sciences

⁴Université de Lausanne, Institut des dynamiques de la surface terrestre (IDYST)

⁵Changins | Haute école de viticulture et œnologie, 1260 Nyon

Renseignements: Thibaut Verdenal, e-mail: thibaut.verdenal@agroscope.admin.ch, tél. +41 58 468 65 61, www.agroscope.ch



Apport d'urée foliaire sur Doral à la véraison (photo Thibaut Verdenal, Agroscope).

Introduction

Lors de la vinification de raisins, il est admis qu'une concentration de 140 mg N/l d'azote assimilable (YAN) – acides aminés (AA) et ammonium (NH_4^+) – dans le moût est indispensable au bon déroulement de la fermentation alcoolique (Hamman et al. 2016) et qu'une

concentration supérieure à 200 mg N/l garantit une teneur suffisante en AA pour développer une expression aromatique optimale, en particulier pour les vins blancs (Rapp et Versini 1991; Spring et Lorenzini 2006; Lorenzini et Vuichard 2012). L'alimentation azotée de la vigne, et notamment la teneur en YAN des moûts, dépend de nombreux paramètres pédo-climatiques liés au

terroir (structure du sol, profondeur d'enracinement, réserve utile en eau, précipitations) (Reynard *et al.* 2011). Chez les vignes prédisposées à la carence en azote des moûts, un apport d'urée foliaire à la véraison peut significativement renforcer la concentration en YAN (Lacroux *et al.* 2008; Dufourcq *et al.* 2009; Verdernal *et al.* 2015), sans augmenter la vigueur de la vigne (Lasa *et al.* 2012).

Avec le soutien de la Fédération vaudoise des vignerons, Agroscope a observé un réseau de parcelles de Doral entre Villeneuve et Nyon (VD) pour suivre la variabilité des teneurs en YAN selon le millésime et le type de sol et évaluer d'autre part l'intérêt d'un apport d'urée foliaire contre les carences en YAN dans les moûts.

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental

Avec l'aide des vignerons de la région lémanique, Agroscope a mis en place et observé un réseau de cinq parcelles de Doral (cépage blanc Chasselas x Chardonnay) en 2012, 2013 et 2014 (tabl. 1). Toutes les vignes étaient greffées sur 3309C, plantées en 2003 et conduites en Guyot simple. Les profils pédologiques de chaque parcelle ont été réalisés par la Haute école de Changins en hiver 2013. Chaque parcelle a été divisée en deux modalités de 60 ceps chacune: une variante témoin sans fertilisation azotée et une variante avec 20 kg N/ha d'urée foliaire appliqué en quatre fois autour de la véraison pendant trois ans. En 2013, le vignoble de Changins a été détruit par la grêle le 20 juin, empêchant toute valorisation de résultats.

Expression végétative

La fertilité a été estimée chaque année sur 20 ceps par variante. L'écart phénologique entre variantes et entre parcelles a été observé en 2012 et 2014 à la floraison sur 50 inflorescences par variante. Les rendements ont été régulés à 1 kg/m². La vigueur de la vigne a été estimée par la pesée de 50 sarments par variante prélevés pendant l'hiver sur l'avant-dernière position de la branche

Résumé A l'initiative de la Fédération vaudoise des vignerons, Agroscope a suivi un réseau de parcelles de vignes pour observer la variabilité des teneurs en azote assimilable par les levures dans le moût (YAN) du cépage Doral (Chasselas x Chardonnay) dans les conditions pédoclimatiques du canton de Vaud. Sur chaque parcelle, un témoin sans fertilisation azotée et une variante recevant 20 kg N/ha d'azote foliaire autour de la véraison ont permis d'évaluer l'efficacité de l'apport d'urée foliaire sur la concentration en YAN et son impact sur la qualité des vins. Les teneurs en YAN ont fortement varié en fonction des sites, mais l'impact du millésime s'est avéré largement dominant. Certains sites ont régulièrement permis une meilleure valorisation de l'urée sous forme de YAN. Pour plus de 90 % des vins de Doral, dont plus de 50 % de façon significative, la note d'impression générale a été meilleure avec l'apport d'urée à la vigne.

à fruit. La surface foliaire exposée (SFE) a été déterminée début août deux fois par variante d'après la méthode de Murisier et Zufferey (1997).

Alimentation minérale et hydrique

L'indice chlorophyllien a été mesuré par variante toutes les trois semaines au moyen d'un appareil N-tester (Yara, Paris) sur 2 x 30 feuilles principales et adultes de la zone des grappes. Ces indices ont été interprétés selon les seuils établis pour le cépage de référence Chasselas (Spring *et al.* 2003). Le laboratoire Sol-Conseil à Gland a réalisé le diagnostic foliaire des principaux éléments minéraux (N, P, K, Ca, Mg) chaque année sur des échantillons de 25 feuilles adultes de la zone des

Tableau 1 | Description des parcelles de Doral du réseau d'étude

	Altitude (m)	Géologie	Type sol	Profondeur sol (cm)	Réserve utile en eau (mm)	Eléments grossiers (%)	Hydromorphie	Densité plantation (ceps/ha)
Villeneuve	462	Eboulis	Peyrosol	140	50	75	–	7800
Cully	490	Moraine sur molasse (marne)	Calcosol	160	151	20	–	7800
Pully	469	Moraine graveleuse	Brunisol	180	230	15	–	5000
Vufflens	487	Moraine sur molasse	Calcosol	150	200	5	Rédoxique	6250
Changins	442	Moraine de fond	Calcosol	150	185	5	Rédoxique	5900

grappes (limbe + pétiole) prélevées après le quatrième apport d'urée foliaire: les résultats ont été interprétés selon les seuils établis pour le Chasselas (Spring *et al.* 2003). L'Université de Lausanne (IDYST) a mesuré la discrimination isotopique du carbone ($\delta^{13}C$) dans les sucres des moûts à la vendange, qui permet d'estimer la contrainte hydrique subie par la vigne pendant la maturation du raisin: celle-ci est considérée comme élevée lorsque le $\delta^{13}C$ dépasse -23‰ , modérée entre -23 et $-24,5\text{‰}$ et absente en dessous de $-24,5\text{‰}$ (van Leeuwen *et al.* 2009).

Analyse des moûts et des vins

Le suivi hebdomadaire de la maturation des raisins a été réalisé par spectroscopie infrarouge (WineScan, FOSS) sur 200 baies par variante: poids de baie, sucres solubles, acidité totale (en éq. acide tartrique), acides tartrique et malique, pH, AA et NH_4^+ . La composition des AA dans les moûts à maturité a été déterminée en 2012 et 2013.

A la vendange, les producteurs ont fourni 50 kg de raisin par variante qui ont été vinifiés séparément à la cave d'Agroscope selon un protocole standard en volume de 30l. Les paramètres suivants ont été analysés dans les vins: alcool, extrait sec, pH, acidité volatile, acidité totale, acides tartrique, malique et lactique, glycérol, SO_2 libre et total, intensité colorante. L'analyse sen-

sorielle a été réalisée par le panel entraîné d'Agroscope: les vins ont été comparés par site (témoin vs urée) en 2012, 2013 et 2014, et par variante en 2013 et 2014. La description statistique des données a été faite avec le programme XLSTAT (Adinsoft, Paris, version 2011.2.04).

Résultats et discussion

La figure 1 présente une analyse en composantes principales (ACP) des paramètres mesurés: le graphique A présente les paramètres mesurés dans les sols, sur la vigne et dans les moûts et le graphique B les variantes avec ou sans apport d'azote pour chaque site et chaque millésime. Plus les points sont proches, plus les variantes présentent des résultats similaires. Sur la figure 1B, les variantes témoins (T) ou avec urée (N) se différencient d'abord verticalement selon le millésime, puis horizontalement en fonction du site. Selon la disposition des variables sur la figure 1A, les millésimes se différencient en fonction du niveau de maturité des raisins à la vendange ($^{\circ}Oe$, pH, acidité totale). Pour chaque millésime, les sites sont distribués de manière similaire: Villeneuve et Changins positionnés à gauche et Pully très détaché sur la droite. Les sites se distinguent surtout en fonction du rendement, de la surface foliaire, de la teneur en phosphore et magnésium dans la plante (diagnostic foliaire) et du YAN.

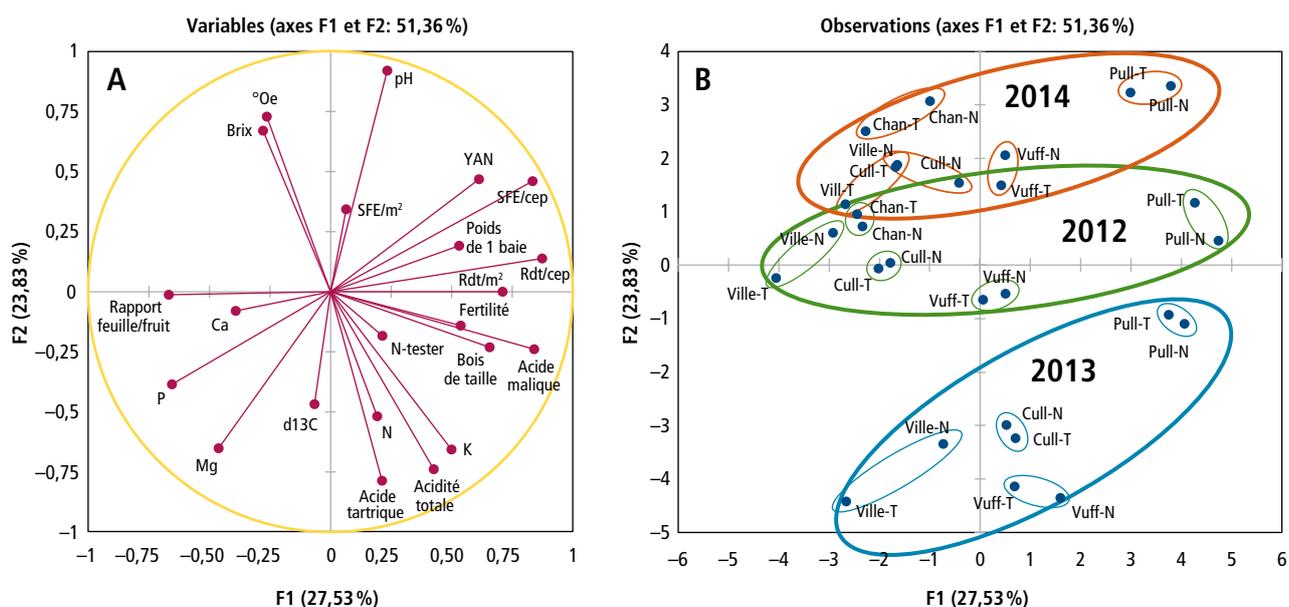


Figure 1 | Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) sur trois ans pour le Doral. La figure 1A présente les paramètres mesurés dans les sols, sur la vigne et dans les moûts et la figure 1B les variantes avec ou sans apport d'azote pour chaque site et chaque millésime. Vill-T Villeneuve témoin; Vill-N Villeneuve urée; Cull-T Cully témoin; Cull-N Cully urée; Pull-T Pully témoin; Pull-N Pully urée; Vuff-T Vufflens témoin; Vuff-N Vufflens urée; Chan-T Changins témoin; Chan-N Changins urée.

Phénologie

La parcelle de Changins montrait toujours une légère avance phénologique au moment de la floraison et la parcelle de Vufflens un léger retard (75 % contre 50 % de fleurs en moyenne au moment de l'observation) qui disparaissait durant la maturation.

Vigueur et composantes du rendement

En 2012, les baies ont été plus grosses (1,8g contre une moyenne de 1,5g en 2013 et 2014), tout comme les poids des sarments (65g contre une moyenne de 56g en 2013 et 2014). Les autres variables n'ont pas montré de différence entre les millésimes (tabl. 2). Aucune différence significative n'a été observée entre les témoins et les variantes avec apport d'urée. Les principales différences sont apparues entre les sites. La fertilité des vignes a été globalement homogène sur l'ensemble du réseau (1,7 grappe par bois) sauf à Pully où elle s'élevait à 2,0 grappes par bois. La SFE a varié de 1,1 m² par m² de sol à Changins à 1,4 m² à Cully. Cependant, la SFE par cep variait de 1,6 m² à Villeneuve à 2,5 m² à Pully, selon la densité de plantation.

La parcelle de Pully était la plus vigoureuse, avec des bois de taille plus gros (75g/m), une surface foliaire plus grande (2,5 m² par cep), des baies et des grappes plus grosses (1,8g et 206g respectivement), tandis que celle de Villeneuve a fourni des rendements faibles les trois années d'étude (0,5 kg/m²) dus à un fort millerandage et à une mauvaise nouaison, avec un rapport feuille/fruit élevé (2,5 m²/kg). A Villeneuve et Changins, les vigueurs ont été globalement plus faibles que sur les autres sites avec des bois de taille plus petits (53 et 48 g/m respectivement).

Alimentation hydrique et déficit hydrique

Aucune contrainte hydrique n'a été observée durant les trois années de l'étude (rapport isotopique ¹³C/¹²C < -25,5‰). Le déficit hydrique pendant la maturation

des raisins a fortement varié selon le millésime, avec des valeurs au 15 septembre de 177 mm en 2012, 102 mm en 2013 et 55 mm en 2014. L'apport d'urée foliaire n'a pas eu d'impact sur le régime hydrique de la vigne.

Alimentation minérale

L'alimentation minérale a varié en fonction du site et du millésime. Les teneurs moyennes en potassium étaient très faibles sur tous les sites (< 1,40 % m.s.). La teneur en azote, globalement bonne sur l'ensemble du réseau, a été plus faible dans les vignes de Vufflens et de Changins, respectivement 1,87 et 1,76 % m.s. contre 2,10 % pour les autres parcelles. Pully a enregistré les plus faibles teneurs en phosphore (0,15 %, très faible), en calcium (2,90 %) et en magnésium (0,22 %). L'apport d'urée à la véraison a augmenté la teneur en azote de 0,1 % en moyenne sur tous les sites sans influencer les autres minéraux.

Le suivi de l'indice chlorophyllien du feuillage a confirmé une bonne alimentation azotée sur tous les sites, avec des valeurs moyennes proches de 500 à la véraison. En 2012 et en 2014, sur la parcelle de Pully, l'index a dépassé 550 au mois de juillet, tandis que les indices de Changins étaient les plus faibles (< 500). Dès mi-septembre, les parcelles de Villeneuve et de Vufflens présentaient des valeurs plus faibles, liées à une sénescence précoce des feuilles. De manière générale, l'apport d'urée n'a pas eu d'impact significatif sur l'indice chlorophyllien.

Maturité des raisins

Composition des moûts

En 2013, les conditions météorologiques ont poussé à vendanger les raisins à une teneur moyenne en sucres plus faible (80 °Oe) et avec plus d'acidité totale (10,3 g/l) que les autres millésimes (tabl. 3). En moyenne sur les trois ans, les teneurs en sucres solubles et en acides étaient similaires entre les sites, sauf à Changins où le

Tableau 2 | Moyennes par site (témoin + variante urée) sur 3 ans des données physiologiques liées à la vigueur et au rendement du Doral

	Fertilité (gr. par bois)	SFE par m ² (m ²)	SFE par cep (m ²)	Rendement par m ² (kg)	Rendement par cep (kg)	Rapport feuille/fruit (m ² /kg)	Poids grappe (g)	Poids baie (g)	Bois de taille (g/m)
Villeneuve	1,7 b	1,26 b	1,61 d	0,5 b	0,6 d	2,5 a	70 c	1,4 c	53 c
Cully	1,6 b	1,35 a	1,72 c	1,0 a	1,3 c	1,4 bc	121 b	1,6 b	57 b
Pully	2,0 a	1,26 b	2,52 a	1,1 a	2,3 a	1,1 c	206 a	1,8 a	75 a
Vufflens	1,7 b	1,20 b	1,92 b	1,1 a	1,8 b	1,1 c	138 b	1,6 b	60 b
Changins	1,7 b	1,07 c	1,83 b	0,6 b	1,1 c	1,7 b	128 b	1,6 b	48 c

Les valeurs dans la même colonne suivies de lettres différentes sont significativement différentes (seuil de significativité = 0,05).

taux de sucres était plus élevé (92 °Oe). Par contre, le pH différait significativement entre les sites, variant de 2,99 (Vufflens) à 3,18 (Pully).

Azote assimilable dans les moûts

L'apport d'urée foliaire a renforcé la teneur en YAN, supérieure en moyenne à 200 mg N/l sur les trois ans, soit une augmentation moyenne de 69 mg N/l (fig. 2). La concentration de YAN a varié avant tout selon le millésime: les teneurs en YAN étaient les plus élevées en 2014 avec une moyenne de 165 mg N/l contre 124 mg N/l en 2012 et en 2013. Sur les trois années d'étude, les teneurs en YAN dans le moût étaient toujours naturellement élevées à Pully, avec une moyenne confortable de 232 ± 44 mg N/l. Celles de Villeneuve et de Vufflens étaient les plus faibles (101 ± 27 mg N/l), tandis que celles de Cully et Changins approchaient 130 mg N/l. Ces quatre sites montraient un état de forte carence azotée dans les moûts (< 140 mg N/l).

Sur les trois ans étudiés, l'apport d'urée a toujours eu un impact positif sur la teneur en YAN, quel que soit

le site. Parmi les variantes témoins, six moûts ont accusé une carence marquée en YAN (< 140 mg/l) et deux ont eu une concentration non limitante (> 200 mg/l). L'apport d'urée foliaire a été le plus efficace en 2014, avec +90 mg N/l par rapport aux variantes témoins, contre +46 et +69 mg N/l en 2012 et 2013. C'est le site de Villeneuve qui a le mieux valorisé les apports d'azote sur les trois ans d'étude, avec un gain moyen de 106 ± 14 mg N/l.

L'apport d'urée a globalement augmenté la concentration de toutes les formes d'azote (AA primaires + NH_4^+). Dans les deux variantes, la teneur en YAN total a globalement diminué au cours de la maturation en 2013 (fig. 3): les teneurs de NH_4^+ ont diminué en moyenne de 100 mg/l dans tous les sites. A Villeneuve, en 2013, les teneurs en acides aminés primaires, déjà présents au début de la maturation, sont restées relativement stables (fig. 4). A l'inverse, les teneurs en acides aminés secondaires – non assimilables par les levures, notamment proline et hydroxyproline – ont augmenté constamment pendant toute la maturation.

Tableau 3 | Moyennes par site, par traitement et par millésime des résultats d'analyses des moûts de Doral réalisés à la vendange

		Sucres solubles (°Oe)	pH	Acidité totale (g/l)	Acide tartrique (g/l)	Acide malique (g/l)	Azote assimilable (mg/l)
Sites	Villeneuve	87 bc	3,03 d	9,0 b	7,6 ab	3,2 b	154 b
	Cully	84 c	3,06 c	9,1 b	7,4 b	3,7 ab	161 b
	Pully	88 b	3,18 a	9,2 ab	7,7 ab	4,2 a	260 a
	Vufflens	85 bc	2,99 e	9,7 a	7,7 ab	3,9 a	128 b
	Changins	92 a	3,09 b	8,9 b	7,9 a	3,1 b	150 b
Traitements	Avec urée	87 a	3,08 a	9,3 a	7,7 a	3,8 a	205 a
	Témoin	87 a	3,06 b	9,1 a	7,6 a	3,4 a	136 b
Millésimes	2012	92 a	3,09 b	8,4 b	7,8 b	2,7 b	147 b
	2013	80 c	2,97 c	10,3 a	8,4 a	4,2 a	154 b
	2014	89 b	3,15 a	8,8 b	6,8 c	3,9 a	210 a

Les valeurs dans la même colonne (site, traitement ou millésime) suivies de lettres différentes sont significativement différentes (seuil de significativité = 0,05).

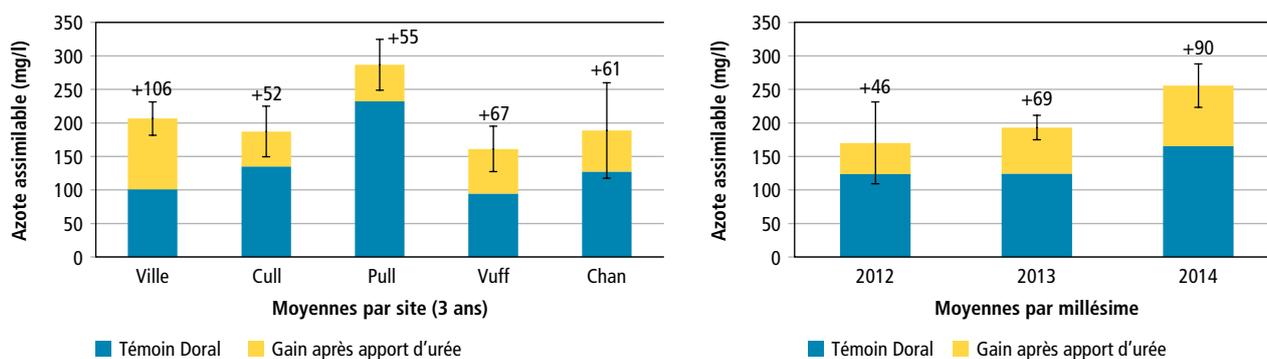


Figure 2 | Teneurs en azote assimilable des moûts, moyennes par site et par millésime, avant et après apport d'urée foliaire sur cépage Doral. Ville, Villeneuve; Cull, Cully; Pull, Pully; Vuff, Vufflens; Chan, Changins.

Qualité des vins

Analyse chimique

Les vins se sont distingués selon le millésime, le site et la variante, essentiellement par l'acidité et le pH. A cause des conditions de maturation plus difficiles en 2013, les vins étaient plus acides (acidité totale = 4,8 g/l; pH = 3,37) qu'en 2012 et 2014 (acidité totale moyenne = 4,6 g/l; pH moyen = 3,43). Sur les trois ans d'étude, les vins de Villeneuve avaient régulièrement une acidité totale plus élevée (moyenne 5,0 g/l) et un pH plus faible (moyenne 3,36) que ceux des autres sites (4,5 g/l et 3,42). Les vins de Villeneuve et de Changins contenaient davantage d'acide succinique (1,1 et 1,0 g/l) que la moyenne des autres sites (0,7 g/l). Sur les trois ans d'étude, l'apport d'urée foliaire a fait légèrement monter le pH (+0,2), baisser l'acidité totale (-0,3 g/l) et augmenter l'acidité lactique (+0,2 g/l).

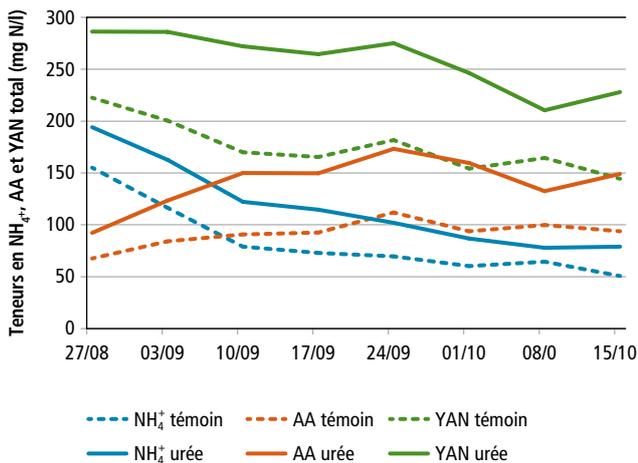


Figure 3 | Suivi de l'accumulation de l'ammonium (NH₄⁺), des acides aminés (AA primaires) et du YAN total (NH₄⁺ + AA primaires) au cours de la maturation en 2013 (moyenne de quatre parcelles).

Analyse sensorielle

L'apport d'urée foliaire a significativement amélioré la qualité des vins de Doral: sur les 12 vins issus des variantes avec urée des trois millésimes, sept (58 %) ont été différenciés positivement des variantes témoins. Onze vins (91 %) ont obtenu une meilleure note d'impression générale, dont cinq de façon significative. Les principales différences résidaient dans l'intensité colorante (3 vins), la finesse du bouquet (3 vins) (note fruité +0,2, floral +0,1, végétal -0,2, stress azoté -0,4) et l'équilibre en bouche (3 vins) (note acide -0,1; amertume -0,3) (tabl.4). Des cinq sites étudiés, les vins de Pully ont été les mieux notés avec un bouquet et un équilibre en bouche supérieurs à la moyenne des autres vins (4,2 pour chacun de ces critères) et la note de stress azoté la plus faible (1,7). Les autres vins ont été plus difficilement différenciés.

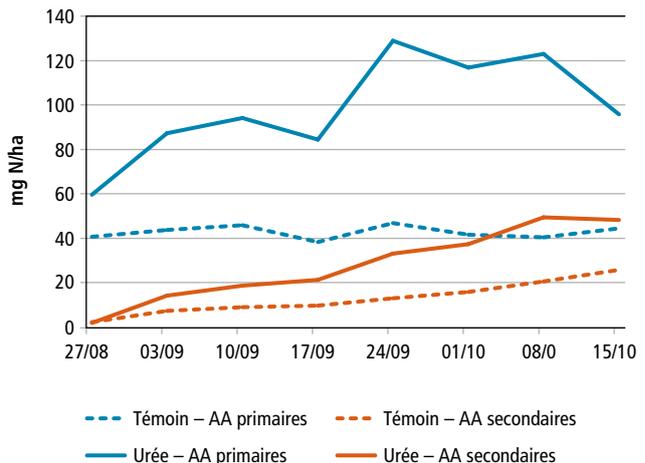


Figure 4 | Suivi de l'accumulation des acides aminés primaires et secondaires au cours de la maturation avec ou sans apport d'urée à Villeneuve en 2013.

Tableau 4 | Résultats de l'analyse sensorielle du Doral, échelle de notes de 1 à 7, moyennes par site et par traitement

	Nez					Bouche				Impression générale
	Fruité	Floral	Végétal	Stress	Finesse bouquet	Volume	Acidité	Equilibre	Amertume	
Villeneuve	4,0 b	2,7 b	2,1 a	2,1 a	4,0 b	4,2 b	4,3 ab	4,0 b	2,8 a	3,9 b
Cully	3,9 b	2,8 ab	2,3 a	1,9 a	3,9 b	4,2 b	4,2 b	4,0 b	2,9 a	3,8 b
Pully	4,2 a	3,0 a	1,9 b	1,7 b	4,2 a	4,5 a	4,2 b	4,2 a	2,5 b	4,2 a
Vufflens	4,0 b	2,7 ab	2,0 ab	1,9 ab	3,9 b	4,2 b	4,3 a	4,0 b	2,9 a	3,9 b
Changins	3,9 b	2,7 ab	2,1 ab	2,0 a	3,9 b	4,2 b	4,1 b	4,1 ab	2,8 a	3,9 ab
Avec urée	4,1 a	2,8 a	2,0 b	1,7 b	4,1 a	4,3 a	4,2 b	4,2 a	2,6 b	4,1 a
Témoin	3,9 b	2,7 a	2,2 a	2,1 a	3,8 b	4,2 b	4,3 a	4,0 b	2,9 a	3,8 b

Les valeurs dans la même colonne (site ou traitement) suivies de lettres différentes sont significativement différentes (seuil de confiance = 0,05).

Apport d'urée foliaire et gain de qualité des vins

Dans le cadre de cette étude, le YAN a été le paramètre qui expliquait le mieux l'impression générale donnée par le vin. Une nette corrélation positive ($R^2 = 0,70$) a pu être établie entre ces deux paramètres sur l'ensemble des variantes (fig. 5). Cependant, l'amélioration gustative des vins suite à un apport d'urée foliaire n'est perceptible que lorsque la concentration en YAN passe d'un niveau de carence marquée (< 140 mg/l) à un niveau non limitant (> 200 mg/l) (Spring et Lorenzini 2006).

Facteurs de variation de la teneur en azote assimilable

La teneur en YAN des moûts ne semble pas affectée par la densité de plantation: la corrélation négative observée dans le cadre de cette étude ($R^2_{\text{témoin}} = 0,44$) n'était due qu'à la particularité de la parcelle de Pully par rapport au reste du réseau: le sol, de type brunisol, est en effet profond avec une importante réserve utile en eau et peu d'éléments grossiers (tabl. 1), ce qui favorise le développement racinaire et l'alimentation minérale de la vigne. Par ailleurs, la densité de plantation affectait directement la quantité d'urée par cep, calcu-

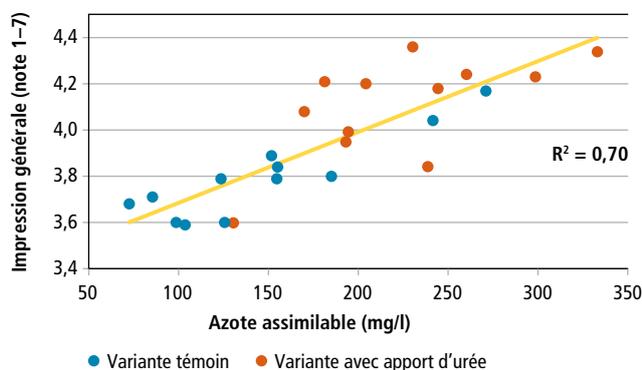


Figure 5 | Corrélation entre la concentration en azote assimilable et l'impression générale (critère hédonique) des vins de Doral issus des variantes témoin et avec apport d'urée foliaire pendant 3 ans.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement les vigneron qui ont mis à disposition leurs parcelles et fourni le raisin nécessaire aux vinifications. Un grand merci à la Fédération vaudoise des vignerons pour avoir soutenu ce projet. Merci à nos stagiaires Yoann Hivet (Ecole supérieure d'agriculture, Angers) et Alexandre Moreau (Institut Jules Guyot, Dijon) qui ont réalisé les mesures physiologiques et les vendanges avec soin et rigueur.



lée en kg/ha. A titre d'exemple, chaque vigne a reçu 4,0g d'azote à Pully (5000 ceps/ha), contre 2,6g à Ville-neuve (7800 ceps/ha). Pourtant, les gains de concentration en YAN après apport d'urée n'étaient pas plus élevés dans les raisins des plantations les moins denses. Spring *et al.* (2012) expliquent cela par une dilution de l'azote dans le volume de la plante, du fait que ces vignes présentaient également des surfaces foliaires par cep plus grandes et des rendements par cep plus importants. Le gain de concentration en YAN n'était pas lié à la teneur initiale en YAN, mais était négativement corrélé au rendement par cep ($R^2_{\text{témoin}} = 0,36$).

Conclusions

- L'impact du millésime sur la maturité et la teneur en YAN des raisins a été dominant. Le site (sol, microclimat) a également joué un rôle important. L'efficacité de l'apport d'urée foliaire pour augmenter la teneur en azote des moûts a été largement tributaire de ces deux facteurs qui définissent en grande partie le terroir.
- L'apport d'urée foliaire à la véraison a significativement amélioré la concentration en YAN dans les moûts sur tous les sites de l'étude, sans influencer la vigueur de la vigne ni la maturation des raisins.
- La concentration en YAN dans le moût est le paramètre qui a le mieux expliqué le gain de qualité des vins de Doral.
- Plus de 90 % des vins de Doral ont donné une meilleure impression générale avec un apport d'urée à la vigne, dont plus de 50 % de façon significative.
- La gestion de la haie foliaire et du rendement sont des paramètres qui peuvent influencer la teneur en azote des moûts, ainsi que l'efficacité de l'apport d'urée foliaire. ■

Bibliographie

- Dufourcq T., Charrier F., Poupault P., Schneider R., Gontier L. & Serrano E., 2009. Foliar spraying of nitrogen and sulfur at veraison: a viticultural technique to improve aromatic composition of white and rosés wines. Proceedings of the 16th International GiESCO Symposium, Davis (USA), 379–383.
- Hannam K. D., Neilsen G. H., Neilsen D., Midwood A. J., Millard P., Zhang Z., Thornton B. & Steinke D., 2016. Amino Acid Composition of Grape (*Vitis vinifera* L.) Juice in Response to Applications of Urea to the Soil or Foliage. *American Journal of Enology and Viticulture* 67 (1), 47–55.
- Lacroux F., Tregoaat O., van Leeuwen C., Pons A., Tominaga T., Lavigne-Cruège V. & Dubourdiou D., 2008. Effect of foliar nitrogen and sulfur application on aromatic expression of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 42 (3), 125–132.
- Lasa B., Menendez S., Sagastizabal K., Cervantes M. E. C., Irigoyen I., Muro J., Aparicio-Tejo P. M. & Ariz I., 2012. Foliar application of urea to "Sauvignon

Summary

Foliar urea supply to the white cv. *Vitis vinifera* Doral in Switzerland

The yeast assimilable nitrogen (YAN) in the must is a major component of the quality of the wine. Agroscope set up a vineyard network for three years, with the aim of monitoring the variations of YAN in the must of the cv. Doral (Chardonnay x Chasselas) in the conditions of the lake of Geneva (Switzerland). For each of the five plots, a control treatment with no N fertilisation and a treatment with 20 kg N/ha of foliar urea at veraison allowed to evaluate the efficiency of foliar-N fertilisation to enhance the YAN concentration and its consequences on wine characteristics. The YAN concentration mainly depended on the vintage weather conditions and on the soil. 90 % of the wines gave a better impression after foliar urea supply in the vineyard and 50 % were significantly preferred to their associated control treatment wine.

Key words: foliar-N fertilization, yeast assimilable nitrogen, wine quality.

Zusammenfassung

Komplementäre Stickstoffdüngung bei der Rebsorte *Vitis vinifera* Doral im Waadtland

Auf Anregung des Waadtländer Weinbauernverbands hat Agroscope ein Netzwerk an Rebbauf Flächen aufgebaut mit dem Ziel bei der Sorte Doral (Chasselas x Chardonnay) die Gehaltsschwankungen des hefeverfügbaren Stickstoffs (YAN) im Most unter den pedoklimatischen Bedingungen des Waadtlands zu beobachten. Jeder Versuchsfläche bestand aus einer Kontrolle ohne Stickstoffdüngern und einer Variante, welche um den Zeitpunkt des Farbumschlages 20 kg N/ha Harnstoff in Form einer Blattdüngung erhielt. Dies erlaubte es die Wirkung einer Blattdüngung mit Harnstoff auf den YAN-Gehalt und die Weinqualität zu bewerten. Obschon der YAN-Gehalt sehr stark vom Standort abhing dominierte bei Weitem der Jahrganseffekt. Bei einigen Standorten führte die Harnstoffdüngung regelmässig zu einer guten Umsetzung in hefeverfügbaren Stickstoff. Über 90 % der Weine aus Doral wurden nach der Anwendung von Harnstoff auf der Rebe mit einem besseren Gesamteindruck bewertet. Davon waren 50 % signifikant besser.

Riassunto

Concimazione fogliare azotata sul vitigno *Vitis vinifera* Doral nel Canton Vaud

Su iniziativa della Fédération Vaudoise des Vignerons, Agroscope ha osservato una rete di particelle di vigneti sulla variabilità dei tenori di azoto assimilabile dai lieviti (YAN) nel mosto del vitigno Doral (Chasselas x Chardonnay) nelle condizioni pedoclimatiche del Canton Vaud. Su ogni particella, un controllo senza fertilizzazione azotata e una variante con una somministrazione di 20 kg N/ha di azoto fogliare al momento dell'invaiaitura hanno permesso di valutare l'efficacia dell'apporto di urea fogliare sulla concentrazione di YAN e il suo impatto sulla qualità dei vini. I tenori di azoto assimilabile hanno molto variato a seconda dei siti, però l'impatto dell'annata è stato nettamente dominante. Alcuni siti hanno consentito regolarmente una migliore valorizzazione dell'urea sotto forma di YAN. Più del 90 per cento dei vini di Doral, di cui più del 50 per cento in modo significativo, hanno fornito una migliore impressione generale in seguito all'apporto di urea nel vigneto.

Blanc" and "Merlot" vines: doses and time of application. *Plant Growth Regulation* 67 (1), 73–81.

- Lorenzini F. & Vuichard F., 2012. Ajout d'acides aminés aux moûts et qualité des vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* 44 (2), 96–103.
- Murisier F. & Zufferey V., 1997. Rapport feuille-fruit de la vigne et qualité du raisin. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* 29 (6), 355–362.
- Rapp A. & Versini G., 1991. Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds of wine. International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine; 18-19 June 1991 (Ed. Rantz J. M.), Seattle, WA, USA, 156–164.
- Reynard J.-S., Zufferey V., Nicol G. C. & Murisier F., 2011. Soil parameters impact the vine-fruit-wine continuum by altering vine nitrogen status. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 45 (4), 211–221.
- 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., Hort.* 35 (4), 1–24.

- Spring J. L. & Lorenzini F., 2006. Effet de la pulvérisation foliaire d'urée sur l'alimentation azotée et la qualité du Chasselas en vigne enherbée. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* 38 (2), 105–113.

- Spring J.-L., Verdenal T., Zufferey V. & Viret O., 2012. Nitrogen dilution in excessive canopy of Chasselas and Pinot noir cvs. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 46 (3), 233–240.

- Van Leeuwen C., Tregooat O., Choné X., Bois B., Pernet D. & Gaudillere J. P., 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *J. Int. Sci. Vigne Vin* 43 (3), 121–134.

- Verdenal T., Spangenberg J. E., Zufferey V., Lorenzini F., Spring J.-L. & Viret O., 2015. Effect of fertilisation timing on the partitioning of foliar-applied nitrogen in *Vitis vinifera* cv. Chasselas: a 15N labelling approach. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 21 (1), 110–117.