



12/ Fertilisation en viticulture

Jean-Laurent Spring et Thibaut Verdenal
Agroscope, 1009 Pully, Suisse

Renseignements : jean-laurent.spring@agroscope.admin.ch

Table des matières

1. Introduction.....	12/3
2. Particularités de la viticulture.....	12/3
2.1 Choix du porte-greffe.....	12/3
2.2 Observation du végétal	12/3
2.3 Analyse du végétal.....	12/3
2.4 Profil cultural	12/5
3. Besoins en éléments nutritifs	12/6
3.1 Déséquilibres nutritionnels et troubles physiologiques.....	12/6
4. Pratique de la fertilisation.....	12/11
4.1 Fertilisation azotée.....	12/11
4.2 Fertilisation P, K, Mg et B.....	12/12
4.3 Apport de matière organique	12/13
4.4 Fertilisation des jeunes vignes.....	12/13
4.5 Fertilisation foliaire	12/13
5. Bibliographie	12/15
6. Liste des tableaux.....	12/16
7. Liste des figures.....	12/16

1. Introduction

En viticulture, l'objectif d'une fertilisation raisonnée consiste à fournir à la plante une nutrition minérale équilibrée, garante d'une croissance harmonieuse et d'une production de qualité, tout en respectant l'environnement. La fertilisation n'intervient pas seule dans la nutrition de la vigne : les propriétés du sol, les conditions climatiques ainsi que les pratiques culturales interagissent fortement avec les mécanismes de l'alimentation. Avant toute réflexion sur les apports de fertilisants, il faut optimiser les conditions de base (drainage, teneur en matière organique, état structural, etc.) et les techniques culturales (entretien du sol, rapport feuille/fruit, etc.), en accord avec les potentialités du site. Ces conditions de départ étant réunies, la fertilisation doit permettre de maintenir le pool alimentaire du sol dans un état de fertilité satisfaisant, sans l'appauvrir ni l'enrichir inutilement.

L'équilibre nutritionnel de la plante est intimement lié au climat : par l'influence directe de celui-ci sur les biosynthèses végétales, d'une part, et par son action indirecte sur la dynamique du sol où sont absorbés les éléments fertilisants, d'autre part. Révélé par l'analyse du végétal, cet équilibre est donc le reflet de l'absorption des éléments minéraux par la plante dans un milieu climat/sol donné. En réalité, il n'existe que peu de corrélations entre cet équilibre et les teneurs en minéraux du sol, puisque leur disponibilité et leur absorption dépendent essentiellement du climat, notamment en relation avec le régime hydrique. Une bonne connaissance du sol et de son comportement sous diverses conditions climatiques devient dès lors indispensable à la compréhension de la nutrition végétale. C'est par quatre voies différentes, mais souvent complémentaires, que la fertilité du sol, au sens large, peut être approchée :

- l'observation du végétal, qui permet de se rendre compte de visu d'éventuels déséquilibres de nutrition ou de troubles physiologiques ;
- l'analyse du végétal, qui montre comment une plante s'est alimentée au cours de la saison et qui révèle les problèmes non décelables à l'oeil ;
- le profil cultural, qui permet d'apprécier la colonisation du sol par les racines, la succession d'horizons de différente nature, l'état structural et la circulation de l'eau et de l'air ;
- l'analyse de terre, qui aide à estimer la richesse en éléments fertilisants du sol.

2. Particularités de la viticulture

Pour les éléments minéraux principaux tels que le phosphore, le potassium et le magnésium, les normes de fertilisation proposées sont fondées sur les prélèvements de la vigne exportés hors de la parcelle ou immobilisés dans les parties pérennes (les sarments étant restitués). Les normes sont adaptées en fonction du rendement en raisin. Le rééquilibrage de l'état de fertilité de sols trop riches ou trop pauvres est entrepris par le biais d'un suivi

régulier de la richesse en éléments fertilisants et par une correction correspondante de la norme de fertilisation. Ces mesures permettent d'éviter carences et déséquilibres nutritionnels (antagonismes) préjudiciables à la culture et à l'environnement.

Pour l'azote (N), élément clé de la croissance végétative, les décisions sont essentiellement basées sur le comportement végétatif de la vigne. Elles sont intégrées dans un concept qui tient compte de l'ensemble des mesures influençant la disponibilité de cet élément. Dans un premier temps, on pose un diagnostic sur le niveau d'alimentation azotée de la vigne par l'observation du végétal, complétée ou non par des analyses du végétal. Dans une deuxième phase et en cas de déséquilibre, on suit un schéma de décision qui tient compte non seulement de la fertilisation azotée, mais également d'autres aspects susceptibles de jouer un rôle important, par exemple l'entretien du sol.

2.1 Choix du porte-greffe

Lors d'une reconstitution se pose la question du choix d'un porte-greffe adapté. Le porte-greffe influence le niveau de vigueur conféré, la résistance à la sécheresse ou aux excès d'eau temporaires, mais également la capacité spécifique d'absorption des éléments minéraux. L'absorption du fer (Fe) et la sensibilité à la chlorose ferrique est très fortement influencée par le porte-greffe ainsi que par de nombreux aspects liés au type de sol, au climat et à certains paramètres culturaux (tableau 6). La teneur en calcaire et plus particulièrement en calcaire actif du sol joue un rôle particulièrement important. Le calcaire actif représente la proportion de calcaire sous forme de particules fines, de la taille de l'argile ou du silt. Il est dit actif parce qu'il offre, pour un poids identique, une surface d'attaque aux acides du sol nettement supérieure à celle des grosses particules. Certaines échelles internationales concernant le choix du porte-greffe sont basées sur le calcaire actif. La détermination du calcaire actif dans le sous-sol avant une reconstitution n'est utile que si la teneur en calcaire total excède 10 %. Le tableau 1 réunit les seuils limites de calcaire total et de calcaire actif pour les principaux porte-greffes utilisés en Suisse.

2.2 Observation du végétal

L'expression végétative, le développement des grappes et la couleur du feuillage sont souvent révélateurs du bon ou du mauvais fonctionnement des organes souterrains. Pour les déséquilibres nutritionnels, la reconnaissance des symptômes est importante, ainsi que le moment de leur apparition et leur répartition spatiale dans la parcelle ou dans la région (chapitre 2.4). Il faut aussi se remémorer les conditions météorologiques qui ont précédé l'apparition du dysfonctionnement ; elles en sont fréquemment à l'origine.

2.3 Analyse du végétal

Différentes méthodes analytiques permettent de préciser ou de confirmer les observations faites sur la vigne.

Tableau 1. Résistance à la chlorose ferrique en fonction des taux de calcaire total et actif

Porte-greffe		Calcaire total (%)	Calcaire actif (%)
<i>V. riparia</i>	Riparia gloire de Montpellier	0–15	0–6
<i>V. riparia</i> x <i>V. rupestris</i>	3309 (Couderc)	0–22	0–11
	101-14 (Millardet et de Grasset)	0–20	0–9
<i>V. riparia</i> x <i>V. berlandieri</i>	5 BB (Kober)	0–40	0–20
	5 C (Téleki)	0–40	0–20
	SO4 (Sél. Oppenheim)	0–35	0–18
	125 AA (Kober)	0–35	0–13
	420 A (Millardet et de Grasset)	0–40	0–20
	161-49 (Couderc)	0–50	0–25
<i>V. berlandieri</i> x <i>V. rupestris</i>	1103 (Paulsen)	0–30	0–17
<i>V. vinifera</i> x <i>V. berlandieri</i>	41B (Millardet et de Grasset)	> 50	0–40
(<i>V. berlandieri</i> x <i>V. vinifera</i>) x (<i>V.berlandieri</i> x <i>V. longii</i>)	Fercal	> 60	> 40
161–49 C x 3309 C	Gravesac	0–15	0–6

2.3.1 Analyse foliaire

L'analyse foliaire sert à contrôler l'état d'approvisionnement de la vigne durant la saison. Elle complète les autres moyens d'investigation et ne permet pas, à elle seule, d'établir un plan de fertilisation. Sont déterminées couramment les teneurs en N, P, K, Ca et Mg. D'autres éléments, en particulier les oligo-éléments tels que le bore (B), le manganèse (Mn), le fer (Fe) et le zinc (Zn), peuvent aussi être analysés. Le prélèvement pour l'analyse foliaire se pratique normalement au début de la véraison. Il reste néanmoins possible en dehors de cette période; mais l'interprétation des résultats est plus aléatoire. On prélève environ 25 feuilles adultes (avec pétiole) régulièrement réparties sur les rameaux prin-

cipaux au niveau des grappes. On veillera à ne pas prélever de feuilles déchiquetées ou nécrosées et à acheminer rapidement l'échantillon au laboratoire. L'analyse foliaire permet de mettre en évidence des carences latentes et des antagonismes entre éléments, et complète ainsi les observations faites dans le profil cultural et les résultats d'analyse de sol. Pour interpréter les résultats, on utilise des valeurs de référence en provenance de la littérature ou de matériel végétal identique considéré comme sain. Depuis 1976, Agroscope a créé une base de données pour le Chasselas, le Gamay, le Pinot noir et le Merlot. Les plages d'interprétation sont données dans le tableau 2. Pour d'autres cépages, il convient de prendre contact avec le laboratoire Sol-Conseil à Gland.

Tableau 2. Plages de référence pour le diagnostic foliaire en viticulture au stade de début véraison. Les valeurs sont exprimées en % de la matière sèche.

(Valeurs provenant du réseau de référence de la Suisse romande et du Tessin de 1976 à 2000). L'interprétation normale s'effectue sur cinq classes, les classes faibles et élevées se calculent par différences.

Cépage		Chasselas	Pinot noir	Gamay	Merlot
N	très faible	< 1,74	< 1,93	< 1,74	< 1,85
	bon	1,93–2,31	2,08–2,38	1,93–2,31	1,98–2,24
	très élevé	> 2,50	> 2,53	> 2,50	> 2,37
P	très faible	< 0,15	< 0,18	< 0,18	< 0,13
	bon	0,17–0,20	0,20–0,23	0,21–0,27	0,14–0,18
	très élevé	> 0,22	> 0,25	> 0,30	> 0,19
K	très faible	< 1,38	< 1,45	< 1,05	< 1,95
	bon	1,56–1,92	1,59–1,87	1,24–1,62	2,10–2,40
	très élevé	> 2,10	> 2,01	> 1,82	> 2,55
Ca	très faible	< 2,07	< 2,24	< 3,07	< 1,47
	bon	1,49–3,33	2,66–3,51	3,42–4,14	1,64–2,00
	très élevé	> 3,75	> 3,94	> 4,49	> 2,17
Mg	très faible	< 0,15	< 0,16	< 0,15	< 0,18
	bon	0,19–0,27	0,20–0,29	0,21–0,34	0,20–0,24
	très élevé	> 0,31	> 0,33	> 0,40	> 0,27

2.3.2 Indice chlorophyllien

L'indice chlorophyllien du feuillage est mesuré en plein champ à l'aide d'un appareil portable (N-Tester, Yara International, Paris, France). Les valeurs obtenues reflètent l'intensité de la couleur verte du feuillage. Cette méthode permet de diagnostiquer de manière assez fiable l'état d'approvisionnement des plantes en N, pour autant que celles-ci ne souffrent pas d'autres carences avérées ou latentes, notamment en Fe (chlorose ferrique) ou en Mg, susceptibles d'influencer la couleur du feuillage. La détermination de l'indice chlorophyllien est également déconseillée sur des feuilles malades, présentant des décolorations d'origine parasitaire (viroses, cicadelles...) ou fortement souillées ou altérées par des produits de traitement ou d'autres causes (coup de soleil, sécheresse, etc.). Il est recommandé d'effectuer les mesures au stade début véraison sur les feuilles principales entières et non abîmées de la zone des grappes (au minimum 4 mesures de 30 feuilles chacune par zone considérée comme homogène). Pour le Chasselas, le Pinot noir et le Gamay, des seuils d'interprétation pour des mesures effectuées à cette époque sont proposés (Spring et Jelmini 2002) (tableau 3). Des mesures plus précoces dans la saison sont déconseillées.

Tableau 3. Seuils pour l'interprétation de l'indice chlorophyllien du feuillage à la véraison mesuré à l'aide du N-Tester. Feuilles principales de la zone des grappes (Spring et Jelmini 2002).

Appréciation du niveau d'alimentation azotée	Indice N-Tester		
	Chasselas	Pinot noir	Gamay
Très faible	< 420	< 460	< 380
Faible	420–460	460–500	380–430
Normal	460–540	500–580	430–530
Elevé	540–570	580–620	530–580
Très élevé	> 570	> 620	> 580

2.3.3 Azote assimilable

L'azote assimilable par les levures dans le moût à la vendange est essentiel pour le bon déroulement de la fermentation alcoolique. Il est également source de précurseurs aromatiques. Principalement composé d'acides aminés et d'ammonium, sa part dans le N total du raisin peut varier de 25 à 40 %. Les concentrations de N assimilable dans le moût varient fortement selon les conditions (sol, climat, rapport feuille-fruit, cépage, porte-greffe et, techniques culturales). Le N assimilable est généralement mesuré à partir d'un échantillon de moût prélevé juste après foulage et est exprimé en mg N/l. Il peut aussi être représenté par l'indice de formol (Aerny 1996). Les moûts carencés donnent généralement des vins moins expressifs en arômes, plus astringents et plus amers. Les seuils de sensibilité à la carence en N assimilable sont variables selon les cépages. Pour les cépages blancs (ou les cépages rouges vinifiés en rosé), il est généralement admis, à l'exemple du Chasselas, qu'une concentration d'au minimum 140 mg N/l d'azote assimilable par litre (indice de formol 10), idéale-

ment 200 mg N/l (indice de formol 14), contribue efficacement à une vinification réussie (tableau 4). Pour les cépages rouges, les effets d'une carence azotée de la vendange sont moins marqués.

Sachant que la quantité de N assimilable varie généralement peu au cours de la maturation, sa détermination précoce à partir d'un échantillon représentatif de baies au début de la véraison peut donner une information utile pour justifier une correction éventuelle par apport d'urée foliaire (chapitre 4.1). Afin que les résultats soient représentatifs, il convient d'apporter une attention particulière au prélèvement des échantillons (minimum 200 baies prélevées sur l'ensemble de la zone considérée et maximum une baie par cep, en veillant à prélever sur les différentes parties de la grappe).

Tableau 4. Seuils de sensibilité du Chasselas à la carence en N assimilable dans le moût

	Forte carence	Carence modérée	Valeur optimale
Azote assimilable (mg N/l)	< 140	140–200	200
éq. Indice de formol	< 10	10–14	14

2.4 Profil cultural

Le profil cultural est un outil indispensable pour caractériser certaines propriétés du sol :

- succession des horizons et profondeur utile;
- volume occupé par la pierrosité;
- état et stabilité de la structure;
- porosité et compacité;
- activité biologique;
- enracinement de la vigne.

Ces propriétés conditionnent la dynamique de l'eau et des éléments nutritifs. Leur connaissance est nécessaire pour appréhender le fonctionnement du sol et ses relations avec la plante. La réserve utile en eau (RU) peut être estimée grâce à la texture, la pierrosité, la profondeur sol et l'enracinement de la vigne. Les observations faites dans un profil de sol rendent également service lorsqu'il s'agit de décider :

- de l'opportunité d'un drainage (présence d'excès d'eau temporaires);
- de l'opportunité de l'irrigation (RU inférieure à 100 mm);
- de la profondeur de travail du sol (décompactages, création de banquettes);
- du mode d'entretien du sol (volume de la RU);
- du choix du porte-greffe (présence de calcaire, potentiel de vigueur conférée par le sol);
- du choix du cépage (en fonction de la réserve hydrique et des exigences spécifiques du cépage);
- du mode d'application des engrais et des amendements.

Le profil cultural est particulièrement indiqué lors d'accidents de végétation sans raison apparente et lors de mouvements de terre importants. La localisation d'un profil cultural devrait être choisie de sorte à ce qu'il soit représentatif de la zone étudiée (parcelle ou zone homogène dans une parcelle). Idéalement, il est creusé à une distance comprise entre 20 et 60 cm du pied de vigne pour permettre une bonne description de l'enracinement. Les analyses physico-chimiques de terre pour raisonner la fertilisation et le choix du porte-greffe doivent être réalisées sur un échantillon moyen de la parcelle.

3. Besoins en éléments nutritifs

Les besoins en éléments fertilisants de la vigne (normes) sont définis pour assurer une croissance optimale de la culture sur un sol considéré comme normalement pourvu. Le tableau 5 présente les prélèvements en éléments fertilisants au cours d'une année pour un rendement de 1,2 kg/m² de raisin, selon les données de Löhnertz (1988). Les feuilles et les sarments étant considérés comme recyclés dans la parcelle.

Pour P, K et Mg, la stratégie vise à assurer un état de fertilité suffisant du sol en restituant les prélèvements exportés et en évitant des déséquilibres susceptibles de perturber l'alimentation minérale de la vigne (consommation de luxe, antagonismes).

Le N est probablement l'élément le plus important dans le métabolisme de la vigne. Un excès aussi bien qu'une carence en N aura d'importantes conséquences physiologiques sur la vigueur, sur la maturation des raisins, sur la sensibilité aux maladies fongiques et entraîne souvent une dépréciation de la qualité des vins (Maigre *et al.* 1995). Les besoins en N de la vigne sont relativement modestes mais concentrés sur une période assez courte (figure 1). Du débourrement au stade 5-6 feuilles étalées, le N provient essentiellement des réserves (racines, vieux bois). Un premier pic principal d'absorption du N, le plus important, se situe juste après la floraison. Un second pic d'absorption se situe juste après la véraison. En fin de sai-

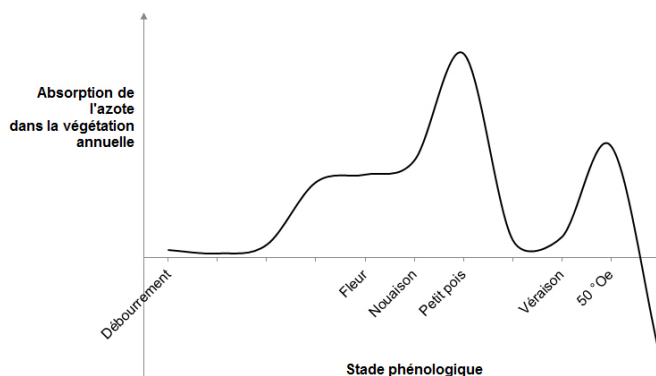


Figure 1. Intensité de l'absorption du N dans la végétation annuelle de la vigne (sarments, feuilles, raisins) (selon Löhnertz O. 1988).

son, une partie du N migre dans les organes de réserve avant la chute des feuilles. L'alimentation azotée de la vigne est grandement influencée par les conditions pédo-climatiques et climatiques. L'effet millésime est d'ailleurs souvent très marqué sur la teneur en N assimilable dans le moût. Dès la plantation, le choix d'un cépage et d'un porte-greffe adaptés aux conditions pédo-climatiques régionales ainsi qu'un entretien raisonné du sol sont la base d'une bonne alimentation azotée.

3.1 Déséquilibres nutritionnels et troubles physiologiques

Divers troubles de l'alimentation peuvent apparaître chez la vigne. Selon leur nature, ils sont caractérisés par des symptômes particuliers. Les problèmes peuvent être d'origines diverses (carences, excès, conditions pédo-climatiques, état physiologique de la plante, etc.). Des investigations complémentaires peuvent être nécessaires pour déterminer l'origine des troubles et les moyens de lutte à mettre en œuvre. Les principales carences et les troubles d'ordre physiologique de la vigne sont exposés dans le tableau 6. Les causes et les moyens de lutte appropriés y sont décrits. Les engrais foliaires doivent être réservés aux cas de carences avérées ou dans des situations à risques reconnues ou chroniques.

Tableau 5. Prélèvements d'éléments fertilisants par le Riesling selon Löhnertz (1988).

Valeurs d'exportation par les raisins corrigées pour un rendement de 1,2 kg/m².

Répartition	Éléments en kg/ha/an			
	N	P	K	Mg
Vieux bois	27	5	17	3
Raisins	23	4	42	2
Total exporté et immobilisé	50	9	59	5
Sarments	5	1	10	1
Feuilles	37	3	17	4
Prélèvements totaux	92	13	86	10

Tableau 6. Principaux déséquilibres et troubles physiologiques de la vigne.



Carence en N	Excès de N
	
Symptômes	Symptômes
<p>Feuilles : vert pâle puis jaunes, nervures comprises</p> <p>Pétioles : peuvent devenir rouges</p> <p>Rameaux : vigueur réduite</p> <p>Grappes : coulure</p> <p>Etendue du phénomène : généralisé à la parcelle avec des zones plus prononcées</p> <p>Epoque d'apparition : en général peu avant fleur</p>	<p>Feuilles : de grande taille, vert foncé</p> <p>Rameaux : vigueur forte, aoûtement retardé</p> <p>Grappes : compactes, sensibles au botrytis, dans les cas extrêmes coulure par excès de vigueur, dessèchement de la rafle</p> <p>Etendue du phénomène : généralisé à la parcelle avec des zones plus prononcées</p>
Causes possibles	Causes possibles
<p>Fertilisation : insuffisante, taux de MO faible</p> <p>Climat : excès d'eau, froid, sécheresse</p> <p>Entretien du sol : concurrence de l'enherbement, tassement, amendement organique avec C/N > 50</p>	<p>Fertilisation : excessive</p> <p>Climat : favorable à la minéralisation de la matière organique (MO)</p> <p>Sol : excès de MO, travail du sol, chaulage sur sols acides riches en MO</p>
Investigations complémentaires	Investigations complémentaires
<p>Analyse de terre : granulométrie, MO, pH</p> <p>Diagnostic foliaire</p> <p>N assimilable dans le moût</p> <p>Indice chlorophyllien du feuillage (N-Tester)</p> <p>Profil : état structural, état de décomposition de la MO, régime hydrique</p>	<p>Analyse de terre : granulométrie, MO, pH</p> <p>Diagnostic foliaire</p> <p>Indice chlorophyllien du feuillage (N-Tester)</p> <p>Profil : profondeur du sol, régime hydrique</p>
Moyens de lutte envisageables	Moyens de lutte envisageables
<p>Court terme :</p> <p>Fertilisation foliaire : urée, nitrate de potasse ou préparation spécifique du commerce</p> <p>Fertilisation au sol : nitrate de chaux</p> <p>Long terme :</p> <p>Entretien au sol : limiter la concurrence du gazon en vigne enherbée, localisation du N sur le rang désherbé. Plan de fumure minéral, fertilisation organique, aération du sol, drainage, irrigation</p>	<p>Long terme :</p> <p>Stopper apports de N organique et minéral, enherber</p>

Tableau 6. Principaux déséquilibres et troubles physiologiques de la vigne (suite).



Carence en K	Carence en Mg
	
Symptômes	Symptômes
<p>Feuilles: coloration brillante au départ, enroulement en gouttière, puis décoloration et brunissement du pourtour, manifestation du phénomène sur les jeunes feuilles</p> <p>Plantes: plus sensible à la sécheresse Ralentissement de l'accumulation des sucres dans la baies</p> <p>Etendue du phénomène: souvent généralisé à la parcelle avec des zones plus prononcées</p> <p>Epoque d'apparition: dès floraison</p>	<p>Feuilles: coloration intervéniaire des feuilles à la base des rameaux : - jaunissement (cépages blancs) - rougissement (cépages rouges)</p> <p>Etendue du phénomène: généralisé à la parcelle, plus fréquent sur jeunes vignes</p> <p>Epoque d'apparition: en général dès fin juillet-août; dans les cas graves, plus tôt</p>
Causes possibles	Causes possibles
<p>Fertilisation: insuffisante</p> <p>Sols: très argileux (rétrogradation), légers (lessivage), après gros mouvements de terre, création après prairies naturelles</p>	<p>Fertilisation: insuffisante en Mg ou excès de K (antagonisme), fertilisation azotée sous forme ammoniacale</p> <p>Climat: années humides</p> <p>Equilibre de la plante: équilibre feuille/fruit, porte-greffe et cépages sensibles</p> <p>Enracinement: sols et techniques culturales entraînant un enracinement superficiel (dans les horizons enrichis en potasse)</p>
Investigations complémentaires	Investigations complémentaires
<p>Analyse de terre: CEC, granulométrie, K</p> <p>Diagnostic foliaire</p>	<p>Analyse de terre: K, Mg</p> <p>Diagnostic foliaire</p> <p>Profil cultural: enracinement</p>
Moyens de lutte envisageables	Moyens de lutte envisageables
<p>Court terme:</p> <p>Fertilisation foliaire: sulfate de potasse ou préparation spécifique du commerce (plusieurs pulvérisations nécessaires)</p> <p>Fertilisation au sol: sulfate de potasse ou autre engrais soluble (appliqués au pal injecteur)</p> <p>Long terme:</p> <p>Fertilisation au sol: plan de fumure minéral</p>	<p>Court terme:</p> <p>Fertilisation foliaire: sulfate de magnésium hydraté ou préparation spécifique du commerce (plusieurs pulvérisations nécessaires)</p> <p>Long terme:</p> <p>Fertilisation foliaire: sulfate de magnésium hydraté ou préparation spécifique du commerce (plusieurs pulvérisations nécessaires)</p> <p>Fertilisation au sol: raisonnée K et Mg</p> <p>Plante: maîtrise du rendement, adaptation du porte-greffe</p>

Tableau 6. Principaux déséquilibres et troubles physiologiques de la vigne (suite).





Carence en B	Carence en Fe
	
Symptômes	Symptômes
<p>N.B. : les symptômes d'excès sont identiques aux symptômes de carence</p> <p>Feuilles : déformées, petites, boursouffées, marbrées, jaunissement en mosaïque</p> <p>Rameaux : vigueur réduite, entre-nœuds courts, manifestation du phénomène sur les jeunes pousses, entre-cœurs dominants sur la pousse principale</p> <p>Grappes : forte coulure, déformation</p> <p>Etendue du phénomène : souvent généralisé à la parcelle avec des zones plus atteintes</p> <p>Epoque d'apparition : souvent déjà avant fleur</p>	<p>Feuilles : jaunissement, nervures non comprises, nécroses dans les cas graves</p> <p>Rameaux : vigueur réduite, manifestation de la chlorose sur les jeunes feuilles ou l'extrémité des rameaux</p> <p>Grappes : petites, jaunes, coulées</p> <p>Cep : dépérissements dans les cas graves</p> <p>Etendue du phénomène : souvent localisé</p>
Causes possibles	Causes possibles
<p>Fertilisation : insuffisante, chaulage important</p> <p>Climat : sécheresse</p> <p>Sol : léger, filtrant (lessivage), calcaire (blocage). Sur création après prairies, carences en bore et en potassium souvent associées</p>	<p>Equilibre de la plante : mauvais équilibre feuille/fruit l'année précédente, porte-greffe inadapté</p> <p>Climat : excès d'eau, froid</p> <p>Sol : calcaire, asphyxiant</p> <p>Entretien du sol : tassement, travail du sol, amendements organiques insuffisamment décomposés et enfouis</p> <p>N.B. : les carences en Fe ne sont partiellement jamais dues à une déficience en fer dans le sol</p>
Investigations complémentaires	Investigations complémentaires
<p>Analyse de terre : B, calcaire total, pH</p> <p>Diagnostic foliaire</p>	<p>Analyse de terre : granulométrie, MO, pH, calcaire total et actif</p> <p>Profil : état structural, état de décomposition de la MO, régime hydrique</p> <p>Plante : conduite et rendements antérieurs</p>
Moyens de lutte envisageables	Moyens de lutte envisageables
<p>Court terme :</p> <p>Fertilisation foliaire : préparation spécifique du commerce</p> <p>Fertilisation au sol (pour autant qu'une irrigation soit possible en période sèche)</p> <p>Long terme :</p> <p>Fertilisation au sol : plan de fumure minéral et organique, attention en cas de chaulage</p>	<p>Court terme :</p> <p>Fertilisation foliaire : préparation spécifique du commerce, efficacité aléatoire</p> <p>Fertilisation au sol : chélates de fer (appliqués au pal injecteur, surtout dans les sols lourds)</p> <p>Long terme :</p> <p>Fertilisation au sol : chélates de fer (appliqués au pal injecteur, surtout dans les sols lourds)</p> <p>Entretien du sol : aération, enherbement, drainage</p> <p>Plante : favoriser un rapport feuille/fruit équilibré, adaptation du porte-greffe</p>

Tableau 6. Principaux déséquilibres et troubles physiologiques de la vigne (suite).

Dessèchement de la rafle	Folletage des grappes
	
Symptômes	Symptômes
<p>Grappes : dessèchement d'une partie ou de la totalité des rafles, maturation interrompue des parties de grappes touchées</p> <p>Epoque d'apparition : peu après la véraison</p>	<p>Grappes : maturation des baies interrompue, parfois flétrissement des baies, pointes de grappes plus sensibles, pas de dessèchement de rafle</p> <p>Epoque d'apparition : peu après la véraison</p>
Causes possibles	Causes possibles
<p>Fertilisation : excès de N, excès de K, manque de Mg</p> <p>Climat : humide, brusques écarts climatiques</p> <p>Equilibre de la plante : vigueur élevée, déséquilibre au niveau de l'assimilation des cations (K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺)</p> <p>Cépage : sensibilité variétale (ex. : Chasselas très sensible, Pinot noir moins sensible)</p> <p>Porte-greffe : défavorisant l'absorption du Mg et favorisant la vigueur</p>	<p>Fertilisation : excès de N et excès d'irrigation</p> <p>Climat : humide, brusques écarts climatiques</p> <p>Equilibre de la plante : vigueur élevée, grande disponibilité en eau, dysfonctionnement du système vasculaire (phloème-xylème)</p> <p>Cépage : sensibilité variétale (Cabernets, Gamay, Chasselas, Humagne rouge sensibles)</p> <p>Sols : grande réserve en eau, sols fertiles</p>
Investigations complémentaires	Investigations complémentaires
<p>Analyse de terre : K, Mg</p> <p>Diagnostic foliaire</p>	<p>Profil culturel : estimation de la réserve utile en eau</p>
Moyens de lutte envisageables	Moyens de lutte envisageables
<p>Court terme :</p> <p>Pulvérisation sur grappes : sulfate de Mg hydraté dès le début de la véraison, deux fois à dix jours d'intervalle en mouillant bien les grappes ou préparation du commerce</p> <p>Long terme :</p> <p>Equilibre de la plante : maîtrise de la vigueur, choix du porte-greffe</p> <p>Fertilisation : raisonner la fertilisation azotée, potassique et magnésienne</p> <p>Entretien du sol : enherbement</p>	<p>Court terme :</p> <p>Plante : régulation de la charge en éliminant la pointe des grappes (cépages sensibles)</p> <p>Long terme :</p> <p>Plante : maîtrise du rendement, adaptation du rapport feuille/fruit, choix du porte-greffe</p> <p>Fertilisation : raisonner la fertilisation azotée</p> <p>Alimentation en eau : raisonner l'irrigation</p>

4. Pratique de la fertilisation

4.1 Fertilisation azotée

Pour le N, aucune fertilisation de reconstitution n'est recommandée. Les jeunes vignes ne demandent aucune fertilisation azotée. Celle-ci doit en effet être adaptée au développement de la vigne.

Toute modification des pratiques de fertilisation azotée ou d'entretien du sol doit s'appuyer sur l'observation du comportement de la vigne (tableau 7), renforcée ou non par des données analytiques (diagnostic foliaire, N assimilable dans le moût).

Dans une situation équilibrée, il est possible de conserver les pratiques des années précédentes (fertilisation azotée, entretien du sol). En raison de la forte influence du climat annuel sur la nutrition azotée de la vigne, il est prudent de confirmer un diagnostic sur deux à trois ans d'observations.

En cas de déséquilibre (carence ou excès), le tableau 8 permet d'en rechercher les causes ainsi que les solutions techniques qui peuvent être envisagées. Les recommandations de fertilisation azotée annuelle sont comprises entre 0 et 50 kg/ha. Seuls des cas exceptionnels justifient une fertilisation azotée plus élevée. En cas de non-réponse ou de réaction insuffisante de la vigne à une variation de la fertilisation azotée dans le cadre de cette fourchette, il faudra principalement agir sur les aspects liés aux pratiques culturales ou, dans le cadre d'une reconstitution, au choix du matériel végétal.

En raison des risques de lixiviation (pertes par drainage), il est inutile d'apporter trop tôt la fertilisation azotée. A l'inverse, des apports trop tardifs sont à proscrire pour ne pas prolonger la végétation et favoriser certains parasites (botrytis) ou accidents physiologiques (dessèchement de la rafle). En conditions normales, une fertilisation azotée effectuée au moyen de nitrate d'ammoniaque devrait être appliquée au stade 3-5 feuilles étalées, peu avant le pre-

Tableau 7. Nutrition azotée, diagnostic de l'année en cours.

Critères		Diagnostic			
		Excès	Equilibre	Carence	
Critères de base observation de la plante	Vigueur :	Grosseur des bois et des feuilles Longueur des entre-nœuds	Elevée	Normale	Faible
	Coloration feuillage :	Couleur de la feuille (à la véraison) Indice chlorophyllien du feuillage (N-Tester) à la véraison	Vert foncé indice N-Tester élevé	Vert normal indice N-Tester normal	Vert clair indice N-Tester faible
	Sensibilités :	à la pourriture à la coulure (par excès de vigueur), au dessèchement de la rafle	Elevée	–	–
Informations complémentaires données analytiques	Teneur en N foliaire à la véraison (diagnostic foliaire)		Elevée	Normale	Faible
	Teneur en N assimilable dans le moût à la vendange (cépages blancs et rouges vinifiés en blanc/rosé)		–	Normale	Faible

Tableau 8. Propositions de solutions techniques pour gérer l'alimentation azotée.

Observations	Excès de N	Carence en N
Entretien du sol	Enherber ou augmenter la surface enherbée si les conditions le permettent (sol, climat, mode de conduite)	Diminuer la surface enherbée Choix d'un enherbement moins concurrentiel Favoriser l'enracinement (drainage, décompactage si nécessaire)
Matière organique (MO)	En cas de MO excessive : Stopper les apports de MO	En cas de MO insuffisante : Apport de MO
Alimentation hydrique	En cas d'alimentation en eau excessive : Réduire l'irrigation Enherber ou augmenter la surface enherbée si les conditions le permettent (sol, climat, mode de conduite)	En cas de contrainte hydrique marquée : Raisonnement l'irrigation et l'entretien du sol
Choix du porte-greffe	Choix d'un porte-greffe moins vigoureux lors d'une reconstitution	Choix d'un porte-greffe plus vigoureux lors d'une reconstitution
Gestion de la haie foliaire	Respecter un rapport feuille/fruit équilibré	En cas de carence en N assimilable dans le moût : Réduire la hauteur de haie foliaire si elle est excessive
Fertilisation azotée (N)	Diminuer ou supprimer la fertilisation N	Augmenter la fertilisation N Localiser la fertilisation N sur le cavillon desherbé Apport d'urée foliaire à la véraison (corrige essentiellement la teneur en N des moûts)

mier grand pic d'absorption à la floraison. Cette période d'application indicative peut être modulée en fonction de certains facteurs: on retardera légèrement les apports en années ou en zones tardives, sous climat humide, sur sols très filtrants et lors d'apports sous forme nitrique exclusive (par ex. nitrate de chaux). On avancera légèrement les apports en années ou en zones précoces, sous un climat sec, sur des sols peu filtrants et lors d'apports sous forme exclusivement ammoniacale (par ex. sulfate d'ammoniaque) ou amidique (par ex. urée). Au besoin, un fractionnement de l'apport peut améliorer son efficacité par réduction des pertes. Dans les vignes enherbées, l'efficacité des apports localisés sur les parties désherbées (cavaillon, etc.) a été démontrée (Spring 2003). Il est souvent possible de diminuer ainsi les doses avec la même efficacité qu'un épandage effectué sur toute la surface. Les apports de N organique peuvent avoir lieu en automne déjà.

Lorsqu'une situation de carence azotée est identifiée sur la vigne en cours d'été (selon les critères décrits précédemment) ou fortement prévisible (déficit hydrique estival marqué, parcelle sensible au stress hydro-azoté), une possibilité de correction tardive est offerte par l'application d'urée foliaire autour de la véraison (Spring et Lorenzini, 2006; Spring *et al.* 2015). Ces apports sont généralement bien valorisés par la plante et entraînent essentiellement une augmentation du N assimilable dans les moûts. Cette technique est particulièrement indiquée pour des cépages blancs ou pour des cépages rouges vinifiés en rosé en permettant de diminuer les risques de perte qualitative liés à un stress hydro-azoté excessif (dénaturation aromatique, amertume et astringence des vins). Cette méthode ne saurait remplacer une gestion optimale des techniques culturales (entretien du sol, fertilisation N au sol) adaptées aux conditions pédo-climatiques de la parcelle. Elle constitue par contre une possibilité de correction efficace des teneurs en azote assimilable des moûts qu'il est possible de mettre en œuvre tardivement et à laquelle on ne doit recourir qu'en cas de nécessité (carence azotée avérée ou fortement prévisible).

Ces corrections se limitent généralement à des apports de 10–20 kg N/ha au total, apportés par applications de 5 kg N/ha, espacées de 7–10 jours entre elles, durant la période encadrant la véraison (en général durant le mois d'août). Afin d'améliorer l'absorption de l'urée et de réduire les risques de phytotoxicité (liés à la présence de biuret), les applications doivent être effectuées de préférence en début ou en fin de journée (températures plus basses et hygrométrie de l'air plus élevée) en mouillant bien l'ensemble du feuillage (volumes de bouillies au minimum de 200–400 l/ha, dans l'idéal de 600–800 l/ha).

La correction de la teneur en N assimilable des moûts obtenue peut varier selon le cépage, les conditions pédo-climatiques et l'année. Les observations pluriannuelles effectuées sur différents cépages blancs cultivés sur le domaine expérimental d'Agroscope à Changins montrent un gain moyen de l'ordre de 15 mg N/l de N assimilable (équivalent à environ 1 point d'indice de formol) pour chaque application de 5 kg N/ha effectuée sous forme d'urée autour de la véraison.

4.2 Fertilisation en P, K, Mg et B

4.2.1 Fertilisation de fond P, K, Mg, B, lors de la mise en place de la culture

La plupart des sols viticoles étant bien pourvus en éléments minéraux, la fertilisation de fond constitue une mesure exceptionnelle. Les normes sont recommandées lorsque l'état de fertilité est qualifié de pauvre et médiocre pour le potassium et de pauvre pour le phosphore par les méthodes d'analyses classiques (AAE10 et H₂O10). Dans ces cas, les fertilisations de redressement peuvent être considérables. Aussi, l'incorporation des engrais dans toute la tranche de sol travaillée est-elle préconisée. Cette pratique est moins nuisible à l'environnement que de fortes fertilisations de rattrapage appliquées en surface après plantation. La démarche diffère selon l'élément considéré.

Les sols pauvres en **phosphore** sont rares en viticulture, mais dans certains cas, un apport de fond de 90 à 130 kg/ha de P (200 à 300 kg/ha de P₂O₅) se justifie. La dose inférieure concerne les sols légers (< 10 % argile) et la dose supérieure, les sols lourds (> 30 % argile).

Pour le **potassium**, l'expérience montre qu'il est judicieux d'adapter la dose à la structure et à la capacité d'adsorption du sol (tableau 9). Comme indiqué précédemment, il est impératif de répartir les engrais sur toute la tranche de sol concernée par la préparation du terrain (40 à 60 cm). Pour une incorporation plus superficielle, on corrigera les doses en fonction de la profondeur de travail effective. Pour éviter des accidents à la végétation, notamment lors d'apports importants, il faudra utiliser du sulfate de potassium.

Le **magnésium** étant facilement lessivable, son apport en fertilisation de fond n'est pas indiqué. Les corrections nécessaires sont effectuées dans le cadre des fertilisations d'entretien annuelles.

Un apport de **bore** est nécessaire en cas de carence révélée par la culture précédente ou par une analyse de terre. Au besoin, 2 à 3 kg de bore par ha bien répartis sur l'ensemble de la surface sont largement suffisants.

Tableau 9. Quantité de fertilisation de fond kg K/ha (K₂O/ha) en fonction de la nature et de l'état de fertilité du sol
Correction considérée pour une profondeur de travail de 50 cm.

Appréciation du sol	pauvre	médiocre	satisfaisant	riche
sol léger	500 (600)	350 (420)	0	0
sol moyen	750 (900)	500 (600)	0	0
sol lourd	1000 (1200)	700 (840)	0	0

4.2.2 Fertilisation annuelle d'entretien P, K, Mg

Les présentes recommandations sont fondées sur l'étude de Löhnertz (1988), en considérant que les sarments sont restitués. Ils tiennent compte des niveaux de rendements pratiqués selon les directives de classification des vins (AOC, vins de Pays, vins de table), des raisins de table et des particularités régionales (tableau 10).

Tableau 10. Normes de fertilisation annuelle pour la vigne en fonction du rendement (kg/ha/an) dans le cas d'un état de fertilité du sol satisfaisant

Rendement (kg/m ²)	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
0,8	10 (23)	45 (54)	25
1,0	10 (23)	55 (66)	25
1,2	12 (27)	65 (78)	25
1,6	12 (27)	75 (90)	25
2,0	15 (34)	85 (102)	25

La norme de fertilisation annuelle d'entretien correspond à la quantité de chaque élément qu'il faut apporter dans un sol dont l'état de fertilité est satisfaisant. Elle peut être corrigée entre -100 et +50 % suivant l'état de fertilité du sol (méthodes d'analyses classiques AAE10 et H₂O10). L'objectif est de tendre vers un niveau de fertilité satisfaisant à long terme.

Il est possible d'apporter le **phosphore** en une seule fois pour quatre à six ans, seulement lorsque les quantités nécessaires sont faibles ou lorsque les apports sont effectués sous forme organique. Pour des apports relativement importants, sous forme minérale, il est préférable d'enfourir légèrement le produit en raison des risques de pertes par ruissellement.

Lorsque le sol est riche ou très riche en **potassium**, on supprimera les apports de K, mais on ne réduira pas les apports de Mg au-dessous de la norme afin de prévenir une carence en Mg par antagonisme K/Mg, même lorsque le sol est riche en Mg.

Pour le **magnésium**, en raison de sa grande mobilité dans le sol, la norme proposée est plus élevée que les exportations. Dans le cas d'un sol très riche en K (antagonisme avec Mg) et en présence de symptômes de carence magnésienne, des apports foliaires de Mg peuvent être recommandés, en complément des apports effectués au sol, afin d'éviter temporairement la carence. Mais la solution à long terme passe avant tout par le rééquilibrage de l'état de fertilité potassique du sol.

Le **bore** joue un rôle important dans le développement de la vigne et en particulier dans la nouaison. Un manque ou un excès de cet élément perturbent gravement le développement de la plante. L'utilisation d'engrais boriqués ou d'engrais complets contenant du B permet de lutter efficacement contre la carence. Dans le cas de sols pauvres en B, une fertilisation de correction de 2 kg/ha de bore est né-

cessaire les deux premières années, puis de 1 kg/ha les trois années suivantes. Ensuite, une nouvelle analyse doit être réalisée. Dans le cas de sols satisfaisants en B, une fertilisation d'entretien de 1 kg/ha/an peut être réalisée. Dans le cas de sols riches, l'abandon de la fertilisation boriquée jusqu'à la prochaine analyse est nécessaire, sauf si le sol concerné est léger, calcaire ou irrigué. Dans ces cas, la fertilisation boriquée doit être stoppée durant 2 ans, puis des apports d'entretien de 1 kg/ha/an seront réalisés; contrôler l'état de fertilité après 5 ans. Afin d'éviter les problèmes de toxicité, il est indispensable de veiller à une répartition homogène du B apporté et de ne jamais dépasser les doses prescrites. La culture de plantes exigeantes en B (crucifères), avec exportation de la biomasse produite, peut aider à résoudre les cas de toxicité.

4.3 Apport de matière organique

L'apport de matière organique peu décomposée juste avant le travail du sol peut provoquer l'asphyxie des racines par dégagement de gaz (CO₂, méthane), particulièrement lorsque la MO se retrouve en milieu privé d'air. Si une élévation du taux de MO est nécessaire, on apportera du fumier ou du compost, un ou deux ans avant le travail du sol ou dès la 2^e feuille. Lorsque des apports importants sont justifiés, la quantité d'éléments minéraux contenus dans la MO peut dépasser les normes.

4.4 Fertilisation des jeunes vignes

Pour autant que les résultats d'analyses de sol démontrent un niveau de fertilité satisfaisant ou que les fertilisations de fond avant plantation nécessaires aient été appliquées, aucune fertilisation n'est recommandée au cours des deux premières années pour P, K et Mg. La fertilisation annuelle d'entretien s'applique dès la troisième année.

4.5 Fertilisation foliaire

Une alimentation équilibrée de la vigne doit être obtenue en priorité par une gestion judicieuse de l'état de fertilité des sols (analyse et plan de fumure adapté) ainsi que par le choix de matériel végétal (porte-greffe) et de modalités d'entretien du sol adaptés aux conditions pédoclimatiques du site. Dans certaines situations toutefois des compléments d'apport en fertilisation foliaire peuvent être indiqués, en cas de carences avérées (tableau 6) ou induites (antagonismes) susceptibles de perturber la croissance, la mise à fruits ou encore les aspects qualitatifs. L'absorption par la plante d'éléments minéraux apportés par voie foliaire est généralement bonne mais dépend de plusieurs facteurs:

- Surface foliaire suffisamment développée: en général pas avant la mi à la fin mai jusqu'à fin août (l'époque dépend du type de carence considéré) en évitant les apports durant la période de la floraison (risques de perturbation de la fécondation). L'absorption diminue en général pour des feuilles âgées.
- Conditions d'applications favorisant une bonne absorption: apports effectués de préférence en début ou en fin

de journée (hygrométrie de l'air plus élevée) en mouillant bien l'ensemble du feuillage (volumes de bouillies minimaux de 200–400 l/ha, sur végétation totalement développée dans l'idéal 600 à 800 l/ha de bouillie). Les températures trop élevées (ressuyage trop rapide) ou trop basses doivent être évitées (optimum autour de 20°C).

- pH de la bouillie de traitement adapté (optimum autour de 6,5). En général les applications foliaires sont effectuées seules, des mélanges avec d'autres produits ne sont envisageables que sur indication expresse du fabricant.
- Concentrations maximales à respecter selon les indications du fabricant (risques de phytotoxicité, apports en excès notamment de certains micro-éléments, susceptibles de provoquer des symptômes proches de ceux occasionnés par les carences).

Les indications pour le recours à des applications foliaires sont spécifiques aux problématiques concernant les différents éléments concernés.

Azote

L'intérêt des apports foliaires de N concerne essentiellement l'ajustement de la concentration des teneurs en N assimilable dans les moûts par des apports d'urée tardifs (autour de la véraison) en situation de carence prévisible. Cette possibilité est décrite de manière détaillée au chapitre 4.1.

Potassium

Les cas de carence en K sont principalement liés à de nouvelles créations de vigne sur sols pauvres en K ou à des impasses de fertilisation potassique pratiquées sans suivi depuis plusieurs années (notamment sur sols sableux à faibles capacités de rétention). La solution passe prioritairement par des fertilisations de correction au sol parfois élevées et difficiles à mettre rapidement à disposition des racines sur culture en place en raison de la faible mobilité de cet élément dans le sol (chapitre 4.2.1 et tableau 6). Parallèlement aux corrections effectuées au sol et en fonction de la gravité des symptômes de carence, des apports foliaires peuvent parfois être temporairement indiqués. On utilise généralement du sulfate de potassium en applications répétées (jusqu'à 5–6 applications par an lors de cas graves). L'utilisation du nitrate de potassium est également envisageable mais n'est souvent pas indiquée du fait de l'apport concomitant de N. Ces applications ne présentent qu'un effet partiel et limité dans la saison.

Magnésium

Dans les conditions du vignoble suisse, la carence en Mg n'est que rarement liée primordialement à un état de fertilité insuffisant en cet élément dans les sols, mais la plupart du temps à des sols trop riches en K (antagonisme) (tableau 6). Un déséquilibre de l'alimentation en Mg joue d'autre part un rôle central dans les risques de dessèchement de la rafle. L'alimentation en Mg est particulièrement problématique sur jeunes vignes (racines situées dans l'horizon superficiel enrichi en potassium), en conditions de sol ou

de climat humide ou encore lors du choix de porte-greffe défavorisant l'alimentation magnésienne (SO4, 125 AA, 5BB, 5C, 8B). Le rééquilibrage à moyen et long terme de l'état de fertilité des sols en K doit être privilégié. Toutefois, dans des sols à forte capacité d'échange, ce rééquilibrage peut prendre de nombreuses années pendant lesquelles le risque de carence magnésienne induite reste important. Dans les vignes où de forts symptômes de carence magnésienne sont régulièrement observés, des applications foliaires répétées peuvent être justifiées. En général, on utilisera du sulfate de magnésium hydraté (3–4 fois en cours de saison). Pour des volumes de bouillies de 600–800 l/ha, la concentration usuelle est de 2%. En mélange avec d'autres matières actives, il convient de ne pas dépasser la concentration de 1% afin d'éviter des interactions négatives. Diverses préparations commerciales (sels, chélates) sont également envisageables; il convient alors de se référer aux prescriptions d'utilisation du fabricant.

L'application ciblée sur les raisins vise à réduire les risques de dessèchement de la rafle. Cette application est réservée aux parcelles sujettes à la carence magnésienne, aux situations et sur les cépages où cet accident physiologique se manifeste régulièrement. L'application de sulfate de magnésium hydraté (9,8%) utilisé à 18–20 kg/ha, vise à bien mouiller la rafle et s'effectue dans la zone des grappes avec un volume de bouillie de 600–800 l/ha, une première fois au début de la véraison puis 10 jours plus tard.

Bore

La carence en B (tableau 6) se manifeste principalement dans des sols légers, pauvres en matière organiques, irrigués et à pH élevé. En fonction de la mobilité de cet élément les corrections effectuées au sol (chapitre 4.2.2) sont rapidement disponibles pour la plante (irrigation nécessaire en période de sécheresse). Les corrections foliaires ne sont de ce fait indiquées que dans certains cas sévères. Elles sont généralement effectuées au moyen d'acide borique (à la concentration de 0,2% soit 200 g/100 l de bouillie) ou de perborate de soude (à la concentration de 0,2% soit 200 g/100 l de bouillie), dans ces cas deux à trois pulvérisations peuvent être effectuées avant floraison. Un surdosage doit absolument être évité, un excès de bore causant les mêmes symptômes que sa carence.

Fer

La carence en Fe est liée à une mauvaise absorption du Fe par les jeunes racines formées au printemps. En Suisse, la carence en Fe n'est pratiquement jamais liée à un manque de Fe dans les sols. L'expression et la gravité des symptômes est liée à des facteurs aussi divers que la nature du sol (sols très calcaires, pH élevé), le climat (printemps humides et froids, sols engorgés d'eau) ou encore le niveau insuffisant des réserves carbonées de la vigne (rapport feuille/fruit de l'année précédente, climat de l'année précédente) ainsi que le choix du porte-greffe qui influence fortement l'absorption du fer (tableau 6). La lutte contre la chlorose ferrique doit s'attacher prioritairement à régler ce problème en jouant sur ces facteurs: choix du porte-greffe, drainage, entretien du sol, limitation de la récolte. Les corrections par apports au sol ou en application fo-

liaire de sels ou de chélate de Fe ont un effet très aléatoire et souvent passager.

Zinc

Cette carence s'observe extrêmement rarement sur la vigne (tableau 6). En Suisse, cette carence peut survenir essentiellement dans des sols acides, pauvres en Zn, suite à des chaulages ou à des fertilisations phosphatées importantes. Elle peut être traitée par trois applications foliaires à huit jours d'intervalles de sulfate de Zn, d'un chélate ou d'un fongicide contenant du Zn (par ex. mancozèbe). Ces fongicides font partie de la famille des dithiocarbamates et sont l'objet de restrictions d'utilisation en production intégrée (toxicité pour les typhlodromes).

Manganèse

Cette carence s'observe assez rarement en Suisse. Elle peut apparaître ponctuellement sur des sols calcaires ou fortement chaulés et dans des sols riches en matières organiques. Il y a quelques années, cette carence était encore plus anecdotique qu'aujourd'hui en fonction de l'utilisation fréquente de fongicides de la famille des dithiocarbamates (comme le mancozèbe) qui contiennent du Mn et dont l'utilisation a été drastiquement réduite en production intégrée. La correction par apport de Mn au sol est peu efficace. Les applications foliaires de sulfate de manganèse (2-4 traitements encadrant la floraison) sont efficaces mais doivent souvent être répétées pendant quelques années.

5. Bibliographie

- Aerny J., 1996. Composés azotés des moûts et des vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 28 (3), 161-165.
- Collaud G., Ryser J.-P. & Schwarz J.-J., 1990. Capacité d'échange des cations. *Fiches de Sol-Conseil. Revue suisse Agric.* 22 (5), 285-289.
- Lönhertz O., 1988. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme bei *Vitis vinifera* (cv. Riesling). Dissertation, Universität Giessen, 228 p.
- Maigre D., Aerny J. & Murisier F., 1995. Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas: influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 27 (4), 237-251.
- Spring J.-L. & Jelmini G., 2002. Nutrition azotée de la vigne: intérêt de la détermination de l'indice chlorophyllien pour les cépages Chasselas, Pinot noir et Gamay. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 34 (1), 27-29.
- Spring J.-L., 2003. Localisation de la fumure azotée sur l'intercep en vignes enherbées. Résultats d'un essai sur Chasselas dans le bassin lémanique. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 35 (2), 113-119.
- 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., 2015. Fumure azotée en viticulture: influence de la période d'application. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 47 (3), 178-183.

6. Liste des tableaux

Tableau 1. Résistance à la chlorose ferrique en fonction des taux de calcaire total et actif.....	12/4
Tableau 2. Plages de référence pour le diagnostic foliaire en viticulture au stade de début véraison.....	12/4
Tableau 3. Seuils pour l'interprétation de l'indice chlorophyllien du feuillage à la véraison mesuré à l'aide du N-Tester.	12/5
Tableau 4. Seuils de sensibilité du Chasselas à la carence en azote assimilable dans le moût.	12/5
Tableau 5. Prélèvements d'éléments fertilisants par le Riesling selon Löhnertz (1988).	12/6
Tableau 6. Principaux déséquilibres et troubles physiologiques de la vigne.	12/7
Tableau 7. Nutrition azotée, diagnostic de l'année en cours.....	12/11
Tableau 8. Propositions de solutions techniques pour gérer l'alimentation azotée.	12/11
Tableau 9. Quantité de fertilisation de fond kg K/ha (K_2O /ha) en fonction de la nature et de l'état de fertilité du sol.....	12/12
Tableau 10. Normes de fertilisation annuelle pour la vigne en fonction du rendement (kg/ha/an) dans le cas d'un état de fertilité du sol satisfaisant.....	12/13

7. Liste des figures

Figure 1. Intensité de l'absorption du N dans la végétation annuelle de la vigne (sarments, feuilles, raisins).....	12/6
---	------