

Influence de l'alimentation en eau sur le comportement de la vigne et la qualité des vins de Chasselas

Bilan d'un essai d'irrigation à Leytron (VS)

Vivian ZUFFEREY¹, Thibaut VERDENAL¹, Agnes DIENES-NAGY¹, Sandrine BELCHER¹, Fabrice LORENZINI¹, Carole KOESTEL¹, Johannes RÖSTI¹, Katia GINDRO¹, Jorge E. SPANGENBERG², Olivier VIRET³, Jean-Laurent SPRING¹
¹Agroscope, 1260 Nyon, Suisse

²Université de Lausanne, Institut des dynamiques de la surface terrestre (IDYST), 1015 Lausanne, Suisse

³Service de l'agriculture et de la viticulture (SAVI), 1110 Morges, Suisse

Renseignements: Vivian Zufferey, e-mail: vivian.zufferey@agroscope.admin.ch, tél. +41 (0)58 468 65 62, www.agroscope.ch



Essai d'irrigation sur différents cépages dans les conditions du Valais central (Leytron).

Introduction

La sensibilité de la vigne à la sécheresse dépend de facteurs liés à la parcelle (nature du sol, réserve en eau, mésoclimat) et varie selon des facteurs génétiques (cépage/porte-greffe) et agronomiques (entretien du sol, densité de plantation, rapport feuille/fruit...). Les études menées sur la caractérisation des terroirs

viticoles (van Leeuwen *et al.* 1994) ont montré depuis longtemps l'influence prépondérante des conditions d'alimentation en eau de la vigne sur le comportement physiologique (photosynthèse, alimentation minérale, croissance) et la qualité des raisins et des vins. Par ailleurs, la grande capacité d'exploration racinaire de la vigne permet à celle-ci d'endurer des restrictions importantes en eau selon les terroirs. Néanmoins, un

stress hydrique intense entraîne la diminution des échanges gazeux (photosynthèse et transpiration) et provoque un arrêt précoce de la croissance végétative (Chaves *et al.* 2010). La régulation stomatique de la transpiration, couplée à la diminution de la conductivité hydraulique dans le système vasculaire, permet à la plante d'optimiser l'utilisation de l'eau tout en prévenant les accidents physiologiques comme l'embolie des vaisseaux sous forte sécheresse (Lovisol *et al.* 2008).

Il est connu que non seulement l'intensité de la sécheresse, mais également sa période d'apparition et sa durée influent sur la taille finale des baies (par conséquent sur le rendement) et sur leur composition (Deloire *et al.* 2004). Une contrainte hydrique progressive et modérée conduit à un ralentissement et/ou un arrêt de la croissance végétative autour de la véraison qui favorise la production de raisins plus riches en sucres, en anthocyanes et en composés phénoliques, et moins acides (van Leeuwen *et al.* 2009, Zufferey *et al.* 2017). Pour élaborer des vins blancs de qualité, il est reconnu que les vignes et les raisins doivent être bien pourvus en éléments minéraux, et notamment en azote (Bell et Henschke 2005): pour cette raison, elles ne devraient subir aucune restriction trop importante en eau qui conduirait à une perte de l'expression aromatique et de la typicité des vins (Reynolds *et al.* 2010, Reynard *et al.* 2011).

Pour étudier l'influence de l'alimentation en eau sur le comportement agronomique de la vigne et la qualité des raisins et des vins de Chasselas, un essai d'irrigation permettant de créer différents régimes hydriques de la vigne en cours de saison a été mis en place au domaine expérimental d'Agroscope à Leytron (Valais). Les effets de l'alimentation en eau sur les échanges gazeux du feuillage, la vigueur des rameaux, les composantes du rendement et la qualité des raisins et des vins ont été analysés et les résultats présentés dans cet article.

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental

L'expérimentation a été menée de 2009 à 2016 sur le domaine expérimental d'Agroscope à Leytron dans le Valais central. Le sol est très caillouteux et perméable, avec une réserve utile en eau (RU) estimée à environ 150 mm. Les précipitations annuelles moyennes s'élèvent à près de 600 mm (tabl. 1). L'essai a été planté avec du Chasselas (clone 14/33-4), greffé sur 5BB, en 1995. La vigne est conduite en Guyot simple (180x100 cm) en maintenant 6 rameaux par souche. Trois variantes ont été mises en place.

Résumé Un essai d'irrigation a été mené de 2009 à 2016 au domaine expérimental d'Agroscope à Leytron afin d'étudier l'effet du régime hydrique de la vigne sur la maturation des raisins et la qualité des vins de Chasselas. La restriction progressive et modérée en eau en cours de saison a provoqué une vigueur plus faible des rameaux et favorisé la maturation des raisins en comparaison de vignes sans contrainte hydrique. La teneur en azote des moûts a diminué avec l'accroissement du stress hydrique. La fertilité des bourgeons, le poids des baies et des grappes à la vendange n'ont pas été influencés par la contrainte hydrique modérée. Un stress hydrique plus sévère a par contre entraîné la diminution de la photosynthèse et de la transpiration du feuillage et provoqué le phénomène d'embolie dans les pétioles. Lors des millésimes chauds et secs, les vins issus de vignes ayant souffert de sécheresse ont été jugés plus amers à la dégustation que ceux issus de vignes irriguées.

Tableau 1 | Précipitations mensuelles (mm) sur le site expérimental de Leytron (Suisse) durant les huit années d'étude, en comparaison avec les moyennes à long terme (1981–2010).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Long terme
Janvier	109	11	22	57	21	42	55	110	51
Février	28	29	7	0	59	79	11	104	47
Mars	23	27	14	5	29	5	63	19	42
Avril	37	8	5	51	45	29	12	38	35
Mai	25	120	43	52	83	34	123	76	49
Juin	40	15	40	37	24	17	34	45	54
Juillet	87	73	69	51	52	106	35	46	58
Août	16	45	22	65	30	87	78	27	57
Septembre	18	22	42	52	45	15	14	14	44
Octobre	11	14	34	39	67	30	29	32	52
Novembre	68	36	2	53	95	44	42	75	52
Décembre	108	70	168	152	17	42	4	0	64
Année	570	470	468	614	567	530	500	586	603

La première variante a été irriguée au goutte-à-goutte de la floraison à la véraison (en général du 15 juin au 15 août). L'irrigation permet de compenser environ 30 % de l'évapotranspiration moyenne, calculée à partir d'une moyenne de 20 ans de la Station météorologique de l'aéroport de Sion (MétéoSuisse). L'apport d'eau, effectué de façon hebdomadaire, s'est élevé à 9 l/m²/semaine (16 l/souche) sur une durée de 9 semaines, soit 81 l/m² de sol ou 145 l/souche. La deuxième variante n'a pas été irriguée. Enfin, la troisième variante n'a pas été irriguée, et une bâche imperméable et non réfléchissante a été posée au sol afin d'éliminer les eaux de pluies de la fin d'avril jusqu'aux vendanges et de créer, dans la mesure du possible, un stress hydrique important. L'essai a été implanté en split-plot avec quatre répétitions par variante et mode d'irrigation. La récolte a été limitée à 1,4 kg/m² avec une suppression de 7 grappes par cep au stade petit pois.

Régime hydrique de la vigne et échanges gazeux du feuillage

L'état hydrique de la vigne a été déterminé au moyen de trois indicateurs physiologiques que sont le potentiel hydrique foliaire de base, le potentiel hydrique de tige et la composition isotopique du carbone dans les sucres du moût à la vendange. Le potentiel hydrique de base (Ψ_{base}) a été mesuré en fin de nuit, à l'obscurité complète, avec une chambre à pression de marque PMS Instrument and Co., modèle 1002 (Scholander *et al.* 1965). Le potentiel hydrique de tige (Ψ_{tige}) a été déterminé en cours d'après-midi sur des feuilles ensachées préalablement (une heure avant la mesure) avec de l'aluminium pour diminuer fortement leur transpiration. Les mesures de potentiel hydrique de base et de tige ont été faites sur des feuilles adultes, non sénescentes, situées dans la zone médiane du rameau. La composition isotopique du carbone ($\delta^{13}\text{C}$ ou rapport entre le ^{13}C et le ^{12}C) a été analysée sur des échantillons de moût prélevés à la cuve à la vendange selon la méthodologie d'Avicé *et al.* (1996).

La mesure des échanges gazeux des feuilles (photosynthèse A et transpiration E) et de la conductance stomatique (gs), qui représente le degré d'ouverture des stomates, a été réalisée au moyen d'un analyseur à infrarouge LI-6400, LI-COR Inc., Lincoln, NE, États-Unis: elle a été effectuée sur des feuilles adultes et ensoleillées de rameaux principaux (éclairage saturant > 1800 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), de juin à mi-octobre.

La vulnérabilité à l'embolie (formation de bulles d'air dans les vaisseaux) a été mesurée sur les pétioles de feuilles avec l'appareil XYL'EM (Xylem Embolism

Meter, Bronkhorst Instrutec, Montigny-lès-Cormeilles, France), selon la méthode de Cochard *et al.* (2000).

Des compléments d'information concernant l'étude du régime en eau de la vigne et les échanges gazeux sont disponibles dans la publication de Zufferey *et al.* (2017).

Observations viticoles et vinifications

La fertilité des rameaux (nombre d'inflorescences par rameau), le poids des baies et des grappes à la vendange ont été déterminés pour chaque variante d'irrigation. L'analyse du taux de N, P, K, Ca et Mg des feuilles situées dans la zone des grappes à la véraison (diagnostic foliaire) a été effectuée. L'indice chlorophyllien a été évalué par la mesure du N-tester (Yara, Nanterre, France) sur des feuilles adultes au-dessus de la zone des grappes à la véraison. En hiver, les bois de taille par souche (10 souches par répétition) ont été pesés. À la vendange, les paramètres suivants ont également été examinés: le rendement, la teneur en sucres (% Brix), les taux d'acidité totale, d'acides tartrique et malique, le pH et la teneur en azote assimilable des moûts (indice de formol) selon la méthode proposée par Aerny (1996).

Chaque variante d'irrigation a fait l'objet d'une vinification durant la période 2009–2016. Les vins ont été vinifiés de manière standard avec foulage, égrappage et sulfitage (50 mg/l) de la vendange. Les vins ont subi une fermentation malolactique avant d'être stabilisés chimiquement et physiquement. Les vins ont été dégustés chaque année par un panel de 12 dégustateurs d'Agroscope. L'analyse sensorielle de nombreux descripteurs (liés au bouquet et à la qualité des vins en bouche) s'est réalisée selon une échelle de notation allant de 1 (faible, mauvais) à 7 (élevé, excellent).

Résultats et discussion

Caractérisation du régime hydrique de la vigne

Le potentiel hydrique foliaire de base (Ψ_{base}) renseigne sur les disponibilités en eau du sol pour la plante, en lien avec la capacité de colonisation racinaire (van Zyl 1987). Cette mesure permet d'évaluer la force avec laquelle l'eau est retenue dans les tissus de la plante. Plus les valeurs du Ψ_{base} sont négatives, plus l'eau est retenue fortement et exprime une contrainte hydrique croissante. Les valeurs du potentiel hydrique sont exprimées en mégapascals (MPa) de nos jours: une valeur de -1,0 MPa correspond à -10 bars. Des seuils d'interprétation du potentiel hydrique de base ont été proposés pour caractériser la contrainte hydrique (Van Leeuwen *et al.* 2009): si les valeurs sont supé-

rieures à $-0,15$ MPa, on estime que la contrainte hydrique est nulle. Des valeurs situées entre $-0,15$ et $-0,3$ MPa signalent une contrainte faible. De $-0,3$ à $-0,5$ MPa, la contrainte devient modérée et, pour des valeurs inférieures à $-0,5$ MPa, la contrainte est considérée comme forte.

Les différentes variantes d'irrigation testées ont provoqué des régimes hydriques de la vigne très contrastés selon les millésimes (fig. 1). L'irrigation, réalisée de la floraison à la véraison au goutte-à-goutte, a permis de maintenir un régime hydrique non limitant tout au long de la saison, avec des valeurs du Ψ_{base} généralement supérieures à $-0,3$ MPa. L'absence d'irrigation a entraîné une contrainte hydrique modérée de la vigne, qui s'est déclenchée dans la majorité des années autour de la véraison et s'est poursuivie jusqu'à la récolte selon les précipitations estivales. Durant les millésimes chauds et secs en 2009, 2011, 2015 et 2016 (tabl. 1 et 2), la contrainte hydrique est devenue forte dans les vignes non irriguées et bâchées au sol avec les valeurs du Ψ_{base} inférieures à $-0,5$ MPa (fig. 1). Dans cette situation, le fort stress hydrique associé à des températures très élevées du feuillage ($>40^\circ\text{C}$) ont causé un jaunissement des feuilles de la base

Tableau 2 | Températures moyennes mensuelles ($^\circ\text{C}$) sur le site expérimental de Leytron (Suisse) durant les huit années d'étude, en comparaison avec les moyennes à long terme (1981–2010).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Long terme
Janvier	-2,7	-1,5	0,2	1,5	1,0	2,6	1,4	2,2	-0,1
Février	1,0	1,5	2,9	-1,7	0,0	4,2	1,3	4,4	1,8
Mars	5,9	6,1	7,9	9,1	5,2	8,4	7,9	6,6	6,5
Avril	12,4	11,8	14,2	10,9	10,9	12,8	12,2	11,3	10,4
Mai	16,4	14,0	17,0	16,1	12,5	15,6	15,6	14,7	14,9
Juin	18,4	18,9	18,8	20,0	18,1	20,1	20,6	18,7	18,1
Juillet	20,5	21,8	18,6	20,3	21,6	19,3	24,0	21,5	20,1
Août	21,6	18,5	21,0	21,3	20,2	18,4	20,9	21,0	19,2
Septembre	16,8	14,8	17,8	15,8	16,3	16,9	14,9	18,4	15,2
Octobre	10,3	10,3	10,4	11,5	12,7	13,0	10,5	10,1	10,3
Novembre	6,7	5,5	5,2	6,4	3,8	8,1	5,9	5,8	4,3
Décembre	1,0	-0,6	1,9	0,6	0,4	2,7	2,2	-0,7	0,6
Année	10,7	10,1	11,3	11,0	10,1	11,7	11,5	11,2	10,1

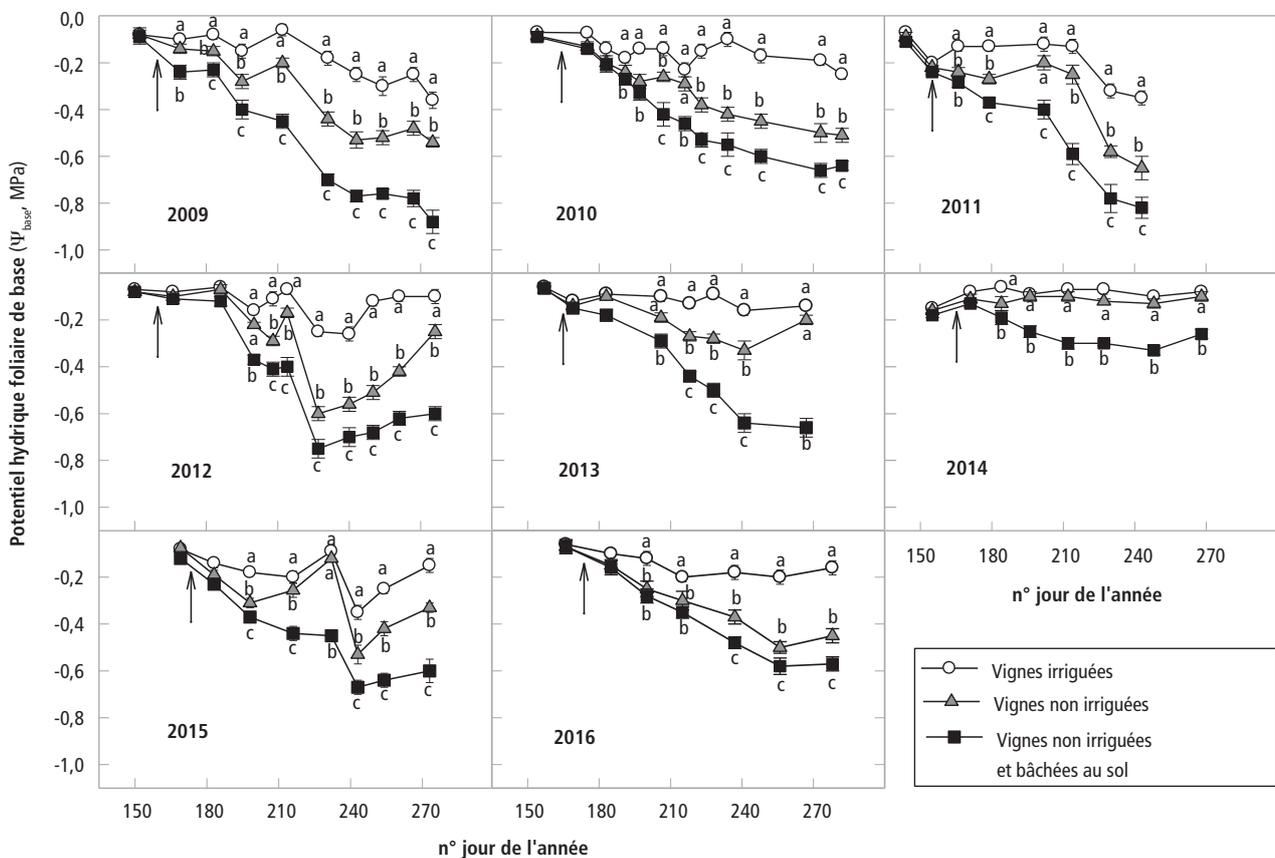


Figure 1 | Evolution saisonnière du potentiel hydrique de base (Ψ_{base}) pour différentes variantes d'irrigation. Les flèches indiquent le début de l'irrigation. Les lettres différentes signalent une différence statistique à 5% de probabilité. Chasselas, Leytron (Suisse), 2009–2016.

des rameaux et leur chute en cours d'été. La pose d'une bâche imperméable au sol a permis d'obtenir un stress hydrique sévère et d'étudier ainsi la réponse physiologique et agronomique du Chasselas à la sécheresse.

L'analyse de la composition isotopique du carbone ($\delta^{13}\text{C}$ ou rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), a été effectuée sur les sucres du moût à la vendange. En l'absence de contrainte hydrique, le carbone 12 (isotope ^{12}C), plus léger que le carbone 13 (^{13}C), est assimilé de manière préférentielle lors de la photosynthèse quand les stomates sont ouverts. En cas de sécheresse par contre, les stomates se ferment progressivement et les enzymes impliqués dans le processus de la photosynthèse ne discriminent plus aussi efficacement les isotopes de carbone. Il en résulte un enrichissement en ^{13}C dans les sucres des raisins. Une corrélation a été observée dans notre étude entre la composition isotopique et les valeurs du potentiel hydrique de base et de tige (résultats non présentés). Des valeurs plus élevées (moins négatives) de $\delta^{13}\text{C}$ indiquent une contrainte hydrique plus importante. La composition isotopique $\delta^{13}\text{C}$ constitue un bon indicateur de la contrainte hydrique subie par la vigne durant la période d'accumulation des sucres dans les baies (Gaudillère *et al.* 2002; Zufferey *et al.* 2017).

Echanges gazeux du feuillage et embolie

La croissance et les échanges gazeux (photosynthèse et transpiration) du feuillage sont largement dépendants de l'alimentation en eau de la vigne. L'augmentation de la contrainte hydrique, observée dans les variantes non irriguées en cours de saison, conduit à la fermeture progressive des stomates (diminution de la conductance stomatique g_s), réduisant par conséquent la photosynthèse et la transpiration des feuilles (fig. 2). La diminution des échanges gazeux est déjà perceptible pour des valeurs de potentiel hydrique de base inférieures à $-0,3\text{ MPa}$ et de potentiel hydrique de tige à $-1,1\text{ MPa}$. Ces observations correspondent à diverses études précédentes, effectuées sur le cépage Pinot noir (Spring et Zufferey 2009, Zufferey *et al.* 2017). La réponse de la vigne à la sécheresse s'effectue rapidement à travers la fermeture progressive des stomates, mais aussi par des mécanismes de résistance hydraulique au flux d'eau à travers la plante, de la racine jusqu'aux feuilles (Zufferey *et al.* 2011), ainsi que par le rapport entre le développement racinaire et foliaire.

Le contrôle stomatique des échanges gazeux constitue un mécanisme d'adaptation précoce à la restriction en eau subie par la plante afin d'éviter des accidents physiologiques comme l'embolie des vaisseaux

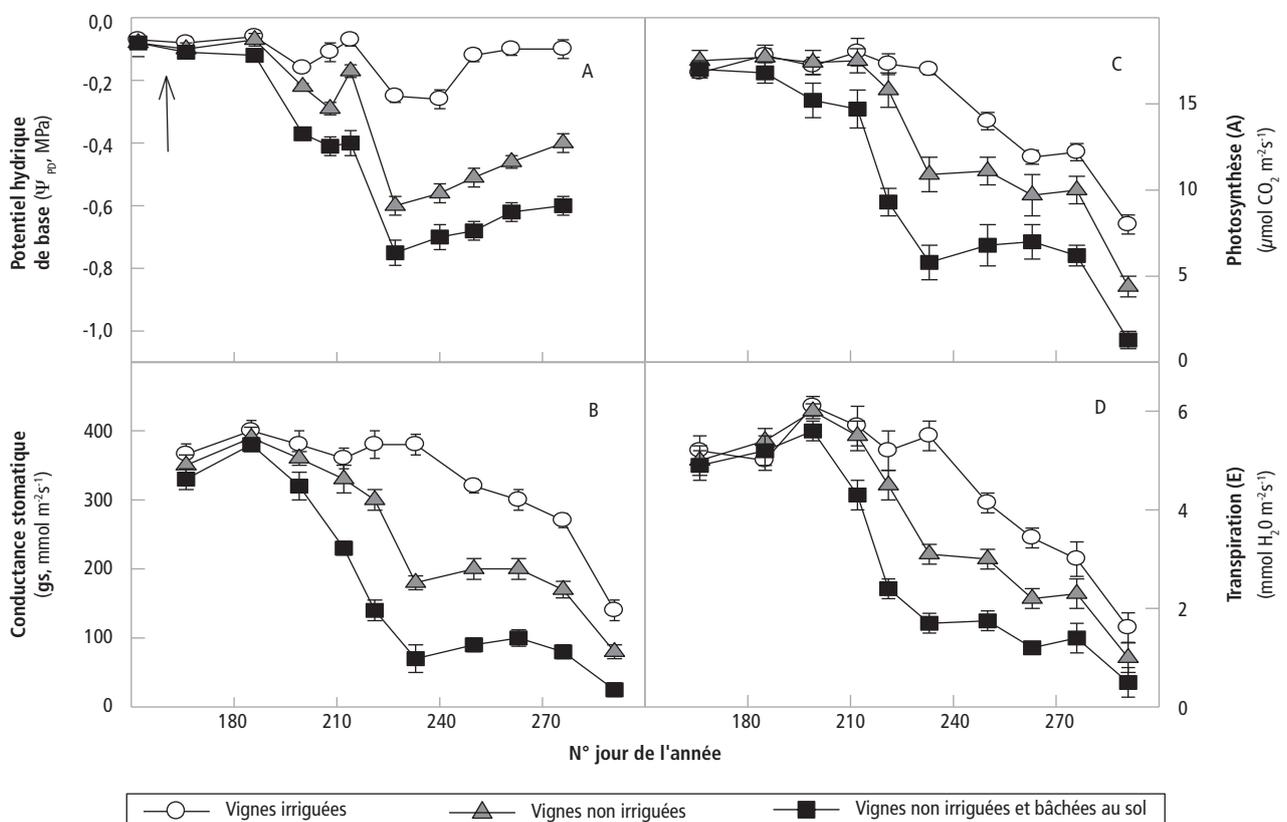


Figure 2 | Evolution saisonnière du potentiel hydrique de base (Ψ_{pb} , A), de la conductance stomatique (B), de la photosynthèse (C) et de la transpiration (D) pour différentes variantes d'irrigation. Chasselas, Leytron (Suisse), 2009.

(Lovisolo *et al.* 2008). Néanmoins, les conditions de sécheresse associées à des températures élevées en cours de journée peuvent conduire à la formation de bulles d'air dans les vaisseaux (phénomène d'embolie gazeuse), notamment des pétioles de feuilles (fig. 3). La diminution de la conductivité hydraulique ou du flux de sève brute dans les vaisseaux, exprimée en pourcentage d'embolie, a été mesurée à environ 25 % lorsque le potentiel de tige avoisinait -1,0 MPa. Le phénomène d'embolie s'est accentué encore avec l'accroissement de la contrainte hydrique. L'embolie des vaisseaux, observée dans les pétioles de feuilles, constituerait une sorte de « fusible hydraulique » qui diminuerait la transpiration du feuillage tout en évitant que l'embolie ne se propage dans les autres organes (rameaux, les raisins ou le tronc) lors d'une forte sécheresse.

Alimentation minérale et vigueur de la vigne

L'accroissement du déficit hydrique dans les variantes non irriguées a globalement provoqué une baisse de la teneur en azote dans les feuilles à la véraison (tabl. 3), mais pas des autres éléments nutritifs (P, K, Ca et Mg). L'indice chlorophyllien du feuillage (N-tester), mesuré à la véraison, a légèrement diminué avec l'accroissement de la contrainte hydrique. La teneur en azote assimilable des raisins à la vendange a été plus faible dans les vignes non irriguées et bâchées au sol ayant souffert d'une forte restriction en eau en comparaison des vignes irriguées. Une corrélation a été mise en évidence entre le régime hydrique de la vigne (potentiel hydrique moyen mesuré durant la période véraison-récolte) et l'azote assimilable des moûts à la vendange (fig. 4). Ceci est confirmé par divers auteurs (Reynard *et al.* 2011; Spring et Zufferey 2011; Spring *et al.* 2012), qui ont montré l'effet d'un déficit hydrique (d'origine climatique ou pédologique) durant la période estivale sur la teneur plus faible en azote du feuillage et des baies.

L'absorption des nutriments, dissous dans le sol, dépend largement du flux hydrique à travers la plante (Keller 2015), soit de la transpiration du feuillage.

Tableau 3 | Alimentation minérale de la vigne : diagnostic foliaire (% M.S.), teneur en N, P, K, Ca et Mg des feuilles à la véraison. Indice chlorophyllien du feuillage (N-tester) et azote assimilable du moût à la vendange. Les lettres différentes indiquent une différence significative à 5 % de probabilité. Moyennes 2009–2016, Chasselas, Leytron (Suisse).

	Diagnostic foliaire (% M.S.)					N-tester	Azote assimilable (mg N/l)
	N	P	K	Ca	Mg		
Vignes irriguées	2,38a	0,25a	1,10a	4,07a	0,31a	586a	170a
Vignes non irriguées	2,32a	0,23a	1,11a	4,05a	0,31a	585a	155ab
Vignes non irriguées et bâchées au sol	2,11b	0,19a	0,95a	3,91a	0,33a	551a	122b

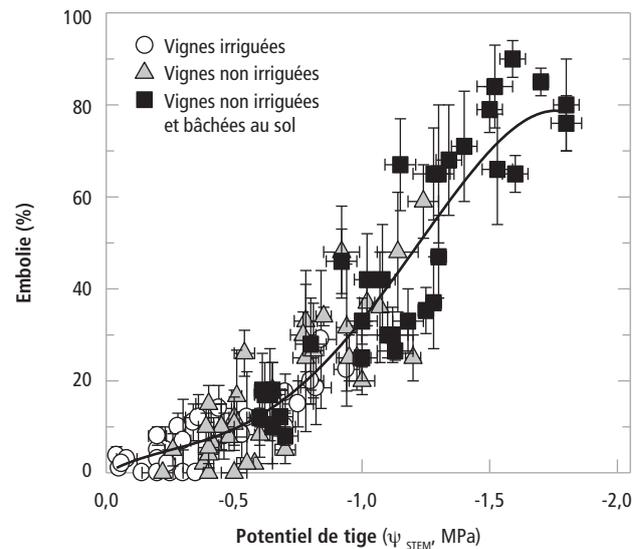


Figure 3 | Relation entre le potentiel hydrique de tige et le pourcentage d'embolie estimée dans les pétioles de feuilles pour différentes variantes d'irrigation. Chasselas, Leytron (Suisse), 2012–2015.

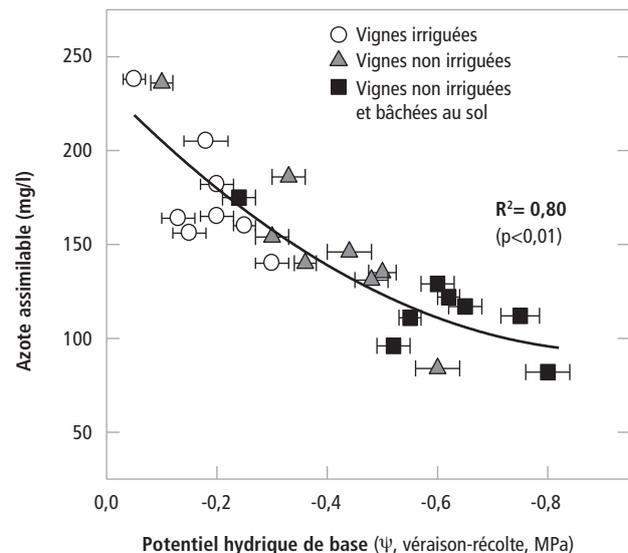


Figure 4 | Relation entre le potentiel hydrique de base (moyenne des mesures entre la véraison et la récolte) et la teneur en azote assimilable dans les moûts à la vendange pour différentes variantes d'irrigation. Chasselas, Leytron (Suisse), 2009–2016.

L'assèchement du sol, associé à des températures élevées durant la période estivale, peut nuire à la minéralisation des nutriments (surtout l'azote) avec une diminution de l'activité microbienne (Celette *et al.* 2009) et à leur absorption dans le courant transpiratoire de la plante.

Les vignes ayant subi une contrainte hydrique modérée à forte année après année ont montré une vigueur plus faible des rameaux (-20 % environ des poids de bois de taille) que les vignes irriguées sans stress hydrique (tabl. 4). Les conditions estivales sèches en 2009, 2011, 2015 et 2016 ont entraîné une réduction de la surface foliaire par chute des feuilles de la zone basale des rameaux pouvant atteindre jusqu'à 30-40 % dans les vignes non irriguées et bâchées au sol en comparaison des vignes irriguées. L'arrêt de la croissance végétative (notamment des rameaux secondaires) et la chute des feuilles limitent la transpiration globale de la plante tout en réduisant l'assèchement du sol: ces phénomènes participent au maintien d'un Ψ_{base} stable en fin de saison, comme ce fut le cas dans notre étude.

Croissance et composition des baies

La restriction progressive en eau, observée à partir de la véraison et jusqu'à la récolte dans les vignes non irriguées, n'a pas entraîné de diminution significative de la fertilité des bourgeons, ni du poids des baies et des grappes, en comparaison des vignes bien alimentées en eau (tabl. 5). Le rendement n'a par conséquent pas été trop affecté par le déficit hydrique survenu durant la maturation du raisin, à l'exception des millésimes très secs (2009, 2011, 2015 et 2016), durant lesquels les vignes non irriguées ont présenté des rendements un peu plus faibles (-10 à -15 %) que les vignes irriguées (résultats non présentés).

La contrainte hydrique modérée, survenue dans les vignes non irriguées, a favorisé l'accumulation des sucres, en conséquence d'un arrêt précoce de la croissance des rameaux secondaires qui conduit à une distribution des sucres de la photosynthèse préférentiellement vers les baies (tabl. 6). Dans notre étude, les vignes non irriguées ont montré des teneurs en acidité totale et en acide malique plus basses en moût que

Tableau 4 | Poids des bois de taille (g/cep) par année et sur la moyenne 2009–2016. Les lettres différentes indiquent une différence significative à 5 % de probabilité. Chasselas, Leytron (Suisse).

	Poids des bois de taille (g/cep)								Moyenne 2009–2016
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Vignes irriguées	646a	650a	690a	889a	686a	581a	686a	679a	689a
Vignes non irriguées	638a	635a	570b	834a	713a	610a	714a	704a	677a
Vignes non irriguées et bâchées au sol	618a	596a	460c	608b	550b	561a	571b	497b	557b

Tableau 5 | Composantes du rendement: fertilité des bourgeons (nombre de grappes par bois), dégrappage par cep, poids des baies et des grappes à la vendange et rendement par m² de sol. Les lettres différentes indiquent une différence significative à 5 % de probabilité. Moyennes 2009–2016, Chasselas, Leytron (Suisse).

	Fertilité des bourgeons (gr./bois)	Dégrappage (-x grappes par cep)	Poids des baies (g)	Poids des grappes (g)	Rendement (kg/m ²)
Vignes irriguées	2,1a	-7a	1,3a	172a	1,52a
Vignes non irriguées	2,1a	-7a	1,2a	165a	1,47a
Vignes non irriguées et bâchées au sol	2,0a	-7a	1,1a	158a	1,35a

Tableau 6 | Caractéristiques de la vendange: teneur en sucre et acidité des moûts (acidité totale, tartrique et malique) et pH. Les lettres différentes indiquent une différence significative à 5 % de probabilité, moyennes 2009–2016, Chasselas, Leytron (Suisse).

	Sucres (°Oe)	pH	Acidité totale (g/l)	Acide tartrique (g/l)	Acide malique (g/l)
Vignes irriguées	77a	3,20a	8,5a	6,5a	3,9a
Vignes non irriguées	79ab	3,22a	7,8b	6,3a	3,3ab
Vignes non irriguées et bâchées au sol	80b	3,19a	7,6b	6,4a	2,9b

celles des vignes irriguées sans stress hydrique. La réduction de l'acidité totale et la dégradation de l'acide malique semblent être liées au microclimat des grappes (baies exposées au rayonnement direct) chez les vignes non irriguées et sujettes à la contrainte hydrique en raison de la chute des feuilles dans la zone des grappes. Le pH du moût n'a pas été influencé par le stress hydrique, conformément à d'autres observations (McCarthy 2000). En vin, aucune différence significative n'a été relevée concernant l'acidité et le pH.

Qualité des vins

La figure 5 illustre les résultats des dégustations réalisées par le panel de dégustateurs d'Agroscope sur quatre descripteurs clés: le bouquet, la structure des vins, l'amertume et l'appréciation générale des vins.

Le régime hydrique de la vigne a relativement peu influencé l'appréciation globale des vins de Chasselas, à l'exception du millésime chaud et sec de 2009, et dans une moindre mesure de celui de 2011: pour ces deux millésimes, les vins issus de vignes ayant subi un fort stress hydrique ont été décrits comme plus amers, avec des notes d'impression générale plus faibles que les vins issus de vignes irriguées sans contrainte hydrique. L'amertume des vins tend à augmenter avec l'accroissement du stress hydrique durant la période d'étude. Une corrélation a également été notée ($R^2 = 0.60$) entre l'amertume des vins et la teneur en azote des moûts; en effet, les vins issus de moûts carencés en azote ont été jugés plus amers que ceux issus de moûts bien pourvus en azote.

Aucune différence significative n'a été relevée entre les différentes variantes d'irrigation pour les notes de bouquet et de structure des vins durant toute la période d'étude. L'appréciation globale des vins issus de vignes irriguées a été très légèrement mieux notée lors des millésimes chauds et secs. L'absence de contrainte hydrique tend généralement à favoriser le développement des composés aromatiques chez les cépages blancs (Reynold *et al.* 2010) grâce à une bonne alimentation azotée des moûts qui exhausse la typicité et la qualité des vins blancs (Tominaga *et al.* 2000; Peyrot des Gachons *et al.* 2005; Reynard *et al.* 2011).

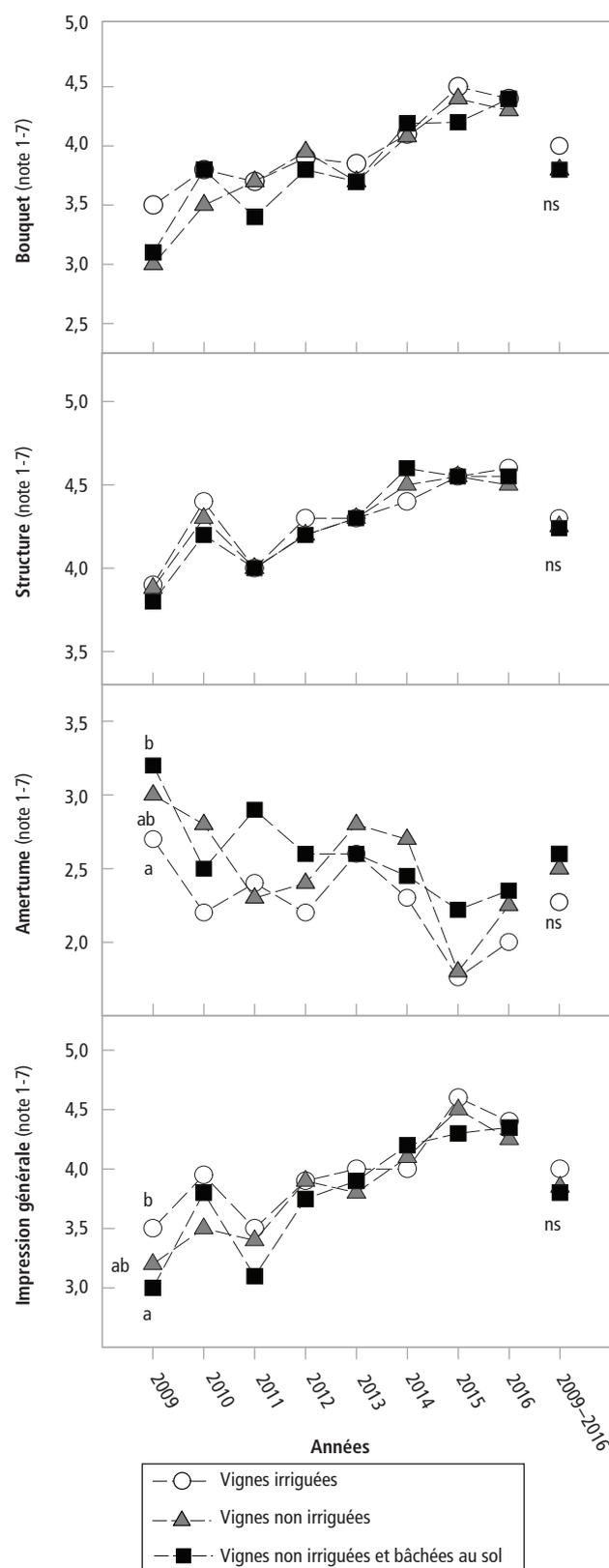


Figure 5 | Appréciation organoleptique de la qualité des vins en fonction de différents descripteurs: le bouquet, la structure, l'amertume et l'impression générale pour différentes variantes d'irrigation. Notation de 1 = faible, mauvais à 7 = élevé, excellent. Chasselas, Leytron (Suisse), 2009–2016.

Conclusions

- L'essai d'irrigation, conduit dans les conditions relativement sèches du Valais central à Leytron, a permis de confirmer l'effet positif d'une contrainte hydrique modérée durant la maturation du raisin de Chasselas. Cet effet a porté sur :
 - un arrêt de la croissance végétative durant la maturation ;
 - une meilleure accumulation des sucres dans les baies ;
 - une plus faible teneur en acidité totale et en acide malique des baies ;
 - des vins appréciés à la dégustation.
- Les vins ont été jugés plus amers en dégustation lorsque le stress hydrique était sévère et que les moûts étaient carencés en azote.
- Les composantes du rendement (fertilité des bourgeons, poids des baies et des grappes) n'ont pas été influencées par la restriction modérée en eau (contrainte modérée).
- Avec un stress hydrique sévère, les échanges gazeux du feuillage et la teneur en azote des feuilles et des raisins ont diminué. Le jaunissement du feuillage puis la chute des feuilles dans la zone des grappes ont été la manifestation d'un stress hydrique important.
- La mesure des potentiels hydriques de nuit et de tige ainsi que la composition isotopique du carbone (^{13}C) des sucres du moût ont permis de bien caractériser l'alimentation en eau de la vigne durant la saison. ■

Remerciements

Les équipes de viticulture, d'œnologie et d'analyse des vins à Agroscope sont chaleureusement remerciées pour leur excellent travail et leur précieuse collaboration.

Bibliographie

- Aerny J., 1996. Composés azotés des moûts et des vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **28**, 3, 161-165.
- Avice J., Ourry A., Lemaire G. & Boucaud J. 1996. Nitrogen and carbon flows estimated by ^{15}N and ^{13}C pulse-chase labeling regrowth of alfalfa. *Plant Physiol.* **112**, 281-290.
- Bell S.-J. and Henschke P.A., 2005. Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Austr. J. Grape Wine Res.*, **11**, 242-295.
- Chaves M.M., Zarrouk O., Francisco R., Costa J.M., Santos T., Regalado A.P., Rodrigues M.L. & Lopes C.M., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann. Bot.* **105**, 661-676.
- Celette F., Findeling A. & Gary C., 2009. Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: the case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. *Eur. J. Agron.* **30**, 41-51.
- Cochard H., Bodet C., Ameglio T. & Cruziat P., 2000. Cryo-scanning electron microscopic observations of vessel content during transpiration in walnut petioles: facts or artefacts? *Plant Physiology* **124**, 1191-1202.
- Deloire A., Carbonneau A., Wang Z. & Ojeda H., 2004. Vine and water, a short review. *J. Int. Sci. Vigne Vin* **38**, 1-13.
- Gaudillère J.-P., van Leeuwen C. & Ollat N., 2002. Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *J. Exp. Bot.* **53**, 757-763.
- Keller M., 2015. *The Science of Grapevines. Anatomy and Physiology*. Second Edition, Academic Press, Elsevier, San Diego CA.
- Lovisolo C., Perrone I., Hartung W. & Schubert A., 2008. An abscisic acid-related reduced transpiration promotes gradual embolism repair when grapevines are rehydrated after drought. *New Phytologist* **180**, 642-651.
- McCarthy M.G., 2000. Developmental variation in sensitivity of *Vitis vinifera* L. (Shiraz) berries to soil water deficit. *Aust. J. Grape Wine Res.* **6**, 136-140.
- Peyrot des Gachons C.P., van Leeuwen C., Tominaga T., Soyer J.-P., Gaudillère J.-P. & Dubourdieu D., 2005. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv Sauvignon blanc in field conditions. *J. Sci. Food Agric.*, **85**, 73-85.
- 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**, 211-221.
- Reynolds A., De Savigny C. & Willwerth J., 2010. Riesling terroir in Ontario vineyards. The roles of soil texture, vine size and vine water status. *Progrès Agric. Vitic.*, **127**, 212-222.
- Scholander P.F., Bradstreet E.D., Hemmingsen E.A. & Hammel H.T., 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* **148**, 339-346.
- Spring J.-L. & Zufferey V., 2009. Influence de l'irrigation sur le comportement de la vigne et sur la qualité de vins rouges dans les conditions du Valais central. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **41**, 103-111.
- Spring J.-L. & Zufferey V., 2011. Irrigation : comportement de la vigne et qualité des vins de cépages blancs dans le Valais central. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **43**, 162-171.
- Spring J.-L., Verdenal T., Zufferey V. & Viret O., 2012. Nitrogen dilution in excessive canopies of Chasselas and Pinot noir cvs. *J. Int. Sci. Vigne Vin* **46**, 233-240.
- Van Leeuwen C. & Seguin G., 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990). *J. Int. Sci. Vigne Vin* **28**, 81-110.
- Tominaga T., Baltenweck-Guyot R., Peyrot des Gachons C.P. & Dubourdieu D., 2000. Contribution of volatile thiols to the aromas of white wines made from several *Vitis vinifera* grape varieties. *Am. J. Enol. Vitic.*, **51**, 178-181.
- Van Leeuwen C., Trégoat O., Choné X., Bois B., Pernet D. & Gaudillère 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**, 121-134.
- Van Zyl J.L., 1987. Diurnal variation in grapevine water stress as a function of changing soil water status and meteorological conditions. *S. Afr. Enol. Vitic.* **8**, 2, 45-50.
- Zufferey V., Cochard H., Ameglio T., Spring J.-L. & Viret O., 2011. Diurnal cycles of embolism formation and repair in petioles of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Chasselas). *J. Exp. Bot.* **62**, 3885-3894.
- Zufferey V., Spring J.-L., Verdenal T., Lorenzini F., Dienes-Nagy A., Belcher S., Koestel C., Rösti J., Spangenberg J. & Viret O., 2017. Impacts of water stress on the grapevine physiology and the quality of "Pinot noir" wines in Switzerland. *OENO One* **51**, 1, 17-27.

Summary**Influence of Water Supply on Vine Behaviour and Chasselas Wine Quality. Conclusions of an Irrigation Trial in Leytron (Canton of Valais)**

An irrigation trial was conducted from 2009 to 2016 at the Agroscope experimental station in Leytron in order to study the effect of vine water regime on grape ripening and the quality of Chasselas wines. Progressive, moderate water stress over the growing season resulted in less vigorous shoot growth and favoured grape ripening compared to vines without water stress.

The nitrogen content of the must decreased along with the increase in water stress. Neither bud fertility nor berry and cluster weight at harvest was affected by the moderate water restriction. By contrast, more-severe water stress resulted in a decrease in both photosynthesis and transpiration, and triggered the phenomenon of embolism in the petioles. During hot, dry vintages, wines from vines subject to drought were judged more bitter at tastings than those from irrigated vines.

Key words: Irrigation, water stress, grapevine physiology, berry composition, wine quality.

Zusammenfassung**Einfluss der Wasserversorgung auf das Verhalten der Rebe und die Weinqualität bei Chasselas. Ergebnisse eines Bewässerungsversuchs in Leytron (VS)**

Zwischen 2009 und 2016 wurde auf dem Versuchsstandort von Agroscope in Leytron ein Bewässerungsversuch durchgeführt, um den Einfluss der Bewässerung auf die Reifung der Rebe und die Weinqualität bei Chasselas zu untersuchen. Die zunehmende, mässig eingeschränkte Wasserzufuhr im Laufe der Vegetationsperiode hat im Vergleich zu Reben ohne Wasserstress zu einem weniger stark ausgeprägten Triebwachstum geführt und die Traubenreife gefördert. Der Stickstoffgehalt des Mostes nahm mit zunehmendem Wasserstress ab. Die Fruchtbarkeit der Knospen sowie das Gewicht der Beeren und Trauben bei der Ernte wurden durch die eingeschränkte Wasserversorgung der Rebe nicht beeinflusst. Eine stärkere Einschränkung der Wasserversorgung hat hingegen zu einer Abnahme der Photosynthese, der Transpiration der Blätter und zu Embolien in den Blattstielen geführt. Weine aus wärmeren und wasserarmen Jahren, in denen die Reben unter der Trockenheit gelitten haben, wurden bei der Degustation als bitterer bewertet als Weine, die aus Trauben von bewässerten Reben hergestellt wurden.

Riassunto**Influenza dell'acqua sul comportamento della vigna in termini di qualità del Chasselas. Bilancio di un test di irrigazione a Leytron (VS)**

Tra il 2009 e il 2016 è stato condotto uno studio sull'irrigazione nel vigneto sperimentale di Agroscope di Leytron. Lo scopo era studiare l'effetto dell'apporto idrico sulla vigna per quanto concerne la maturazione degli acini e la qualità del vino Chasselas. La restrizione progressiva e moderata di acqua durante la stagione ha indebolito i ramoscelli e favorito la maturazione degli acini nel confronto con le vigne senza restrizione idrica. Il tenore di azoto nel mosto è diminuito con l'aumento dello stress idrico. La fertilità dei germogli, il peso delle bacche e dei grappoli alla vendemmia non sono stati influenzati dalle restrizioni idriche moderate subite dalla vigna. Uno stress idrico più intenso ha invece comportato diminuzioni della fotosintesi e della traspirazione delle foglie e ha causato l'embolia nei piccioli. Durante le annate calde e secche, i vini provenienti da vitigni che hanno sofferto di siccità sono stati considerati più amari al gusto di quelli provenienti da vitigni irrigati.