

# Le rapport feuille-fruit de la vigne influence l'accumulation d'azote dans le raisin

Thibaut VERDENAL<sup>1</sup>, Jorge E. SPANGENBERG<sup>2</sup>, Vivian ZUFFEREY<sup>1</sup>, Jean-Laurent SPRING<sup>1</sup>, Ágnes DIENES-NAGY<sup>1</sup>, Fabrice LORENZINI<sup>1</sup>, Sylvain SCHNEE<sup>1</sup>, Katia GINDRO<sup>1</sup> et Olivier VIRET<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, Changins, 1260 Nyon, Suisse

<sup>2</sup>Université de Lausanne, Institut des dynamiques de la surface terrestre (IDYST)

<sup>3</sup>Service de l'agriculture et de la viticulture (SAVI), 1110 Morges

Renseignements: Thibaut Verdenal, e-mail: thibaut.verdenal@agroscope.admin.ch, tél. +41 58 468 65 60, www.agroscope.admin.ch



De la vigne à l'échantillon conditionné en poudre (Pully, 2013)

## Introduction

La teneur en azote assimilable par les levures (N assimilable) dans le moût est un paramètre déterminant pour la qualité des vins – particulièrement les vins blancs –, car sa concentration et sa composition agissent sur le déroulement de la fermentation alcoolique et sur la formation des composés aromatiques (Lorenzini 1996; Bell et Henschke 2005). Dans le cas d'une parcelle de vignes prédisposées à la carence en N assimilable dans le moût, de l'urée foliaire peut être appliquée à la véraison dans le but d'en corriger sa teneur (Spring et Lorenzini 2006; Lacroux *et al.* 2008; Hannam *et al.* 2013; Nisbet *et al.* 2014). Cependant, Spring *et al.* (2012) ont observé des cas de moûts carencés en N assimilable issus de vignes pourtant vigoureuses en absence de contrainte hydrique et sur des sols suffisamment riches en azote, et ont pu expliquer ce fait par un phénomène de dilution de l'azote assimilé dans les haies foliaires surdimensionnées. L'assimilation et la distribution de N dans la plante sont des processus clés dans la produc-

tion de raisins de qualité. Par conséquent, les techniques culturales et les paramètres physiologiques qui peuvent améliorer l'efficacité de la fertilisation azotée – période d'application (Lasa *et al.* 2012), gestion du feuillage et régulation du rendement (Murisier et Zufferey 1997) – doivent être optimisés afin de favoriser l'accumulation de N assimilable dans le moût. Le rapport feuille-fruit – surface foliaire exposée par quantité de fruits (m<sup>2</sup>/kg) – est reconnu comme étant un paramètre important: d'une part, la surface foliaire, en tant que «source» de nutriments, influence les échanges gazeux et la quantité d'hydrates de carbone disponibles par la photosynthèse pour la croissance végétative et la maturation des raisins; d'autre part, les raisins, en tant que «puits» de nutriments, influencent la quantité nécessaire de carbone et d'azote pour leur maturation (Morinaga *et al.* 2003; Kliewer et Dokoozlian 2005). Le but de cet essai était de mieux comprendre la répartition de N dans la vigne après un apport d'urée foliaire, en fonction de la hauteur du feuillage et du rendement.

## Matériel et méthodes

### Parcelle expérimentale

L'essai a été conduit en 2013 à Pully (VD, Suisse) sur une parcelle homogène de Chasselas (clone 800, porte-greffe 3309C) plantée en 2007 (densité 2,0 x 0,85 m). Cette année-là, les précipitations annuelles s'élevaient à 930 mm et la température journalière pendant la période végétative (avril-octobre) était de 15,7 °C (station météo de Pully, [www.agrométéo.ch](http://www.agrométéo.ch)). Le sol colluvial est composé de 17 % d'argile, 46 % de sable et 4 % de calcaire (CaCO<sub>3</sub>). La matière organique est de 1,7 % et il n'y a pas eu de carence visible en éléments P, K, Mg et B. Le sol est profond et la réserve utile en eau importante (>250 mm). Les vignes ont été taillées en Guyot simple (sept rameaux par cep).

### Dispositif expérimental

Cinq variantes (A, B, C, D, E) de cinq ceps chacune ont été mises en place (tabl. 1), avec l'intention d'obtenir une large variation du rapport feuille-fruit. Deux facteurs de variabilité ont été choisis: la hauteur de feuillage (90 ou 150 cm) et la charge en fruits (5 ou 10 grappes par cep). La régulation du rendement a été faite en juillet, peu avant la fermeture des grappes.

Les variantes B, C, D et E ont reçu 5 kg N/ha par semaine sous forme d'urée foliaire pendant les quatre semaines autour de la véraison (10 atom % <sup>15</sup>N; CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O; Sigma-Aldrich; dilution 3,3 % m/v). La variante A était le témoin sans urée.

### Mesures et calculs

La croissance végétative et le développement de la vigne ont été suivis au cours de la saison: stades phénologiques, indice chlorophyllien, surface foliaire exposée (SFE), poids de rognage, fertilité et rendement. A la vendange, chacun des 25 ceps a été arraché et divisé en cinq parties: 1) racines, 2) tronc (branche à fruits incluse), 3) canopée (rameaux, feuilles et rognages col-

**Tableau 1 |** Description des cinq variantes de l'essai.

5 kg d'urée par ha ont été appliqués une fois par semaine pendant quatre semaines autour de la véraison. La dilution de l'urée était de 3,3 % m/v. La variante témoin A n'a pas reçu d'azote (cv. Chasselas, Pully, 2013).

Variante	Hauteur feuillage (cm)	Charge en fruits (grappes/cep)	Fertilisation (kg N/ha)
A (témoin)	150	5	0
B	150	5	20
C	150	10	20
D	90	5	20
E	90	10	20

**Résumé** ■ Un essai a été mis en place sur le cépage *Vitis vinifera* Chasselas avec deux variables: 1) la hauteur de feuillage (90 ou 150 cm), et 2) la charge en fruits (5 ou 10 grappes par cep). De l'urée marquée isotopiquement (10 atom % <sup>15</sup>N) a été appliquée à la véraison afin d'observer sa répartition dans la vigne au moment des vendanges. Le rapport feuille-fruit a varié de 0,4 à 1,6 m<sup>2</sup>/kg. La distribution de l'azote total et de l'azote foliaire a été principalement affectée par la hauteur de feuillage. Un feuillage surdimensionné (+31 % matière sèche) a entraîné une baisse de concentration de l'azote total dans toute la plante (-17 %), et plus particulièrement une baisse de la quantité d'azote assimilable dans le moût (-53 %). Dans le cas d'un rapport feuille-fruit insuffisant, le niveau de maturité des raisins a été péjoré.

lectés en cours de saison), 4) marc et 5) moût. Chaque partie de cep a été séchée pour déterminer la matière sèche (g), puis mise en poudre (<1300 μm) (laboratoire Sol-Conseil, Gland, VD). Les moûts ont quant à eux été lyophilisés.

L'azote organique total (N total, % m.s.) et les rapports isotopiques <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N (δ<sup>15</sup>N) ont été quantifiés avec un spectrophotomètre de masse (EA-IRMS). 100 ml de moût par cep ont également été analysés avec un spectrophotomètre à infrarouge (Winescan FOSS, Hillerød, Denmark) afin de quantifier le pH, les sucres (°Oe), l'acidité totale (g/l éq. acide tartrique), les acides tartrique et malique (g/l) et le N assimilable (mg/l). Les acides aminés libres (AA, mg N/l, en considérant tous les atomes de N) ont été déterminés et quantifiés par chromatographie en phase liquide à haute pression (HPLC). L'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; mg N/l) a été mesuré avec un kit enzymatique (Boehringer, Mannheim, Allemagne). L'indice de maturité a été calculé selon la formule:

$$\text{Indice de maturité} = \frac{\text{°Brix} * 100}{\text{AT}}$$

Pour chaque partie de vigne, les paramètres suivants ont été calculés selon la méthode détaillée par Verdenal *et al.* (2016):

- La quantité totale de N (QN, g).
- L'abondance de <sup>15</sup>N (A %): proportion de <sup>15</sup>N pour 100 atomes de N.
- L'abondance relative spécifique (% N total): part du N total provenant de l'apport d'urée. L'abondance relative représente également la force d'appel de l'organe, indépendamment de sa taille.

- La quantité de N foliaire (g) acquis après l'apport d'urée.
- La répartition du nouvel azote par organe (%  $P_{organe}$ ) a été calculée. Les valeurs de %  $P_{organe}$  des cinq parties du cep totalisent 100 %.

Les différences entre variantes ont été évaluées par ANOVA ( $P < 0,05$ ), puis par le test de Newman-Keuls, avec le programme XLSTAT 2014.2.02 (Addinsoft, Paris, France). La structure en split-plot de l'essai – lorsque l'on ne tient pas compte de la variante témoin – a permis de déterminer séparément les impacts de chaque variable et leur interaction.

## Résultats

### Développement physiologique et composition du moût

Le millésime 2013 a entraîné un développement phénologique tardif: pleine floraison le 4 juillet, véraison le 23 août, vendange de l'essai le 9 octobre. La fertilité moyenne était de 1,8 grappe par rameau sans différence de vigueur entre les variantes. La maîtrise des

deux facteurs de variabilité a permis l'obtention d'un rapport feuille-fruit allant de 0,4 à 1,6  $m^2/kg$ , influençant grandement la composition du moût (tabl. 2).

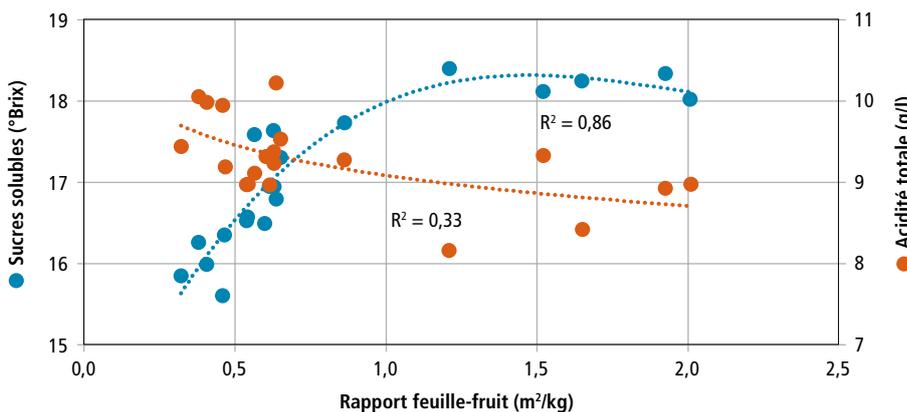
L'indice de maturité a fluctué entre 173 et 197: les sucres solubles des moûts ont varié de 16,0 °Brix dans la variante E à 18,2 °Brix dans la variante B. Comme l'indique la figure 1, le degré Brix était initialement positivement corrélé au rapport feuille-fruit ( $R^2 = 0,86$ ), puis il a atteint un palier lorsque le rapport feuille-fruit dépassait 1,2  $m^2/kg$  environ. L'acidité totale – particulièrement l'acide malique – a été, quant à elle, négativement corrélée avec la hauteur de feuillage. La variante témoin A se distinguait de la variante B uniquement par sa concentration en N assimilable nettement inférieure (93 contre 143 mg/l).

### Impact sur la répartition de l'azote dans la vigne

La teneur moyenne en N total dans la vigne a été de 0,84 % m.s. et a varié de 0,28 % m.s. dans le moût à 1,69 % m.s. dans le marc (tabl. 3). La teneur en N total a globalement baissé dans tous les organes lorsque le feuillage était plus développé (-17 % pour la plante

**Tableau 2 |** Effet de la hauteur de feuillage et du rendement sur les paramètres physiologiques de la vigne, sur les composantes du rendement et sur la composition des moûts à la vendange. Pour chaque variable, la moyenne de deux variantes est présentée. Une p-value notée en gras indique une différence significative entre les deux variantes. B (5 grappes; 150 cm feuillage), C (10; 150), D (5; 90) et E (10; 90). (cv. Chasselas, Pully, 2013)

Variable	Control A	Charge en fruits par cep			Hauteur feuillage			Interaction p-value
		5 grappes (moyenne B-D)	10 grappes (moyenne C-E)	p-value	90 cm (moyenne D-E)	150 cm (moyenne B-C)	p-value	
Fertilité (grappes/rameau)	1,9	1,8	1,8	0,723	1,9	1,7	0,060	0,953
SFE ( $m^2/m^2$ )	1,5	1,2	1,1	–	0,9	1,4	–	–
Rognages totaux (g/plant)	452	447	429	0,599	524	351	<b>0,002</b>	0,216
Rapport feuille-fruit ( $m^2/kg$ )	1,4	1,2	0,5	–	0,6	1,1	–	–
Rendement (kg/plant)	1,9	2,0	3,8	<b>&lt; 0,0001</b>	3,1	2,8	0,097	0,055
Sucres solubles (°Brix)	18	17,7	16,5	<b>&lt; 0,0001</b>	16,6	17,6	<b>0,001</b>	0,652
Acidité totale (g/l)	9	9,1	9,4	0,130	9,6	8,9	<b>0,005</b>	0,766
Indice de maturité	202	195	175	<b>0,002</b>	173	197	<b>0,001</b>	0,508
pH	3,1	3,1	3,1	0,400	3,1	3,1	0,488	0,219
N assimilable (mg/l)	93	178	194	0,197	222	151	<b>&lt; 0,0001</b>	0,982



**Figure 1 |** Impact du rapport feuille-fruit sur la teneur en sucres solubles et l'acidité totale dans le moût à la vendange (cv. Chasselas, Pully, 2013).

entière); par contre, elle n'a été influencée par le rendement que dans le moût et dans les racines (respectivement +15 % et -7 %). La quantité totale de N dans la vigne entière a été de 15,5g en moyenne. Cette quantité a augmenté avec le rendement, mais elle a été in-

dépendante de la hauteur du feuillage. La canopée contenait en moyenne 50 % de la quantité totale de N de la vigne entière.

Bien que ne contenant en moyenne que 6 % du N total de la vigne, le moût a présenté la plus forte abon-

**Tableau 3 | Effet de la hauteur de feuillage et du rendement sur le poids de matière sèche, sur la teneur et sur la quantité en N total dans chaque organe à la vendange. Pour chaque variable, la moyenne de deux variantes est présentée. Une p-value notée en gras indique une différence significative entre les deux variantes. B (5 grappes; 150 cm feuillage), C (10; 150), D (5; 90) et E (10; 90). (cv. Chasselas, Pully, 2013)**

Variable	Organe	Control A	Charge en fruits par cep			Hauteur feuillage			Interaction p-value
			5 grappes (moyenne B-D)	10 grappes (moyenne C-E)	p-value	90 cm (moyenne D-E)	150 cm (moyenne B-C)	p-value	
Matière sèche (g)	Moût	232	254	458	< 0,0001	374	339	0,140	0,135
	Marc	110	113	206	< 0,0001	162	156	0,635	0,055
	Canopée	734	649	597	0,283	543	703	<b>0,012</b>	0,349
	Tronc	436	386	414	0,341	393	408	0,550	0,747
	Racines	258	281	296	0,683	271	305	0,291	0,814
	Plante entière	1770	1684	1971	<b>0,046</b>	1742	1912	0,117	0,818
Teneur en N total (% MS)	Moût	0,13	0,26	0,30	<b>0,05</b>	0,35	0,21	< <b>0,0001</b>	0,684
	Marc	1,34	1,70	1,67	0,727	1,79	1,58	<b>0,028</b>	0,716
	Canopée	1,20	1,19	1,28	0,153	1,31	1,16	<b>0,013</b>	0,630
	Tronc	0,39	0,44	0,42	0,052	0,46	0,40	<b>0,002</b>	0,538
	Racines	0,70	0,82	0,76	<b>0,037</b>	0,89	0,68	< <b>0,0001</b>	0,722
	Plante entière	0,79	0,85	0,83	0,474	0,89	0,79	<b>0,0001</b>	0,404
Quantité de N total (g)	Moût	0,31	0,70	1,35	< <b>0,0001</b>	1,33	0,72	<b>0,0001</b>	0,660
	Marc	1,47	1,90	3,38	< <b>0,0001</b>	2,87	2,41	<b>0,006</b>	<b>0,009</b>
	Canopée	8,76	7,63	7,51	0,735	7,08	8,06	<b>0,034</b>	0,093
	Tronc	1,69	1,69	1,75	0,681	1,80	1,64	0,137	0,816
	Racines	1,81	2,28	2,29	0,970	2,43	2,14	0,414	0,887
	Plante entière	14,04	14,21	16,27	<b>0,025</b>	15,52	14,96	0,433	0,651

**Tableau 4 | Effet de la hauteur de feuillage et du rendement sur l'abondance relative, sur le N foliaire (issu de l'apport d'urée) et sur sa répartition dans la vigne à la vendange. Pour chaque variable, la moyenne de deux variantes est présentée. Une p-value notée en gras indique une différence significative entre les deux variantes. B (5 grappes; 150 cm feuillage), C (10; 150), D (5; 90) et E (10; 90). (cv. Chasselas, Pully, 2013)**

Variable	Organe	Charge en fruits par cep			Hauteur feuillage			Interaction p-value
		5 grappes (moyenne B-D)	10 grappes (moyenne C-E)	p-value	90 cm (moyenne D-E)	150 cm (moyenne B-C)	p-value	
Abondance relative du N foliaire (% TON)	Moût	24	22	<b>0,002</b>	24	21	<b>0,007</b>	<b>0,001</b>
	Marc	18	16	<b>0,012</b>	18	16	<b>0,016</b>	<b>0,001</b>
	Canopée	9	9	0,793	9	9	0,934	0,233
	Tronc	10	8	<b>0,0001</b>	9	9	0,873	<b>0,013</b>
	Racines	7	4	<b>0,0001</b>	4	7	<b>0,003</b>	0,373
	Plante entière	12	12	0,302	12	11	0,199	<b>0,001</b>
Quantité de N foliaire (g)	Moût	0,17	0,30	<b>0,0001</b>	0,32	0,15	<b>0,0001</b>	0,512
	Marc	0,35	0,56	< <b>0,0001</b>	0,50	0,40	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>
	Canopée	0,70	0,68	0,689	0,65	0,73	<b>0,025</b>	0,944
	Tronc	0,17	0,13	<b>0,030</b>	0,16	0,15	0,121	0,234
	Racines	0,16	0,08	<b>0,0001</b>	0,10	0,14	<b>0,004</b>	0,484
	Plante entière	1,55	1,74	0,063	1,73	1,57	<b>0,028</b>	0,186
Répartition du N foliaire (%)	Moût	11	17	< <b>0,0001</b>	18	9	< <b>0,0001</b>	0,291
	Marc	22	32	< <b>0,0001</b>	29	25	<b>0,002</b>	<b>0,005</b>
	Canopée	46	39	<b>0,001</b>	37	47	< <b>0,0001</b>	<b>0,009</b>
	Tronc	11	8	< <b>0,0001</b>	9	9	0,686	0,579
	Racines	11	5	< <b>0,0001</b>	6	9	<b>0,001</b>	<b>0,045</b>

dance relative de N foliaire (23 %). Ceci signifie, en d'autres termes, que presque un atome de N sur quatre dans le moût provenait de l'apport d'urée (tabl. 4). Cette abondance était péjorée lorsque le feuillage et le rendement étaient augmentés. A l'inverse, l'abondance relative en N foliaire est restée constante dans la canopée malgré le changement de hauteur de feuillage. La quantité de N foliaire dans la vigne entière a diminué de 9 % avec l'augmentation de la surface foliaire. Lorsque le rapport feuille-fruit a atteint le maximum de 1,6 m<sup>2</sup>/kg, la quantité de N foliaire dans les raisins a chuté (de 1,07 à 0,28 g, R<sup>2</sup> = 0,94) et celle dans les racines a augmenté (de 0,03 à 0,18 g, R<sup>2</sup> = 0,63) (fig. 2). Les

organes réserves (tronc et racines) ont ainsi bénéficié d'une plus grande part du N foliaire lorsque le rendement est plus faible. Dans la plante, près de 21 % du N foliaire s'est réparti dans le moût lorsque le rapport feuille-fruit a été le plus faible (variante E) (tabl. 4).

**Impact sur l'azote assimilable dans le moût**

Les concentrations dans le moût en acides aminés et en ammonium ont été nettement inférieures dans la variante témoin A (respectivement -50 % et -55 %) que dans la variante B (même hauteur de feuillage, même charge en fruits). La hausse du rendement a augmenté la teneur en ammonium du moût (+59 %), mais elle a eu

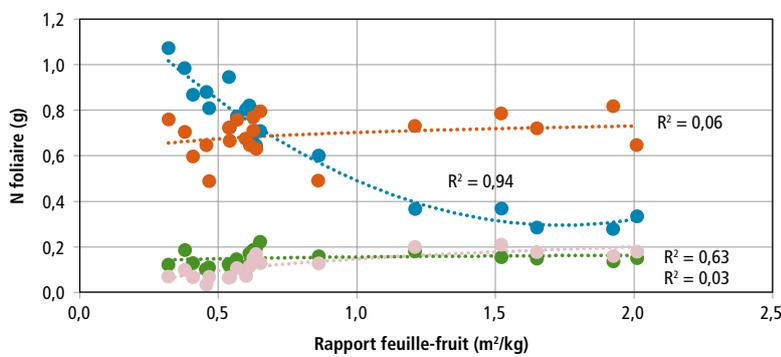


Figure 2 | Impact du rapport feuille-fruit sur l'accumulation de l'azote foliaire (issu de l'apport d'urée) dans chaque organe de la vigne à la vendange (cv. Chasselas, Pully, 2013).

Tableau 5 | Effet de la hauteur de feuillage et du rendement sur la concentration des acides aminés et de l'ammonium (mg N/l) dans le moût à la vendange. Pour chaque variable, la moyenne de deux variantes est présentée. Une p-value notée en gras indique une différence significative entre les deux variantes (cv. Chasselas, Pully, 2013)

Acides-aminés (mg N/l)	Témoin A	Charge en fruits par cep			Hauteur feuillage			Interaction p value
		5 grappes (moyenne B-D)	10 grappes (moyenne C-E)	p value	90 cm (moyenne D-E)	150 cm (moyenne B-C)	p value	
Arginine	100,6	215,8	229,2	0,335	256,7	188,3	< 0,0001	0,191
Alanine	7,0	17,0	18,0	0,513	21,9	13,1	0,001	0,223
Thréonine	6,5	10,5	13,1	0,005	14,1	9,5	0,000	0,291
Acide glutamique	6,0	6,2	5,1	0,077	6,4	4,9	0,003	0,483
Acide aspartique	5,8	4,8	5,1	0,549	5,5	4,3	0,000	0,835
Sérine	5,0	9,7	11,1	0,112	13,0	7,8	0,000	0,542
Glycine	4,5	4,7	4,6	0,524	4,7	4,6	0,164	0,160
γ-aminobutyric acid	3,4	5,7	6,7	0,009	6,6	5,8	0,189	0,634
Glutamine	3,3	7,9	12,2	0,107	16,2	3,9	0,004	0,488
Histidine	2,6	5,4	5,3	0,750	6,4	4,3	< 0,0001	0,593
Leucine	2,4	3,2	4,0	0,056	4,8	2,4	0,001	0,815
Valine	1,4	2,3	2,5	0,407	2,9	1,9	0,000	0,430
Tryptophane	1,2	1,4	1,5	0,095	1,7	1,2	0,001	0,065
Phénylalanine	1,1	1,5	1,7	0,033	1,8	1,3	0,002	0,057
Isoleucine	0,8	1,0	1,3	0,022	1,5	0,9	0,001	0,834
Asparagine	0,7	1,1	1,3	0,279	1,7	0,6	0,000	0,346
Tyrosine	0,7	1,4	1,5	0,588	1,6	1,3	0,000	0,425
Lysine	0,5	0,8	0,9	0,001	1,0	0,8	< 0,0001	0,145
Méthionine	0,5	0,8	1,2	0,002	1,4	0,6	< 0,0001	0,107
Cystine	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.	n.d.	-	-
Total primary AA	154,2	300,6	326,0	0,224	369,5	257,1	< 0,0001	0,310
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	19,8	44,0	70,2	0,005	80,5	33,7	< 0,0001	0,177

peu d'impact sur les concentrations des AA. À l'inverse, l'augmentation de la surface foliaire a entraîné une chute des concentrations en ammonium (-57 %) et en AA (-30 %), affectant presque toutes les concentrations de AA (tabl. 5).

## Discussion

Les résultats de cet essai ont confirmé l'efficacité de l'apport d'urée foliaire à la véraison (augmentation significative de la teneur en N assimilable dans le moût). Concernant la vigueur (surface foliaire, poids de rognage), le rendement et la composition des moûts, aucune différence n'a pu être observée entre les variantes A et B. Le rapport feuille-fruit a quant à lui eu un impact important sur l'indice de maturité des raisins, ce qui confirme les résultats d'autres études (Murisier et Zuferey 1997; Kliewer et Dokoozlian 2005): une surface foliaire insuffisante affecte l'accumulation des sucres et la dégradation des acides, alors qu'un rendement excessif péjore uniquement l'accumulation des sucres.

Le marquage isotopique a indiqué que 48 % du N appliqué sous forme d'urée a réellement été assimilé par la vigne. Comparé à d'autres études qui présentaient des taux d'absorption proches de 30 % seulement (Jakovljevic *et al.* 1995; Verdenal *et al.* 2015), cette valeur est relativement bonne. Le taux d'absorption n'est pas corrélé au rapport feuille-fruit, mais semblerait être bien plus fonction des conditions climatiques et plus particulièrement d'une humidité relative élevée au moment de l'application (Porro *et al.* 2010; Eichert 2013).

L'impact de la hauteur de feuillage sur la concentration en N total de la vigne pourrait être due à une dilu-

tion de N dans le volume de la plante: pour une quantité de N constante, la teneur en N a diminué de 12 % lorsque la surface foliaire a augmenté de 55 %. Cela confirme les observations de Spring *et al.* (2012).

À l'inverse, malgré une augmentation du rendement, la concentration de N dans le moût est restée constante. Gonzalez-Real *et al.* (2008) ont observé la même relation dans le cas du poivron. Cependant, ce gain de N dans les raisins s'est fait au détriment de la teneur en N des organes de réserves (tronc et racines). Si le rendement est excessif durant plusieurs années, la baisse des réserves en N de la vigne pourrait être défavorable au développement durable de celle-ci.

## Conclusions

- Un rapport feuille-fruit insuffisant ( $< 1 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) réduit le niveau de maturité des raisins à la vendange et limite le renouvellement des réserves en N dans le tronc et les racines.
- Une hauteur de feuillage excessive ( $> 1,2 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) réduit fortement la teneur en N de la vigne entière et peut induire une carence en N assimilable dans le moût.
- L'apport d'urée foliaire augmente significativement la concentration en N assimilable du moût et permet de corriger dans certains cas les carences en N assimilable des moûts.
- Un rapport feuille-fruit équilibré – environ  $1,0\text{--}1,2 \text{ m}^2/\text{kg}$  dans le contexte du vignoble suisse – semble adapté pour garantir une maturation correcte des raisins de Chasselas, une teneur optimale en N assimilable, ainsi qu'un bon renouvellement des réserves en N de la vigne. ■

### Remerciements

Les auteurs remercient Philippe Duruz, Etienne Barmes et Sébastien Bailly pour l'entretien des vignes et le travail réalisé lors de l'arrachage. Merci à l'équipe du laboratoire Sol-Conseil pour le soin apporté au séchage et au broyage des échantillons. Enfin, merci à l'équipe du laboratoire Qualité des vins d'Agroscope à Changins pour toutes les analyses réalisées sur les moûts.

### Bibliographie

- Bell S.-J. & Henschke P. A., 2005. Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Austr. J. Grape Wine Res.* **11**, 242–295.
- Eichert T., 2013. Foliar Nutrient Uptake—of Myths and Legends. *Acta Hort.* **984**, 69–75.
- González-Real M. M., Baille A. & Liu H. Q., 2008. Influence of fruit load on dry matter and N-distribution in sweet pepper plants. *Scientia Hort.* **117**, 307–315. doi: 10.1016/j.scienta.2008.05.026.
- Hannam K. D., Neilsen G. H., Forge T. & Neilsen D., 2013. The concentration of yeast assimilable nitrogen in Merlot grape juice is increased by N fertilization and reduced irrigation. *Can. J. Plant Sci.* **93**, 37–45.
- Jakovljevic M., Licina V. & Stajkovic M., 1995. Investigation of nitrogen uptake from fertilizers applied to grapevine. *Review of Research Work at the Faculty of Agriculture* **40**, 91–95.
- Kliewer W. M. & Dokoozlian N., 2005. Leaf Area/Crop Weight Ratios of Grapevines: Influence on Fruit Composition and Wine Quality. *Am. J. Enol. Vitic.* **56**, 170–181.
- Lacroux F., Tregoat 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**, 125–132.2
- Laso 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 Blanc' and 'Merlot' vines: doses and time of application. *Plant Growth Regul.* **67**, 73–81. ▶

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>Summary</b></p> <p><b>The vine leaf-to-fruit ratio influences nitrogen accumulation in grapes</b></p> <p>A trial was conducted on the cultivar <i>Vitis vinifera</i> Chasselas using two variables: 1) canopy height (90 or 150 cm), and 2) fruit load (5 or 10 clusters per vine). Isotopically labelled urea (10 atom % <sup>15</sup>N) was applied at veraison with the aim of tracking nitrogen (N) distribution in the plant at harvest. The leaf-to-fruit ratio ranged from 0.4 to 1.6 m<sup>2</sup>/kg. Total and foliar N partitioning were mainly affected by canopy height: an oversized canopy (+31 % dry matter) led to a reduction in total N concentration throughout the plant (-17 %), and more especially in the yeast assimilable N concentration in the must (-53 %). Conversely, in a situation of insufficient leaf-to-fruit ratio, fruit maturity at harvest was affected.</p> <p><b>Key words:</b> isotope labelling, yeast assimilable nitrogen, foliar fertilisation, partitioning, leaf-to-fruit ratio.</p> | <p><b>Zusammenfassung</b></p> <p><b>Das Blatt-Frucht-Verhältnis der Rebe beeinflusst die Anreicherung von Stickstoff in der Traubenbeere</b></p> <p>Mit <i>Vitis vinifera</i> Chasselas wurde ein Versuch mit zwei Variablen durchgeführt: 1) Laubhöhe (90 oder 150 cm) und 2) Fruchtbehang (5 oder 10 Trauben pro Rebstock). Isotopisch markierter Harnstoff (10 Atom % <sup>15</sup>N) wurde während der Blüte appliziert, um die Verteilung des Harnstoffs in der Rebe zum Zeitpunkt der Ernte zu beobachten. Das Blatt-Frucht-Verhältnis variierte zwischen 0,4 und 1,6 m<sup>2</sup>/kg. Die Verteilung des gesamten Stickstoffs und des Blattstickstoffs wurde hauptsächlich durch die Laubhöhe beeinflusst. Übermässiges Laub (+31 % Trockensubstanz) führte zu einer Abnahme der Konzentration des gesamten Stickstoffs in der Pflanze (-17 %) und zu einer Abnahme der assimilierbaren Stickstoffmenge im Traubenmost (-53 %). Ein ungenügendes Blatt-Fruchtverhältnis verschlechterte den Reifegrad der Trauben.</p> | <p><b>Riassunto</b></p> <p><b>Il rapporto foglia/frutto influisce sull'accumulo di azoto nei grappoli</b></p> <p>Sulla <i>Vitis vinifera</i> Chasselas è stato condotto un esperimento con due variabili: 1) altezza del fogliame (90 o 150 cm) e 2) carico di frutti (5 o 10 grappoli per ceppo). Dell'urea marcata isotopicamente (10 atom % <sup>15</sup>N) è stata applicata durante la fioritura allo scopo di verificare la distribuzione di azoto nella pianta al momento della raccolta. Il rapporto foglia/frutto variava da 0,4 a 1,6 m<sup>2</sup>/kg. La distribuzione dell'azoto totale e fogliare è stata influenzata principalmente dall'altezza del fogliame: un eccesso di fogliame (+31 % sostanza secca) ha determinato una diminuzione della concentrazione dell'azoto totale nell'intera pianta (-17 %) e del tenore di azoto assimilabile nel mosto (-53 %); un rapporto foglia/frutto insufficiente ha invece influito negativamente sul livello di maturazione dei grappoli.</p> |
|---|--|--|

- Lorenzini F., 1996. Teneur en azote et fermentescibilité des moûts. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **28**, 169–174.
- Lorenzini F. & Vuichard F., 2012. Ajout d'acides aminés aux moûts et qualité des vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **44**, 96–103.
- Morinaga K., Imai S., Yakushiji H. & Koshita Y., 2003. Effects of fruit load on partitioning of <sup>15</sup>N and <sup>13</sup>C, respiration, and growth of grapevine roots at different fruit stages. *Scientia Hort.* **97**, 239–253.
- Murisier F. & Zufferey V., 1997. Rapport feuille-fruit de la vigne et qualité du raisin. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **29**, 355–362.
- Nisbet M. A., Martinson T. E. & Mansfield A. K., 2014. Accumulation and Prediction of Yeast Assimilable Nitrogen in New York Winegrape Cultivars. *Am. J. Enol. Vitic.* **65**, 325–332.
- Porro D., Stefanini M., Dorigatti C., Ziller L., Camin F. & Policarpo M., 2010. Nitrogen Foliar Uptake and Partitioning in «Cabernet Sauvignon» Grapevines. Pestana M. & Correia P. J. (eds.). Proceedings VIth International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops, juin 2010, Faro, Portugal (ISHS Acta Horticulturae), 185–190.
- 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., Hortic.* **38**, 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**, 233–240.
- 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 <sup>15</sup>N labelling approach. *Austr. J. Grape Wine Res.* **21**, 110–117.
- Verdenal T., Spangenberg J. E., Zufferey V., Lorenzini F., Dienes-Nagy A., Gindro K., Spring J.-L. & Viret O., 2016. Leaf-to-fruit ratio affects the impact of foliar-applied nitrogen on N accumulation in the grape must. *J. Int. Sci. Vigne Vin* **50**, 23–33.