



Données de base pour la fumure en viticulture

(Révision 2003)

J.-L. SPRING et J.-P. RYSER¹, Station fédérale de recherches en production végétale de Changins, CH-1260 Nyon

J.-J. SCHWARZ, Ecole d'ingénieurs de Changins, CH-1260 Nyon

P. BASLER et L. BERTSCHINGER, Station de recherches en arboriculture, viticulture et horticulure de Wädenswil, CH-8820 Wädenswil

A. HÄSEL², Institut de recherches en production biologique, CH-5070 Frick

@ E-mail: jean-laurent.spring@rac.admin.ch
Tél. (+41) 21 72 11 560.

¹Avec la collaboration de la Commission romande des fumures, sous-commission viticole; président: J.-L. Spring. Membres: S. Cartillier, G. Collaud, B. Duboux, G. Jelmini, A. de Montmollin, M. Pont, J.-P. Ryser, J.-J. Schwarz.

²Avec la collaboration de M. A. Schmid.

1 Buts et principes d'une fumure raisonnée

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 conditions de sol, de climat ainsi que les pratiques culturales interagissent fortement avec les mécanismes de l'alimentation. Avant toute réflexion sur les apports de fertilisants, il faut tendre vers une optimisation de ces conditions de base (drainage, teneur en matière organique, état structural, etc.) et des 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. Si ces conditions ne sont pas réalisées, l'action portera en priorité sur ces aspects.

Pour les éléments minéraux principaux tels que le phosphore et le potassium, la politique adoptée vise à restituer les prélèvements effectifs de la culture (norme de fumure) exportés hors de la parcelle et immobilisés dans les parties pérennes. 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 fumure. Ces mesures permettent d'éviter carences et déséquilibres nutritionnels (antagonismes)

préjudiciables à la culture; en outre, elles limitent au maximum, en liaison avec des techniques culturales adaptées, les atteintes à l'environnement.

Pour l'azote, élément clé de la croissance végétative et dont la disponibilité dépend beaucoup des facteurs influençant la dynamique du pool organique du sol, les décisions dépendent essentiellement du comportement végétatif de la vigne. Elles sont intégrées dans un concept tenant compte de l'ensemble des mesures influençant la disponibilité de cet élément.

1.1 Nouveautés de l'édition 2003

Les dernières directives de fumure pour la vigne ont été publiées en 1993 par la Commission romande des fumures (*Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 25 (1), 57-64). Les normes pour le phosphore, le potassium et le magnésium proposées alors étaient fondées sur les prélèvements de la culture (les sarments étant restitués). Elles se sont révélées bien adaptées et sont, par conséquent, maintenues dans ce nouveau document.

Comme par le passé, la norme de fumure pour ces trois éléments est corrigée en fonction de l'état de fertilité des sols. Les deux méthodes d'analyses, complémentaires – acétate d'ammonium + EDTA (AAE10), donnant des informations sur le niveau de réserve en éléments fertilisants et extrait à l'eau (H₂O10), indiquant la fraction facilement disponible –, sont maintenues. L'utilisation des deux méthodes est toujours

Tableau 1. 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	Eléments en kg/ha/an				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Vieux bois	27	11	21	23	3
Raisins	23	10	50	10	2
Total exporté et immobilisé	50	21	71	33	5
Sarments	5	2	12	10	1
Feuilles	37	7	21	49	4
Prélèvements totaux	92	30	104	92	10

Tableau 2. Normes de fumure annuelle pour la vigne¹.

Eléments	Kg/ha
N	50 ²
P ₂ O ₅	20
K ₂ O	75
Mg	25

¹Les normes ont été établies sur la base des exportations pour un niveau de production de 1,2 kg/m². Cette norme doit être corrigée suivant l'état de fertilité pour P, K et Mg.

²La norme de fumure N est corrigée en fonction de l'observation de la plante (cf. tabl. 17 et 18).

recommandée, lors d'une première analyse. Si les résultats convergent, la seule détermination des réserves (AAE10) peut suffire lors des contrôles subséquents. Par rapport aux directives antérieures, les contrôles périodiques de l'état de fertilité ont été espacés pour des sols équilibrés.

Pour le phosphore, le potassium et le magnésium, la correction complémentaire de la norme, en fonction du volume de terre utile et du taux de matière organique, a été abandonnée. Ce calcul faisait appel à des facteurs parfois mal connus du viticulteur et n'avait généralement que peu d'incidences sur les fumures recommandées.

La fumure de fond potassique peut, nouvellement, être calculée d'après la capacité d'échange des cations. Cette technique d'appréciation permettra de mieux tenir compte des besoins lors de création ou de reconstitution de vignes dans des sols pauvres, pour lesquels les anciennes directives ne donnaient pas satisfaction.

Les modifications les plus importantes de cette nouvelle édition concernent la nutrition azotée. À la place d'une correction en % de la norme suivant des indices de pondération, le nouveau système propose une démarche en deux étapes. 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 informations objectives (diagnostic foliaire, indice chlorophyllien du feuillage, indice de formol des moûts). Dans une deuxième phase et en cas de déséquilibre, on suit un schéma de décision qui tient compte non seulement de la fumure azotée, mais également d'autres aspects susceptibles de jouer un rôle important, par exemple l'entretien du sol.

2 Besoins nutritifs de la vigne

Les besoins en éléments fertilisants de la vigne (norme) sont définis pour assurer une croissance optimale de la culture sur un sol considéré comme normalement pourvu. Il ne s'agit pas de compenser la totalité des éléments prélevés par la plante, mais, pour P, K et Mg, de compenser les exportations par la récolte et le stockage dans les organes pérennes (les feuilles et les sarments étant considérés comme recyclés dans la parcelle). Plusieurs auteurs ont évalué les prélèvements en éléments minéraux de la vigne. Les différences constatées sont surtout liées à l'exportation par les raisins, en raison de différences de niveaux de rendement. Les présentes recommandations de fumure sont fondées sur l'étude très complète de LÖHNERTZ (1988) et adaptées à une production moyenne de 1,2 kg/m² (**tabl. 1**). Pour P et K, la norme ainsi établie (**tabl. 2**) couvre assez précisément les exportations par les récoltes et l'immobilisation dans les parties pérennes. Pour le magnésium, en raison de sa grande mobilité dans le sol, la norme proposée est plus élevée que les exportations.

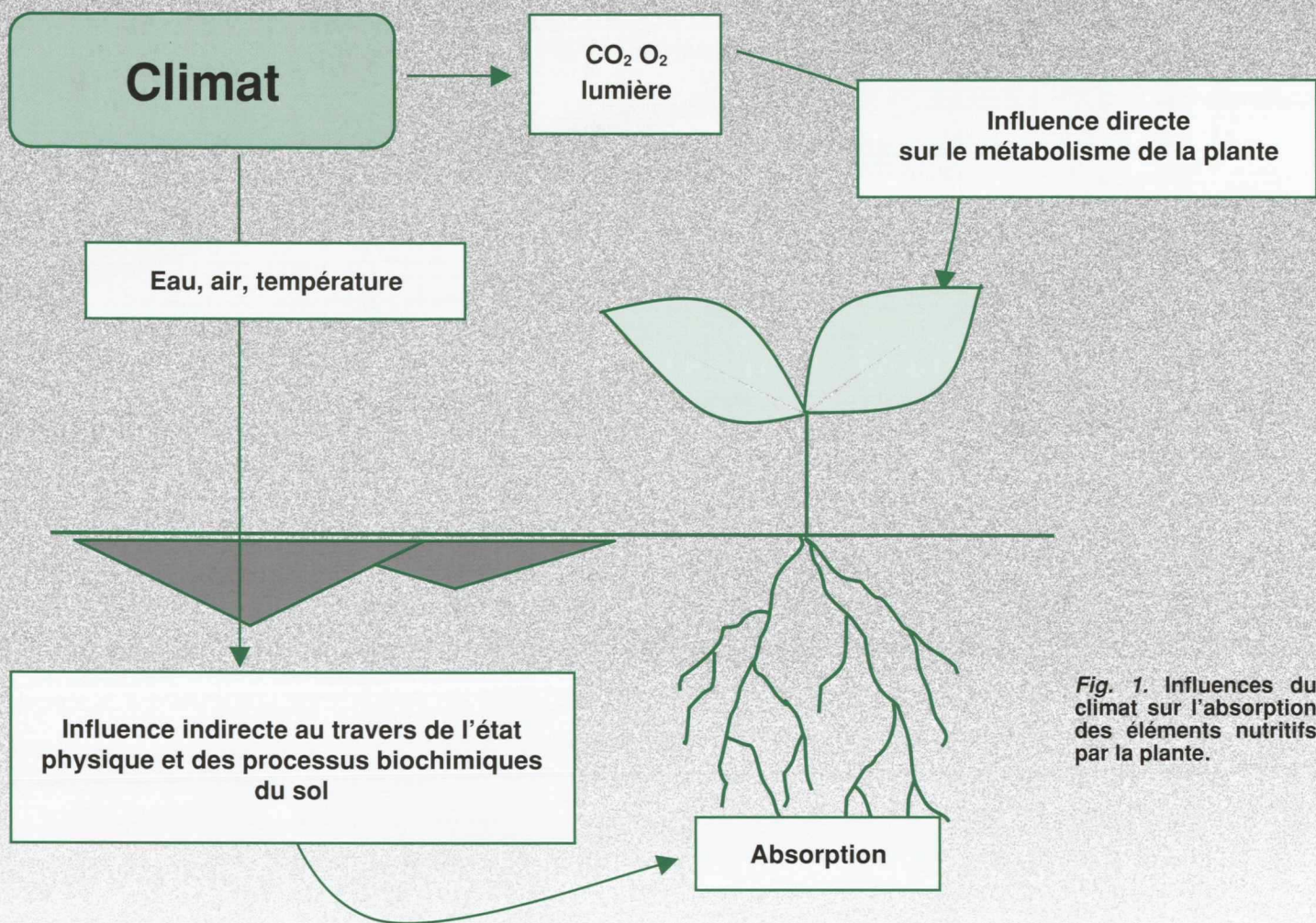


Fig. 1. Influences du climat sur l'absorption des éléments nutritifs par la plante.

3 Le sol et l'équilibre nutritionnel de la plante

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 (fig. 1). 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. Une bonne connaissance du sol et de son comportement sous diverses conditions climatiques devient dès lors indispensable à la compréhension de la nutrition végétale. Quels sont les moyens d'investigation disponibles aujourd'hui? 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'œil;
- 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 la compréhension de la richesse en éléments fertilisants du sol.

3.1 Observation du végétal

Bon nombre de réactions de la plante s'expriment par ses parties aériennes. L'expression végétative (vigueur), 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 certes importante. Le sont tout autant: le moment de leur apparition et leur répartition géographique dans la parcelle ou dans la région. Il faut aussi se remémorer les conditions météorologiques qui ont précédé l'apparition du dysfonctionnement, elles en sont fréquemment à l'origine.

3.2 Analyse du végétal

Différentes méthodes analytiques permettent de préciser ou de confirmer certaines observations faites sur la plante.

3.2.1 L'analyse foliaire et son interprétation

Encore peu utilisée dans la pratique courante, l'analyse foliaire sert à contrôler l'état d'approvisionnement des plantes durant la saison. Elle complète les autres moyens d'investigation et ne peut pas, à elle seule, servir à l'établissement d'un

Tableau 3. Plages de référence pour le diagnostic foliaire en viticulture au stade 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	N			P		
	Très faible	Bon	Très élevé	Très faible	Bon	Très élevé
CHASSELAS	< 1,74	1,93-2,31	> 2,50	< 0,147	0,165-0,203	> 0,221
PINOT NOIR	< 1,93	2,08-2,38	> 2,53	< 0,176	0,195-0,233	> 0,252
GAMAY	< 1,74	1,93-2,31	> 2,50	< 0,178	0,209-0,272	> 0,304
MERLOT	< 1,85	1,98-2,24	> 2,37	< 0,125	0,142-0,176	> 0,193

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, le manganèse, le fer et le zinc, peuvent aussi être analysés.

En viticulture, 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 si ces derniers ne sont pas comparés à un échantillon de référence issu du même cépage, d'un porte-greffe identique, de la même région et du même stade de développement. On prélève 25 feuilles (avec leur pétiole) régulièrement réparties dans la zone à étudier. Indépendamment du mode de conduite, la feuille à prélever doit être située en face de la grappe inférieure de n'importe quel sarment. On veillera à ne pas prélever de feuilles déchiquetées ou nécrosées, même partiellement, et à acheminer rapidement l'échantillon au laboratoire.

L'analyse foliaire rend de réels services pour mettre en évidence des carences latentes et des antagonismes entre éléments. En effet, suivant le régime hydrique et la diversité des horizons du profil, la capacité d'absorption des racines et la disponibilité des divers éléments nutritifs varient fortement. L'analyse foliaire complète 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, la RAC 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 3**. Pour d'autres cépages, il y a lieu de prendre contact avec le

laboratoire, afin de savoir s'il dispose de valeurs de référence. Si cela n'est pas le cas, il faudra prélever un deuxième échantillon sur une vigne saine de mêmes cépage et porte-greffe et si possible de la même région.

Par rapport à la valeur de référence, les résultats se situant à l'intérieur d'une plage correspondant à plus ou moins l'écart-type sont considérés comme bons. En dehors de cette plage, à plus ou moins 1 ou 2 écarts-types, les résultats sont considérés respectivement comme faibles ou très faibles, élevés ou très élevés.

3.2.2 L'indice chlorophyllien du feuillage (méthode N-Tester)

La mesure de l'indice chlorophyllien du feuillage s'effectue en plein champ à l'aide d'un appareil portable. 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 azote, pour autant que celles-ci ne souffrent pas de carence avérée ou latente en d'autres éléments, notamment en fer (chlorose ferrique) ou en magnésium, 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 fois 30 mesures par zone considérée comme homogène). Pour le Chasselas, le Pinot noir et

K			Ca			Mg		
Très faible	Bon	Très élevé	Très faible	Bon	Très élevé	Très faible	Bon	Très élevé
< 1,38	1,56-1,92	> 2,10	< 2,07	2,49-3,33	> 3,75	< 0,154	0,192-0,270	> 0,308
< 1,45	1,59-1,87	> 2,01	< 2,24	2,66-3,51	> 3,94	0,163	0,205-0,287	> 0,329
< 1,05	1,24-1,62	> 1,82	< 3,07	3,42-4,14	> 4,49	< 0,145	0,209-0,337	> 0,401
< 1,95	2,10-2,40	> 2,55	< 1,47	1,64-2,00	> 2,17	< 0,178	0,200-0,244	> 0,266

Tableau 4. 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	Indices 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

le Gamay, des seuils d'interprétation pour des mesures effectuées à cette époque sont proposés (SPRING et JELMINI, 2002) (tabl. 4). Des mesures plus précoces dans la saison sont déconseillées.

3.3 Le profil cultural

Dans le sol, la disponibilité et l'absorption des éléments fertilisants par la plante dépendent:

- du régime hydrique;
- de la profondeur d'enracinement;
- du volume occupé par les cailloux;
- de l'état structural;
- de l'activité biologique.

Ces paramètres aident à comprendre le fonctionnement du sol et ses relations avec la plante. Les observations faites dans une coupe de terrain rendent également service lorsqu'il s'agit de décider:

- de l'opportunité d'un drainage;
- de l'opportunité de l'irrigation;
- de la profondeur de travail du sol;
- du mode d'entretien du sol;
- du choix du porte-greffe;
- du mode d'application des engrais et des amendements.

De plus, les analyses physico-chimiques des horizons rencontrés constituent une précieuse source de renseignements sur la stabilité structurale, la dynamique des éléments fertilisants en profondeur et leurs transferts verticaux et latéraux.

Le profil cultural est particulièrement indiqué lors d'accidents de végétation non identifiables par un autre moyen et lors de mouvements de terre importants.

3.4 L'analyse de terre

L'analyse de terre est un outil incontournable du plan de fertilisation et de la protection de l'environnement. C'est le moyen d'investigation le plus couramment utilisé par le viticulteur. Constituée de deux séries de déterminations distinctes (éléments de la carte de visite du sol et niveaux de fertilité minérale), elle permet de caractériser le sol et de connaître sa richesse en éléments nutritifs.

Dans les cultures pérennes comme la vigne, le volume de terre exploré par les racines est important, d'où la nécessité de pratiquer une analyse du sol et du sous-sol. Le prélèvement doit être lié à un secteur reconnu comme homogène quant à la nature du sol et au comportement de la vigne. Pour que les échantillons soient représentatifs de la zone à étudier, il faut prélever la terre à une douzaine d'endroits régulièrement répartis, quelle que soit la superficie de la zone. Un suivi sérieux de l'état de fertilité du sol implique que les échantillons soient prélevés aux mêmes endroits lors des contrôles périodiques. On évitera ainsi de confondre une hétérogénéité du sol avec une évolution de sa fertilité. Dans les cultures où tous les interlignes sont enherbés, à l'exception du cavaillon, il est recommandé d'effectuer les piqûres à la limite de l'enherbement et du sol nu. Lorsqu'un interligne sur deux seulement est enherbé, la moitié des piqûres proviendra

Tableau 5. Programmes d'analyses recommandés¹.

	Profondeur	Analyses de base: «carte de visite du sol»						Etat de fertilité		
		Matière organique	Granulométrie	CEC	pH	Calcaire total	Calcaire actif	Eléments disponibles à long terme, extraits par l'acétate d'ammonium + EDTA, P, K et Mg	Eléments facilement disponibles, extraits à l'eau, P, K et Mg	Extrait à l'eau chaude, B
Analyse avant création ou reconstitution	Sol (2-25 cm)	★			★	★		★	★	★
	Sous-sol (25-50 cm)	★	★	(★)	★	★	(★)	★	★	(★)
Contrôle périodique de l'état de fertilité	Sol (2-25 cm)	(★)			★			★	(★)	★

¹La description détaillée des méthodes d'analyses peut être consultée dans le document des «Méthodes de références des stations fédérales de recherches agronomiques suisses (FAL, FAW, RAC)», volume 1 «Analyses de terres pour le conseil de fumure», 1996.

Tableau 6. Relation entre nature et texture du sol.

Nature	Taux d'argile (texture)	Seuils pour l'interprétation des analyses de sol
Léger	< 10%	< 10%
Léger à moyen	10-15%	10-30%
Moyen	15-25%	
Moyen à lourd	25-30%	
Lourd	> 30%	> 30

des interlignes enherbés, comme décrit précédemment, et l'autre moitié proviendra des interlignes non enherbés. L'échantillon de surface représente la profondeur de 2 à 25 cm (la matière organique fraîche de surface ayant été éliminée), celui du sous-sol, la tranche de 25 à 50 cm.

3.4.1 Analyse initiale (tabl. 5)

Elle doit être envisagée avant création, reconstitution d'une parcelle ou encore comme première analyse dans une culture en place. Le prélèvement de terre doit intervenir avant le travail du sol, sauf lors de mouvements de terre importants. Le programme préconisé consiste en une analyse séparée des fractions sol et sous-sol par les deux méthodes d'extraction.

La mesure de la capacité d'échange des cations (CEC) est recommandée principalement en sol acide (pH < 6,5), pour décider de l'opportunité d'un chaulage. Elle l'est également pour calculer la fumure de fond potassique dans les sols pauvres en K.

La mesure du calcaire actif permet de préciser le choix du porte-greffe; elle est conseillée uniquement lorsque la teneur en calcaire total dépasse 10%.

3.4.2 Eléments de la carte de visite du sol (tabl. 5)

Les analyses décrivant les propriétés du sol (carte de visite) doivent être effectuées au moins lors de la création de la vigne. Elles seront répétées si de gros mouvements de terre ont eu lieu ou lorsque des problèmes généraux de fertilité surviennent.

3.4.2.1 Granulométrie (tabl. 6)

La granulométrie (texture) sert à apprécier le type de sol. Elle influence:

- la grandeur du réservoir alimentaire;
- la dynamique des éléments fertilisants;
- la tendance du sol au tassement et à la battance;
- l'état et la stabilité de la structure;
- la dynamique de l'eau.

La granulométrie conditionne l'interprétation d'une grande partie des autres données analytiques. C'est l'analyse essentielle de la caractérisation d'un sol et de son fonctionnement. La teneur en argile, silt et sable n'évolue pas à l'échelle d'une vie humaine. Elle n'est donc mesurée qu'une seule fois pour une parcelle ou un secteur homogène. La granulométrie peut être remplacée par un test tactile (nature), dont la précision est cependant moindre. La relation entre texture et nature est présentée au **tableau 6**.

3.4.2.2 Matière organique (MO) (tabl. 7)

De par les nombreux rôles que la MO joue dans le sol, la connaissance de sa teneur est indispensable. Il n'y a pratiquement aucune réaction du sol qui ne soit, de près ou de loin, influencée par sa présence. Le résultat de l'analyse révèle le taux de MO totale du sol. Il est exprimé en % du poids. Si l'échantillon de terre a été correctement prélevé, c'est-à-dire qu'il ne contient pas de MO fraîche, le résultat représente, en fait, le taux d'humus. En viticulture, l'appréciation de la richesse en MO est fondée sur l'échantillon de surface, elle est modulée en fonction du type de sol.

Tableau 7. Barème d'interprétation du taux de matière organique¹ selon le taux d'argile en viticulture.

Taux d'argile du sol	Pauvre	Médiocre	Normal	Elevé	Très élevé
< 10 (léger)	< 0,8	0,8 à 1,1	1,2 à 1,5	1,6 à 2,0	> 2,0
10-30 (moyen)	< 1,2	1,2 à 1,7	1,8 à 2,3	2,4 à 3,0	> 3,0
> 30 (lourd)	< 2,0	2,0 à 2,4	2,5 à 3,0	3,1 à 3,5	> 3,5

¹Le taux de matière organique est calculé à partir du taux de carbone (C). MO = C × 1,725.

Tableau 8. Barème d'interprétation du pH (H₂O).

pH (H ₂ O)	Appréciation agronomique
< 5,3	Fortement acide
5,3-5,8	Acide
5,9-6,7	Faiblement acide
6,8-7,2	Neutre
7,3-7,6	Faiblement alcalin
> 7,6	Alcalin

Tableau 9. Barème d'interprétation de la teneur en calcaire total.

Teneur en calcaire total (% CaCO ₃)	Appréciation
0	Non calcaire
1 à 2	Traces de calcaire
3 à 10	Peu calcaire
11 à 25	Moyennement calcaire
26 à 40	Calcaire
> 40	Très calcaire

Le taux d'humus n'évolue que très lentement dans le sol, il est donc inutile de le déterminer trop fréquemment. L'interprétation se fait selon le tableau 7. Le barème tient compte des particularités des sols viticoles.

Les valeurs du tableau 7 sont valables pour un pH (H₂O) compris entre 5,8 et 8,2. En milieu plus acide ou plus alcalin, de moindre activité biologique, la matière organique se décompose mal et la minéralisation de l'humus est ralentie. Dans ces milieux, les valeurs sont donc souvent plus élevées.

3.4.2.3 pH (tabl. 8)

Le pH (H₂O) est une mesure révélant l'alcalinité ou l'acidité d'un sol. Il se mesure couramment dans l'eau et indique, dans ce cas, la quantité réelle d'ions H⁺ libres dans la solution du sol. Dans le sol, le pH influence l'activité biologique et l'assimilabilité des éléments minéraux.

Le pH ne varie pas beaucoup à court terme. Sa mesure à intervalles réguliers se justifie surtout dans les sols neutres et acides. Dans le cadre du plan de fumure, la connaissance du pH sert au choix de la forme des éléments nutritifs à apporter et à celui des amendements organiques et calcaires.

3.4.2.4 Calcaire total (tabl. 9)

La connaissance de la teneur en calcaire total d'un sol (CaCO₃) permet d'apprécier ses réserves en calcium. Le calcium, outre le fait qu'il est un élément nutritif à part entière, joue de nombreux rôles d'ordre physique, chimique et biologique dans le sol; parmi eux:

- la floculation des colloïdes du sol (argile et humus);
- la diminution de l'acidité qui favorise l'activité biologique;
- la rétention des anions, en particulier les phosphates.

Les sols possèdent des teneurs en calcium fort variables. Un sol peu calcaire reste néanmoins capable de subvenir aux besoins de cultures même exigeantes en calcium. Ce n'est que lorsque la teneur est très faible ou que le sol est non calcaire qu'on envisage une fertilisation calcique ou un chaulage. Dans ces circonstances, l'analyse de la teneur en calcaire ne suffira pas à elle seule au calcul de la quantité de produit à apporter. Elle devra être complétée par celles de la capacité d'échange des cations et du taux de saturation du complexe argilo-humique. L'interprétation de la teneur en calcaire se fait selon le **tableau 9**. En viticulture, la connaissance du taux de calcaire total facilite également le choix du porte-greffe.

3.4.2.5 Calcaire actif

Il s'agit toujours du même CaCO₃, mais, cette fois, il est question de particules fines, de la taille de l'argile ou du limon. 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. Extrait à l'oxalate d'ammonium, il est improprement exprimé en Ca²⁺ parce que le produit résultant de l'échange est l'oxalate de calcium. Certaines échelles internationales concernant le choix du porte-greffe sont fondées sur le calcaire actif. La détermination du calcaire actif n'est utile que si la teneur en calcaire total excède 10%.

Tableau 10. Barème d'appréciation de la CEC et du réservoir alimentaire.

CEC en méq par 100 g de sol	Appréciation	Réservoir alimentaire
< 12	Faible	Petit
12 à 20	Moyenne	Moyen
> 20	Forte	Grand

Tableau 11. Barème d'interprétation du taux de saturation en calcium et de l'état calcique du sol.

Saturation en %	Appréciation	Appréciation de l'état calcique
< 40	Désaturé	Très pauvre
40 à 49	Légèrement saturé	Pauvre
50 à 59	Moyennement saturé	Satisfaisant
60 à 80	Quasi saturé	Riche
> 80	Saturé	Très riche

¹Le barème d'interprétation est actuellement en phase de révision. Comme la nouvelle interprétation n'est pas encore disponible, nous conseillons de continuer à utiliser ce barème actuellement en vigueur.

²Pour les sols ayant des teneurs en MO supérieures à 5%, situation peu fréquente en viticulture, le résultat d'analyse doit être corrigé, car la densité apparente du sol est plus faible:

– pour les sols possédant un taux de MO situé entre 5 et 8%: multiplier le résultat d'analyse par 0,95;

– pour les sols possédant un taux de MO supérieur à 8%: multiplier le résultat d'analyse par 0,90.

Les valeurs se situant entre celles d'une colonne et celles de la suivante s'interprètent avec le facteur de correction le plus élevé. Exemple pour un sol moyen: 37 mg P/kg = facteur 1,3.

3.4.2.6 Capacité d'échange des cations (CEC) et taux de saturation (tabl. 10 et 11)

Les colloïdes argile et humus possèdent des charges électriques négatives qui leur permettent de fixer en surface (d'adsorber) les cations libres de la solution du sol. Ces cations ne demeurent cependant pas immobilisés. Le complexe argilo-humique (CAH), les restitue lorsque leur concentration diminue dans la solution du sol, les mettant ainsi à la disposition des racines. Les cations restent échangeables. À l'analyse, lors de l'extraction, on remplace les cations fixés par du baryum. Les cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ et H^+ , fixés sur le CAH, se retrouvent donc, après filtration, dans la solution d'extraction dans laquelle ils peuvent être dosés. La quantité d'ions échangée révèle alors le pouvoir adsorbant du sol; elle est exprimée en milliéquivalents pour 100 g de terre.

La somme des cations cités, à l'exclusion des ions H^+ , représente le taux de saturation du complexe. Plus le taux de saturation est faible, plus la quantité d'ions H^+ fixés est grande. Pour la détermination des besoins en chaux d'un sol, il faudra non seulement tenir compte de la CEC, mais également du taux de saturation du complexe. L'interprétation de la CEC et du taux de saturation figure aux tableaux 10 et 11. Elle est tirée d'un travail de COLLAUD *et al.* (1990) et des *Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages* (RYSER *et al.*, 2001).

La détermination de la CEC est également utile pour décider de la fumure de fond potassique en sols pauvres en K.

Tableau 12. Barème d'interprétation des résultats d'analyses de sol pour P, K et Mg selon la méthode par extraction à l'acétate d'ammonium + EDTA¹ (rapport 1:10) (AAE 10) pour les sols minéraux (< 5% MO²); valeurs exprimées en mg par kg de terre sèche.

Elément	Facteurs de correction de la norme de fumure						
	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
	Appréciation de la richesse du sol						
	Pauvre A	Médiocre B	Satisfaisant C				
Elément	Sols légers: moins de 10% d'argile						
P	< 40	40	60	80	85	90	100
K	< 30	30	45	60	70	80	100
Mg	< 50	50	75	100	120	140	160
Elément	Sols moyens: de 10 à 29,9% d'argile						
P	< 20	20	30	40	45	50	60
K	< 60	60	90	120	130	140	160
Mg	< 75	75	110	150	175	200	220
Elément	Sols lourds: 30% et plus d'argile						
P	< 10	10	15	20	23	25	30
K	< 90	90	135	180	200	220	260
Mg	< 100	100	150	200	230	260	300

3.4.3 Contrôle périodique de l'état de fertilité (tabl. 5)

L'appréciation de l'état de fertilité se fait par le biais de deux méthodes d'extraction différentes:

- extraction à l'acétate d'ammonium + EDTA (méthode AAE10) pour les éléments disponibles à long terme (réserves);
- extraction à l'eau (méthode H₂O10) pour la part des éléments facilement disponibles.

Les deux méthodes sont complémentaires. Un programme minimal doit nécessairement comprendre l'analyse par la méthode AAE10, dont les résultats sont déterminants pour l'établissement du plan de fumure. La teneur en éléments facilement disponibles, mesurée par extraction à l'eau, est recommandée dans de nombreux cas particuliers. Lorsque l'état de fertilité des sols est satisfaisant, le contrôle périodique n'intervient que tous les dix ans. En cas de déséquilibres importants (sols très riches ou très pauvres), le délai doit être ramené à 5-6 ans. Lors du contrôle périodique, la mesure de l'état de fertilité du sous-sol n'est pas nécessaire, pour autant qu'on dispose d'une analyse antérieure pouvant être utilisée pour l'interprétation. Lorsque l'interprétation de la première analyse indique une bonne corrélation entre les deux méthodes d'extraction (pas plus d'une classe de fertilité de différence), on peut renoncer à l'extrait à l'eau lors du contrôle périodique suivant.

La mesure de la teneur en bore dans le sous-sol est recommandée lors de mouvements de terre importants.

Tableau 13. Barème d'interprétation des résultats d'analyse de sol pour P, K et Mg selon la méthode par extraction à l'eau (rapport 1:10) (H₂O10) pour les sols minéraux (< de 5% de MO¹); valeurs exprimées en mg par kg de terre sèche.

0,8	0,0	0,0
	Riche D	Très riche E
110	120	> = 240
110	120	> = 240
180	200	> = 400
70	80	< = 160
180	200	> = 400
50	300	> = 600
35	40	> = 80
280	300	> = 600
350	400	> = 800

	Facteurs de correction de la norme de fumure									
	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,0	0,0
	Appréciation de la richesse du sol									
	Pauvre A	Médiocre B	Satisfaisant C					Riche D	Très riche E	
Elément	Sols légers: moins de 10% d'argile									
P	< 4	4	6	8	9	10	11	12	13,5	> = 24
K	< 10	10	15	20	25	30	35	40	45	> = 80
Mg	< 4	4	6	8	9	11	13	15	16	> = 30
Elément	Sols moyens: de 10 à 29,9% d'argile									
P	< 2	2	3	4	5	6	7	8	9	> = 16
K	< 10	10	15	20	25	30	35	40	45	> = 80
Mg	< 5	5	7	10	14	18	22	25	28	> = 50
Elément	Sols lourds: 30% et plus d'argile									
P	< 1	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	> = 8
K	< 5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	> = 40
Mg	< 8	8	11,5	15	18	22	26	30	33	> = 60

¹Pour les sols ayant des teneurs en MO supérieures à 5%, situation peu fréquente en viticulture, le résultat d'analyse doit être corrigé, car la densité apparente du sol est plus faible:

- pour les sols possédant un taux de MO situé entre 5 et 8%: multiplier le résultat d'analyse par 0,95;
- pour les sols possédant un taux de MO supérieur à 8%: multiplier le résultat d'analyse par 0,90.

Les valeurs se situant entre celles d'une colonne et celles de la suivante s'interprètent avec le facteur de correction le plus élevé. Exemple pour un sol moyen: 3,7 mg P/kg = facteur 1,3.

3.4.4 Cas particuliers et méthode d'extraction spécifique

Extrait par la méthode AAE10, le phosphore de sols possédant un pH inférieur à 5,0 ou supérieur à 7,6 est difficile à interpréter. Dans ces cas, il est préférable de baser l'appréciation de la richesse du sol et le plan de fumure sur l'extrait à l'eau.

Pour le magnésium, la méthode AAE10 est bien adaptée aux sols acides. On obtient une bonne relation avec le magnésium mesuré dans la plante. En sols alcalins de pH supérieur à 7,5, l'agressivité de cet agent d'extraction produit des résultats généralement trop élevés, liés à la dissociation des carbonates. Dans ces cas, et particulièrement si la vigne montre des symptômes de carence en magnésium, il est préférable d'utiliser les résultats de l'extrait à l'eau pour apprécier la richesse du sol de manière objective.

3.4.5 Etat de fertilité pour le phosphore, le potassium et le magnésium

Les barèmes d'interprétation des résultats d'analyses de sol en P, K et Mg sont établis en fonction du type de sol. L'appréciation de l'état de fertilité (tabl. 12 et 13) porte sur 5 classes.

3.4.5.1 Interprétation des résultats

Chaque résultat est interprété individuellement selon le barème correspondant (tabl. 12 et 13) et on en déduit directement le facteur de correction de la norme. Ce schéma est utilisé

pour les deux méthodes d'extraction. Ces tableaux sont valables pour des sols minéraux contenant moins de 5% de MO. Une correction est nécessaire pour les sols enrichis en MO. Elle est basée sur le fait qu'un sol de ce type possède une densité apparente faible. La correction tient compte de cette différence et figure au bas des tableaux.

3.4.5.2 Relation sol/sous-sol

L'enracinement plus profond des cultures pérennes nécessite qu'on s'intéresse aussi à la richesse du sous-sol. Si on dispose de résultats d'analyses des deux couches, il y a lieu de tenir compte des deux résultats en faisant la moyenne des facteurs de correction obtenus. Si l'analyse du sous-sol n'est pas répétée lors d'un contrôle périodique, on calculera la moyenne en réutilisant les valeurs de l'analyse antérieure.

Exemple de calcul pour le potassium d'un sol possédant 14% d'argile.

1. Calcul des moyennes sol/sous-sol (K en mg/kg de terre sèche)

	K réserve (AAE10)	K disponible (H ₂ O10)
Résultat sol	218	23
Résultat sous-sol	91	6,5
Facteur de correction sol	0	1,2
Facteur de correction sous-sol	1,3	1,5
Moyennes	0,65	1,35

Tableau 14. Appréciation de la teneur en bore du sol.

ppm B	Appréciation
< 0,6	Pauvre
0,6-1,5	Satisfaisant
1,6-2,0	Riche
> 2,0	Excès (toxicité)

3.4.5.3 Relation entre les deux extraits

Le facteur de correction (résultat de la moyenne sol/sous-sol) de la réserve (AAE10) est pondéré deux fois et celui de la fraction facilement disponible (H₂O10), une fois.

La formule de calcul est la suivante:

$$\text{Facteur combiné} = \frac{2 \text{ facteurs réserve} + 1 \text{ facteur disponible}}{3}$$

2. Calcul du facteur combiné (correction AAE10/H₂O10) (selon exemple du paragraphe 3.4.5.2).

$$\frac{(2 \times 0,65) + (1 \times 1,35)}{3} = 0,88$$

La fumure potassique sera de 75 (norme) × 0,88 = 66 kg K₂O/ha.

3.4.6 Etat de fertilité en bore (tabl. 14)

L'analyse permet d'apprécier la richesse en bore du sol et de prévoir les risques de carence ou de toxicité. Les sols les plus sujets à la carence sont les sols irrigués, sableux ou acides en raison d'une lixiviation importante et les sols calcaires en raison d'un blocage. La plupart des engrais complets viticoles contiennent du bore; leur suppression augmente les risques d'apparition de la carence. Une analyse périodique se justifie

donc pleinement. Le contrôle du bore est indispensable lors de la création d'une vigne; des carences sont fréquentes après des cultures extensives comme la prairie permanente.

4 Fumure

4.1 Fumure de fond lors de la mise en place de la culture

La plupart des sols viticoles étant bien pourvus en éléments minéraux, la fumure de fond constitue une mesure exceptionnelle. Seuls les sols qualifiés de pauvres par les méthodes d'analyses classiques (AAE10 et H₂O 10) sont concernés par cette mesure. Dans ces cas, les fumures 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 fumures de rattrapage appliquées en surface après plantation. La démarche diffère selon l'élément considéré.

P

Les sols pauvres en phosphore sont rares en viticulture, mais dans certains cas, un apport de fond de 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).

K

Pour le potassium, l'expérience montre qu'il est judicieux d'adapter la dose à la capacité d'adsorption du sol. Cette valeur est révélée par l'analyse de la CEC. En résumé, le principe consiste à combler le manque par rapport à un taux de référence. Pour des sols normalement pourvus, celui-ci se situe entre 2 et 4%. Cette méthode a le mérite d'adapter la fumure à la capacité de stockage du sol.

La formule de calcul est la suivante:

$$X = \text{CEC} \cdot (t - y) \cdot p \cdot d \cdot a$$

- X = dose à appliquer en kg/ha
CEC = capacité d'échange cationique du sol en méq pour 100 g
t = taux de référence du cation en % dans la CEC; pour K: t = 3
y = proportion de l'élément mesuré dans la CEC en %
p = profondeur de fertilisation en m, en général 0,5
d = densité apparente du sol, généralement 1,3
a = poids de l'équivalent, pour K₂O:
a = [(39 × 2) + 16] / 2 = 47

Exemple de calcul:

Pour un sol possédant une CEC de 12,9 avec 0,5% de K⁺, on obtient:

$$X = 12,9 \cdot (3 - 0,5) \cdot 0,5 \cdot 1,3 \cdot 47 = 985 \text{ kg de K}_2\text{O/ha.}$$

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 effective selon la formule ci-dessus. Pour éviter des accidents à la végétation, il faudra utiliser du sulfate de potassium.

Mg

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

N

Aucune fumure azotée n'est appliquée en fumure de fond.

B

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 15. Quantités de CaO à apporter en viticulture en dt/ha et type de produit conseillé.

Taux de saturation en %	Capacité d'échange des cations en méq/100 g de sol		
	< 12	12-20	> 20
> 60	0 ¹	0 ¹	0 ¹
50-60	15	20	30
40-49	20	30	35
< 40	30	35	40
Type de produit conseillé	Dolomie grossière peu soluble titrant 30% de CaO et 21% de MgO	Dolomie fine (même titrage) ou calcaire grossier titrant 45% de CaO	Calcaire fin et tendre: 45% CaO ou chaux éteinte titrant 50-70% CaO

¹Dans ces conditions, un amendement n'est pas nécessaire, mais une fumure d'entretien est conseillée.

Tableau 16. Appréciation grossière de la dose de chaux à appliquer selon le pH et le taux d'argile du sol.

pH (H ₂ O) du sol	Dose de CaO à apporter en dt/ha		
	Moins de 10% d'argile	De 10 à 30% d'argile	Plus de 30% d'argile
< 5,0	20	30	35
5,0 à 5,5	15	25	30
5,6 à 6,2	10	20	25
> 6,2	0	0	0

MO

L'apport de matière organique peu décomposée juste avant le travail du sol peut provoquer l'asphyxie des racines par dégagement de gaz toxiques, 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.

4.2 Amendement calcaire (chaulage) (tabl. 15 et 16)

La disparition du calcium dans le sol est un processus naturel et permanent. Dans les sols contenant beaucoup de calcaire, le phénomène ne se remarque guère à échelle de vie humaine, mais dans les sols décarbonatés voire décalcifiés, il doit être pris au sérieux. Lorsque le pH d'un sol est inférieur à 5,9, un chaulage est conseillé. Dans les sols à pH compris entre 5,9 et 6,5, un chaulage peut être nécessaire, mais une fumure calcique d'entretien suffit le plus souvent. Dans les sols à pH compris entre 6,5 et 7,0, on se contentera de donner la préférence aux engrais qui contiennent une bonne proportion de calcium. Par ailleurs, il n'est pas indispensable d'atteindre un pH de 7,0. De nombreux sols possédant un pH inférieur restent de bons sols viticoles.

Lorsqu'un chaulage est nécessaire, on détermine en plus du pH la capacité d'échange des cations (CEC) du complexe argilo-humique ainsi que son taux de saturation en calcium. Ces deux données permettent de calculer la quantité précise

de calcium (traduite en CaO) à apporter (**tabl. 15**). En plus de ces deux critères, d'autres facteurs doivent être pris en considération:

La granulométrie du sol

Dans les sols légers, filtrants, on préférera les produits crus, calcaire et dolomie, grossièrement moulus. Les produits cuits – chaux vive et chaux éteinte (prendre les précautions qui s'imposent, car ces produits sont caustiques) – ou les produits crus finement moulus sont à réserver aux sols plus argileux.

La pluviométrie

La part des précipitations qui traverse le sol est la première responsable du lessivage du calcium. Dans les zones pluvieuses (> 1000 mm/an), on donnera la préférence aux produits crus grossièrement moulus, car leur surface d'attaque totale aux eaux d'infiltration est beaucoup moins grande que celle des produits finement moulus.

La matière organique

Là où le taux de matière organique est élevé, on peut utiliser les produits cuits; mais dans les sols pauvres en humus, mieux vaut les éviter, car ils favorisent sa minéralisation.

En cas de reconstitution

Il faut profiter d'un travail du sol en profondeur pour reconstituer ses réserves en calcium. Les doses seront donc automatiquement importantes. On donnera ici également la préférence

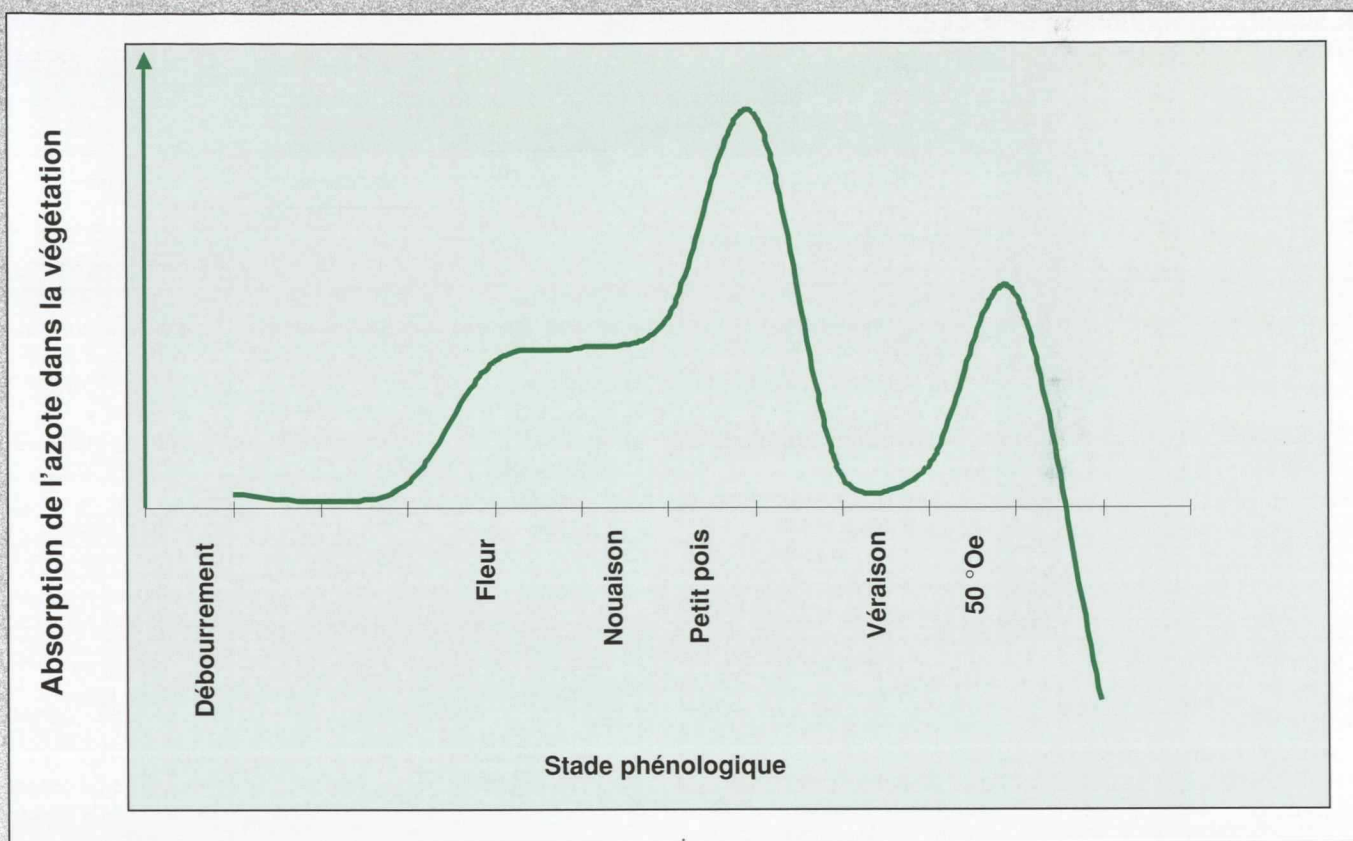


Fig. 2. Intensité de l'absorption de l'azote par la végétation annuelle de la vigne. Selon LÖHNERTZ (1988).

aux produits crus grossièrement moulus parce qu'ils libèrent lentement leur calcium et qu'ils provoquent un moins grand stress au sol. On veillera à répartir l'amendement dans toute la tranche de sol travaillée, au moins 30 à 40 cm.

Dans une culture en place

Lorsque le problème de l'amendement calcaire a été réglé à la dernière reconstitution, il n'est pas nécessaire d'en effectuer un dans une vigne en place. On risque de provoquer des dysfonctionnements du sol dans ses premiers centimètres, en particulier des blocages du bore. Si toutefois un apport important s'impose, on le limitera à 20 dt de CaO/ha au maximum en choisissant un produit cru, grossièrement moulu, et en fractionnant l'apport sur 2, 3 ou 4 années. Dans une vigne en place, l'amendement doit être enfoui.

Pratique du chaulage selon le pH

Il est aussi possible de pratiquer un chaulage selon le pH (H₂O) du sol. Cette façon de faire est plus simple, mais moins précise. Le **tableau 16** donne les doses à appliquer. Le choix du produit sera fait selon les explications précédentes.

4.3 Fumure annuelle d'entretien

4.3.1 Phosphore, potassium et magnésium

La norme de fumure annuelle d'entretien correspond à la quantité de chaque élément qu'il faut apporter dans un sol dont l'état de fertilité est satisfaisant. Cette norme (tabl. 2) est établie en fonction des exportations de la vigne, en considérant que les sarments sont restitués. Elle peut être corrigée (entre -100 et +50%) suivant l'état de fertilité du sol (tabl. 12 et 13). L'objectif est de tendre vers un niveau de fertilité satisfaisant à long terme (voir le chapitre 3.4.5).

Il est possible d'apporter le phosphore en une seule fois pour 4 à 6 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'enfouir 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 magnésium par antagonisme K/Mg, même lorsque le sol est riche en Mg.

4.3.2 Azote

L'azote est l'un des éléments qui influencent le plus la vigueur des ceps et la coloration du feuillage. Un excès entraîne en particulier une vigueur excessive, une sensibilité accrue à la pourriture et au dessèchement de la rafle ainsi qu'une pé-

Tableau 17. 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	Forte	Moyenne	Faible
	Coloration du feuillage	Couleur de la feuille ¹ (à la véraison) Indice chlorophyllien ² du feuillage (N-Tester) pour Chasselas, Pinot noir et Gamay à la véraison	Vert foncé Chasselas indice N-Tester > 540 Pinot noir indice N-Tester > 580 Gamay indice N-tester > 530	Vert «normal» Chasselas indice N-Tester 460-540 Pinot noir indice N-Tester 500-580 Gamay indice N-Tester 430-530	Vert clair Chasselas indice N-Tester < 460 Pinot noir indice N-Tester < 500 Gamay indice N-Tester < 430
	Sensibilités	à la pourriture, à la coulure (par excès de vigueur), au dessèchement de la rafle	Accrue	Faible	Très faible
INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES DONNÉES ANALYTIQUES	Teneur en azote foliaire à la véraison (diagnostic foliaire)		Elevée Très élevée	Normale	Faible Très faible
	Indice de formol des moûts à la vendange ³ (seulement pour le Chasselas)		Seuils pas définis	≥14	< 10 forte carence > 10 < 14 carence modérée

Le diagnostic est établi en fonction de l'appréciation des trois critères de base dont l'information peut être complétée si nécessaire par des données analytiques.

¹Voir symptômes de carence et d'excès d'azote au paragraphe «Déséquilibres nutritionnels et troubles physiologiques».

²La mesure de l'indice chlorophyllien du feuillage fournit une valeur objective de l'intensité de la coloration verte du feuillage. Cette méthode est décrite au chapitre 3.2.2.

³L'indice de formol permet une évaluation de la teneur en azote des moûts assimilable par les levures (AERNY, 1996; LORENZINI, 1996).

nalisation qualitative des vins. Un manque d'azote réduit la vigueur, la production, la sensibilité à la pourriture et peut également entraîner une dépréciation de la qualité des vins (MAIGRE *et al.*, 1995).

Les besoins en azote de la vigne sont relativement modestes mais concentrés sur une période assez courte, comme le montre la courbe des prélèvements de la végétation annuelle (fig. 2) établie par LÖHNERTZ (1988) sur le cépage Riesling. Du débourrement au stade 5-6 feuilles étalées, l'azote provient essentiellement des réserves (racines, vieux bois). Le pic principal d'absorption de l'azote couvre une période d'environ deux mois autour de la floraison, avec un maximum durant la période de la nouaison et du grossissement herbacé des baies. Un second pic d'absorption peut être mis en évidence dès la véraison et pendant la première phase de maturation du raisin. En fin de saison, une partie de l'azote migre dans les organes de réserve avant la chute des feuilles.

L'alimentation azotée de la vigne résulte d'interactions complexes entre les conditions pédologiques et climatiques, la plante et les pratiques culturales (entretien du sol, irrigation, fertilisation azotée). Toute modification des pratiques de fertilisation azotée ou d'entretien du sol doit s'appuyer sur un diagnostic de l'état d'alimentation en azote de la vigne. Ce diagnostic (tabl. 17) repose sur l'observation du comportement de la vigne, renforcée ou non par des données analytiques (diagnostic foliaire, indice de formol).

Lorsque le diagnostic indique 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 2 à 3 ans d'observations.

L'exemple suivant montre l'appréciation du niveau d'alimentation azotée d'une parcelle de Chasselas.

Critère	Appréciation
Vigueur	Forte
Couleur du feuillage	Vert foncé (indice N-Tester 580)
Sensibilité à la pourriture ou au dessèchement de la rafle	Faible
Diagnostic foliaire	Pas effectué
Indice de formol des moûts	18

Interprétation

Deux des critères de base (vigueur, couleur du feuillage) indiquent une alimentation excessive en azote. La détermination de l'indice formol montre que la teneur en azote des moûts se situe au-delà du seuil critique de 14. L'ensemble de ces éléments confirme un diagnostic d'approvisionnement excessif en azote.

Tableau 18. Gestion de la nutrition azotée. Décisions pour l'année suivante.

CRITÈRE	Causes – Solutions techniques	
	EXCÈS	CARENCE
Fumure azotée (N)	<i>Fumure N excessive</i> Diminuer la fumure N	<i>Fumure N insuffisante</i> Augmenter la fumure N En vignes enherbées: localiser la fumure N sur le cavaillon désherbé
Entretien du sol	Enherber ou augmenter la surface enherbée si les conditions le permettent (sol, climat, mode de conduite)	Gérer la concurrence de l'enherbement (% surface enherbée, choix du type d'enherbement...) ¹
Matière organique (MO)	<i>Taux de MO trop élevé</i> Stopper les apports, gérer l'entretien du sol	<i>Taux de MO insuffisant</i> Apport de MO
Alimentation hydrique	<i>Alimentation en eau excessive</i> Raisonner l'irrigation	<i>Problème de stress hydrique</i> Raisonner 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
Rapport feuille/fruit	<i>Rapport feuille/fruit trop élevé</i> Rééquilibrer le rapport feuille/fruit	<i>Rapport feuille/fruit trop faible</i> Rééquilibrer le rapport feuille/fruit
Problème de physique du sol		Améliorer la structure du sol (drainage, décompactage) pour permettre un enracinement plus profond

¹PERRET *et al.*, 1989; SPRING, 1999; SPRING, 2001; SPRING, 2002.

En cas de situation équilibrée, conserver les données des années précédentes

En cas de déséquilibre (carence ou excès), le **tableau 18** permet d'en rechercher les causes ainsi que les solutions techniques qui peuvent être envisagées.

Les recommandations de fumure azotée annuelle sont comprises entre 0 et 50 U/ha. Seuls des cas exceptionnels justifient une fumure azotée plus élevée. En cas de non-réponse ou de réaction insuffisante de la vigne à une variation de la fumure 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.

4.3.2.1 Epoque d'application de la fumure azotée

En raison des risques de lixiviation (pertes par drainage), il est inutile d'apporter trop tôt la fumure 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 fumure azotée effectuée au moyen de nitrate d'ammoniaque devrait être appliquée au stade 3-5 feuilles étalées, peu avant la période des grands besoins de la vigne (**fig. 2**).

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 d'azote organique peuvent avoir lieu en automne déjà.

4.4 Bore

Le bore joue un rôle important sur le développement de la vigne et en particulier sur 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 bore permet de lutter efficacement contre la carence.

Fertilisation boriquée

Sols pauvres: fumure de correction de 2 kg/ha de bore les deux premières années et de 1 kg/ha les trois années suivantes; ensuite, effectuer une nouvelle analyse.

Sols satisfaisants: fumure d'entretien de 1 kg/ha/an de bore.
Sols riches: abandon de la fumure boriquée jusqu'à la prochaine analyse, sauf si le sol concerné est léger, calcaire ou

Tableau 19. Caractéristiques liées à la forme des éléments fertilisants.

Elément	FORME	CARACTÉRISTIQUES
AZOTE	Nitrate	Effet rapide. Risque de lessivage élevé
	Ammoniaque	Effet lent et soutenu. Risque de perte par volatilisation
	Nitrate d'ammoniaque	Effet en partie rapide et en partie différé
	Urée	Action plus lente et effet soutenu. Risque de volatilisation
	Organique	Effet lent à très lent, voire incertain. Minéralisation par les micro-organismes non contrôlable. Risque de minéralisation à contre-saison entraînant un danger de lessivage
PHOSPHORE	Soluble dans l'eau (ex. superphosphate)	Effet rapide dans tous les sols. Acidifie légèrement le sol
	Soluble dans le citrate d'ammoniaque (ex. phosphate bicalcique)	Effet partiellement rapide et lent
	Soluble dans l'acide citrique (ex. Scories Thomas, Scorilor, poudre d'os)	Effet lent. Léger effet calcifiant. Maintient le pH dans les sols faiblement acides
	Phosphate naturel (ex. hyperphosphate)	Effet très lent
POTASSIUM	Chlorure de potassium (ex. sels de potasse)	Soluble dans l'eau. Effet rapide. Risque de lixiviation dans les sols sableux. Contient 40-50% de chlore
	Sulfate de potasse (ex. sulfate de potasse, potasse magnésienne)	Soluble dans l'eau, effet rapide. Acidifie légèrement le sol. Contient 15-20% de soufre
	Nitrate de potasse	Soluble dans l'eau. Effet rapide
MAGNÉSIUM	Sulfate de magnésium (ex. kiesérite, sulfate de magnésium hydraté)	Soluble dans l'eau. Risque de lessivage dans les sols légers
	Carbonate de magnésium	Faible solubilité, effet lent et soutenu. Faible risque de lessivage
	Oxyde de magnésium	Effet lent et soutenu

irrigué. Dans ces cas, pas de fumure boriquée durant 2 ans, puis apports d'entretien de 1 kg/ha/an; 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 bore apporté et de ne jamais dépasser les doses prescrites. La culture de plantes exigeantes en bore (crucifères), avec exportation de la biomasse produite, peut aider à résoudre les cas de toxicité.

4.5 Fumure des jeunes vignes

Pour autant que les résultats d'analyses de sol démontrent un niveau de fertilité satisfaisant ou que les fumures de redressement nécessaires aient été appliquées, aucune fumure n'est recommandée au cours des deux premières années pour P, K et Mg. La fumure annuelle d'entretien s'applique dès la troisième année. La fumure azotée doit être adaptée au développement de la vigne.

4.6 Choix des engrais minéraux

Pour valoriser au mieux les engrais, il faut tenir compte de leurs caractéristiques et des besoins spécifiques de la plante (tabl. 19 et 20). Sont déterminants: pour l'azote, la rapidité d'action; pour les phosphates, la solubilité en fonction du pH du sol; pour le potassium, l'anion accompagnant (risque de phytotoxicité du chlore par exemple).

4.7 Amendements organiques (tabl. 21)

De nombreuses propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol dépendent directement de sa teneur en humus. Or, suivant le climat et le type de sol, l'humus se minéralise à raison de 1 à 2% par an. Ces pertes représentent 1000 à 1500 kg/ha (HÉNIN *et al.*, 1969) par année et doivent être compensées par des apports de matière organique. La restitution des sarments compense une partie de ces pertes – 300 à 600 kg suivant la densité de plantation et le mode de conduite – mais elle ne suffit pas. Une autre source d'humus est constituée par l'engazonnement des interlignes. Le retour au sol des parties aériennes fauchées et, plus encore, le renouvellement des racines dans le sol restituent, suivant la surface enherbée et les espèces dominantes, entre 300 et 800 kg d'humus à l'hectare par année (HÉBERT *In*: SOLTNER, 1974). L'absence de l'une ou l'autre de ces restitutions entraîne une diminution lente, mais inéluctable, de la teneur en humus du sol. Les amendements organiques couramment utilisés en viticulture n'ont pas tous la même valeur humigène. Suivant l'origine et le stade de décomposition de la matière, leur coefficient d'humification (coefficient iso-humique) varie énormément.

Généralement, les amendements organiques contiennent trop d'éléments fertilisants en regard des faibles besoins de la vigne. Il convient d'en tenir compte lors du choix du produit. Préférence sera donnée aux matières pauvres en minéraux. Leur répartition se calculera sur le cycle organique choisi,

RECOMMANDATIONS
Adapter la dose et le moment d'application aux possibilités de prélèvement par la plante
Par temps sec prolongé, enfouir légèrement
Par temps sec prolongé, enfouir légèrement
En sol neutre et calcaire, enfouir superficiellement
Eviter les doses importantes et uniques. Apporter régulièrement des doses modérées. Eviter la jachère durant la période de végétation (une minéralisation non contrôlée augmente les risques de pertes par lessivage)
Utilisation régulière dans les sols neutres et alcalins. Utilisation occasionnelle dans les sols acides
Utilisation jusqu'à pH 6,6 en sol pauvre et pH 7,5 en sol satisfaisant
Utilisation jusqu'à pH 6,2 en sol pauvre et 7,5 en sol satisfaisant
Utilisation jusqu'à pH 5,9 en sol pauvre et 6,5 en sol satisfaisant
Ne pas dépasser 300 kg K ₂ O/ha par apport. Dans les sols très sableux, épandre au printemps
A utiliser pour les applications de fond au printemps surtout lorsque la dose est importante et pour tout apport en période de végétation
Approprié pour les pulvérisations foliaires
A utiliser en cas de carence en magnésium (apport foliaire avec sulfate de Mg hydraté, au sol avec du sulfate dans les sols légers). Épandre au printemps
Utiliser pour corriger les carences dans les sols acides. Fertilisation de maintien dans les sols neutres, faiblement acides et acides
A utiliser pour la fumure d'entretien dans tous les sols

Tableau 20. Influence des engrais sur le pH du sol.

Effet acidifiant	Effet neutre ou alcalinisant
Sulfates	Cyanamide calcique
Engrais ammoniacaux	Hyperphosphates
Urée	Engrais calciques
Superphosphate, supertriple	

Tableau 21. Composition des principales matières organiques utilisées en viticulture.

Amendement	Dose d'application en t/ha min.-max.	Valeurs exprimées en kg/t de matière fraîche								
		Matière sèche	Matière organique	Humus	N total	N disponible	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Fumier bovin au tas ¹	20-40	190	150	75	4,9	1,5	3,2	6,6	3,7	0,8
Fumier bovin de stabulation ¹	20-40	210	175	90	5,3	1,9	2,2	10,8	2,7	0,7
Pailles de blé d'automne ²	2-10	860	800	80	5,0	–	2,0	11,0	3,0	0,8
Pailles des marais	10-20	850	800	80	6,0	–	0,7	3,4	3,9	0,6
Compost de marc ¹	20-50	330	300	120	7,9	2,0	2,6	7,9	2,4	0,5
Marc de raisin frais	20-50	350	270	90	6,8	1,7	2,2	6,6	2,0	0,4
Compost vert ¹	20-50	450	200	60	7,0	0,1	4,0	5,7	28,0	3,1
Sarments	2-4	500	480	150	4,2	–	1,3	4,8	3,1	0,5

c'est-à-dire: 3, 4 ou 5 ans. L'azote disponible, en revanche, devra être déduit du plan de fumure en totalité pour la période de végétation suivant l'apport. Lorsque des apports importants sont justifiés (sols pauvres en MO), la quantité d'éléments minéraux contenus dans la MO peut dépasser les normes.

Les caractéristiques principales des amendements organiques le plus couramment utilisés en viticulture figurent dans le **tableau 21**.

¹Ces valeurs sont sujettes à de fortes variations. Seule l'analyse permet de connaître les valeurs exactes.

²Il s'agit des valeurs du blé d'automne, les autres céréales ont des teneurs proches (pour toute information complémentaire concernant d'autres types de matière organique, voir les «Données de bases pour la fumure des grandes cultures et des herbages» tabl. 59. *Revue suisse Agric.* **33** (3), 2001).

Tableau 22. Principaux déséquilibres et troubles physiologiques de la vigne. (Suite en pages 22-23.)

SYMPTÔMES	PHÉNOMÈNES LIÉS À	CAUSES POSSIBLES
<p>Feuilles: vert pâle puis jaunes, nervures comprises Pétioles: peuvent devenir rouges Rameaux: vigueur réduite Grappes: coulure Etendue du phénomène: généralisé à la parcelle avec des zones plus prononcées Epoque d'apparition: en général peu avant fleur</p>	<p>CARENCE EN AZOTE</p>	<p>Fertilisation: insuffisante, taux de MO faible Climat: excès d'eau, froid, sécheresse Entretien du sol: concurrence de l'enherbement, tassement, amendement organique avec C/N élevé</p>
<p>Feuilles: de grande taille, vert foncé Rameaux: vigueur forte, aoûtément retardé Grappes: compactes, sensibles au botrytis, dans les cas extrêmes coulure par excès de vigueur Etendue du phénomène: généralisé à la parcelle avec des zones plus prononcées</p>	<p>EXCÈS D'AZOTE</p>	<p>Fertilisation: excessive Climat: favorable à la minéralisation de la MO Sol: excès de MO, travail du sol, chaulage sur sols acides, riches en MO</p>
<p>N.B.: les symptômes d'excès sont identiques aux symptômes de carence Feuilles: déformées, petites, boursoufflées, marbrées, jaunissement en mosaïque Rameaux: vigueur réduite, entre-nœuds courts, manifestation du phénomène sur les jeunes pousses, entre-cœurs dominants sur la pousse principale Grappes: forte coulure, déformation Etendue du phénomène: souvent généralisé à la parcelle avec des zones plus atteintes Epoque d'apparition: souvent déjà avant fleur</p>	<p>CARENCE EN BORE</p>	<p>Fertilisation: insuffisante, chaulage important Climat: sécheresse Sol: léger, filtrant (lessivage), calcaire (blocage). Sur création après prairies, carences en bore et en potassium souvent associées</p>

4.7.1 Le fumier

Le fumier constitue encore aujourd'hui le meilleur amendement organique. Il possède un coefficient iso-humique élevé et des qualités qui ne sont plus à démontrer. Ses propriétés varient suivant l'espèce animale dont il est issu, suivant la proportion de paille qu'il contient et suivant son stade de décomposition. Il s'utilise en apports d'environ 40 t/ha tous les 3 à 5 ans en couverture ou légèrement enfoui par un travail du sol. S'il est peu décomposé ou riche en paille, il doit être apporté en automne. Les apports de printemps sont exceptionnels et nécessitent un fumier bien «mûr» pour éviter que sa décomposition n'entraîne une mobilisation de l'azote minéral du sol au détriment de la vigne. Cette dernière remarque concerne également tous les amendements organiques possédant un rapport carbone/azote élevé (matières lignifiées, pailles, déchets de bois).

4.7.2 Le marc de raisin

Il s'agit d'une matière très acide, donc bien adaptée aux sols calcaires. Sa faible teneur en eau permet son emploi dans de nombreux endroits difficiles d'accès. Son rapport C/N élevé, combiné à une acidité prononcée, rend la décomposition du marc difficile et lente.

En faible quantité, le marc frais s'utilise en surface pour lutter contre l'érosion. Composté avec un peu de fumier, de la paille et éventuellement un peu d'azote minéral (au maximum 2 kg de cyanamide calcique par 100 kg de compost), il représente un amendement organique très intéressant et enfouissable. Le pH bas de ce produit peut être rehaussé avec un peu de poudre de roche calcaire (1 à 2 kg par 100 kg de compost).

4.7.3 Le compost vert

Les communes sont de plus en plus nombreuses à offrir des composts issus de la récupération des déchets organiques ménagers auxquels sont additionnées des quantités plus ou moins importantes de déchets végétaux (gazon, branchages, feuilles mortes, etc.). Leur composition et leur stade d'évolution varient d'une commune à l'autre et d'une saison à l'autre. Ce sont des produits extrêmement intéressants pour leur valeur humigène. Ils sont souvent proposés tamisés plus ou moins finement. Rappelons qu'ils sont composés d'une proportion souvent assez importante de bois broyé et que le bois, comme le marc, la paille et les écorces, possède un rapport C/N élevé. Comme le fumier, les composts sont souvent riches en éléments fertilisants qui doivent être pris en compte lors du calcul des doses. Les composts verts s'utilisent comme le fumier.

4.7.4 La paille

Avec un rapport C/N également élevé, les pailles, pour se décomposer, mobilisent l'azote minéral du sol au détriment de la culture en place, même lorsqu'elles ne sont pas enfouies. Les pailles s'utilisent généralement en couverture, souvent pour protéger le sol de l'interligne non engazonné. En surface, elles tamponnent les variations brusques de température et d'humidité. Le système fonctionne bien lorsque la couche est peu importante. Lorsqu'elle est trop épaisse, la couche de paille provoque un excès d'humidité en surface et empêche le réchauffement direct du sol par le rayonnement solaire. Cela est particulièrement préjudiciable dans les sols lourds ou lents à se réchauffer au printemps. Du fait des faibles quantités de

INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES	MOYENS DE LUTTE ENVISAGEABLES
Analyse de terre: granulométrie, MO, pH Diagnostic foliaire Indice de formol des mouës (Chasselas) Indice chlorophyllien du feuillage (N-Tester) Profil: état structural, état de décomposition de la MO, régime hydrique	Court terme: Fumure foliaire: urée, nitrate de potasse ou préparation spécifique du commerce Fumure au sol: nitrate de chaux Long terme: Entretien du sol: limiter la concurrence du gazon en vigne enherbée, localisation de l'azote sur le rang désherbé. Plan de fumure minéral, fumure organique, aération du sol, drainage, irrigation
Analyse de terre: granulométrie, MO, pH Diagnostic foliaire Indice chlorophyllien du feuillage (N-Tester) Profil: état structural, régime hydrique	Long terme: Stopper apports d'azote organique et minéral, enherber...
Analyse de terre: bore, calcaire total, pH Diagnostic foliaire	Court terme: Fumure foliaire: préparation spécifique du commerce Fumure au sol (pour autant qu'une irrigation soit possible en période sèche) Long terme: Fumure foliaire: préparation spécifique du commerce (répéter) Fumure au sol: plan de fumure minéral et organique, attention en cas de chaulage

paille généralement recommandées, l'apport d'humus est restreint. Les pailles de céréales apportent plus d'éléments minéraux que la paille des marais. La teneur en minéraux de cette dernière est une des plus basses de tous les amendements couramment utilisés en viticulture.

4.7.5 Les boues d'épuration

L'utilisation des boues d'épuration, seules ou intégrées à un compost, n'est plus autorisée.

5 Déséquilibres nutritionnels et troubles physiologiques (tabl. 22)

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 pédoclimatiques, 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. Rappelons à cet égard qu'il est particulièrement important de bien les définir. Les principales carences et les troubles d'ordre physiologique de la vigne sont exposés dans le **tableau 22**. 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.

6 Spécificités de la fumure en viticulture biologique

6.1 Principes de base

Les principes de base de la viticulture biologique consistent à exploiter le sol avec ménagement, à préserver la biodiversité et à conserver ou reconstituer un sol vivant. Un outil important pour atteindre ces objectifs consiste à maintenir un taux d'humus élevé, garant d'un bon état structural et d'une activité biologique satisfaisante du sol. L'entretien du sol est axé, dans les sites où les précipitations sont suffisamment abondantes, sur un enherbement permanent constitué d'espèces végétales diversifiées.

La production biologique restreint l'utilisation d'engrais phosphatés et potassiques facilement solubles et renonce aux engrais azotés de synthèse. Pour cette raison, la mobilisation de nutriments aux moments critiques du développement de la vigne par le choix de techniques culturales appropriées est particulièrement importante.

Tableau 22. Principaux déséquilibres et troubles physiologiques de la vigne. (Suite.)

SYMPTÔMES	PHÉNOMÈNES LIÉS À	CAUSES POSSIBLES
<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: dépérissement dans les cas graves</p> <p>Etendue du phénomène: souvent localisé</p>	<p>CARENCE EN FER</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 fer ne sont pratiquement jamais dues à une déficience en fer dans le sol</p>
<p>Feuilles: décoloration puis brunissement du pourtour, coloration brillante au départ, enroulement en gouttière, brunissement automnal, manifestation du phénomène sur les jeunes feuilles</p> <p>Plante: plus sensible à la sécheresse. Ralentissement de l'accumulation des sucres dans les 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>CARENCE EN POTASSIUM</p>	<p>Fertilisation: insuffisante</p> <p>Sols: très argileux (rétrogradation), légers (lessivage), après gros mouvements de terre, création après prairies naturelles</p>
<p>Feuilles:</p> <p>cépages blancs: jaunissement internervaire</p> <p>cépages rouges: rougissement internervaire, manifestation de la coloration sur les feuilles du bas</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>	<p>CARENCE EN MAGNÉSIUM</p>	<p>Fertilisation: insuffisante en Mg ou excès de potassium (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>
<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>DESSÈCHEMENT DE LA RAFLE</p>	<p>Fertilisation: excès d'azote, excès de potassium, manque de magnésium</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 magnésium et favorisant la vigueur</p>

6.2 Particularités de la gestion des sols et de la fertilisation en viticulture biologique

L'enherbement permanent des vignobles peut concurrencer l'alimentation équilibrée de la vigne. Cette concurrence s'exerce en particulier pour l'eau et l'azote. Ces aspects ont déjà été abordés précédemment (tabl. 17 et 18). Afin de gérer la concurrence hydro-azotée liée à l'enherbement, le recours aux techniques suivantes est autorisé:

- mulchings organiques;
- semis intercalaires (espèces peu concurrentes, légumineuses, plantes à racines pivotantes, etc.);
- interventions ponctuelles destinées à limiter temporairement la concurrence des gazons permanents (sarclages, bêchages, désherbage mécanique ou thermique du cavaillon, couverture du cavaillon avec des films de natures diverses ou des écorces, etc.);
- amélioration mécanique de la structure des sols (sous-solage, etc.).

Ces techniques sont également applicables en production intégrée.

Une attention particulière est portée au maintien ou à l'amélioration du taux de matière organique. Ce taux devrait se situer dans les classes de richesse élevées et très élevées (tabl. 7). La fertilisation de base doit être faite sous forme organique, soit en surface (mulch), soit en incorporation superficielle. Comme pour la production intégrée, l'application d'amendements organiques doit tenir compte de la richesse en éléments minéraux du sol. Le choix et les périodes d'application des engrais organiques seront adaptés à la disponibilité de l'azote. L'utilisation d'engrais de synthèse est proscrite.

INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES	MOYENS DE LUTTE ENVISAGEABLES
Analyse de terre: granulométrie, MO, pH, calcaire total et actif Profil: état structural, état de décomposition de la MO, régime hydrique Plante: conduite et rendements antérieurs	Court terme: Fumure foliaire: préparation spécifique du commerce, efficacité aléatoire Fumure au sol: chélates de fer (appliqués au pal injecteur, surtout dans les sols lourds) Plante: dégrappage Long terme: Fumure au sol: chélates de fer (appliqués au pal injecteur, surtout dans les sols lourds) Entretien du sol: aération, enherbement, drainage Plante: favoriser un rapport feuille/fruit équilibré, adaptation du porte-greffe
Analyse de terre: CEC, granulométrie, K Diagnostic foliaire	Court terme: Fumure foliaire: nitrate de potasse ou préparation spécifique du commerce Fumure au sol: nitrate de potasse ou autre engrais soluble (appliqués au pal injecteur) Long terme: Fumure au sol: plan de fumure minéral
Analyse de terre: K, Mg Diagnostic foliaire Profil cultural: enracinement	Court terme: Fumure foliaire: sulfate de magnésium hydraté ou préparation spécifique du commerce (plusieurs pulvérisations nécessaires) Long terme: Fumure foliaire Fumure au sol: raisonnée K ₂ O et Mg Plante: maîtrise du rendement, adaptation du porte-greffe
Analyse de terre: K, Mg Diagnostic foliaire	Court terme: Pulvérisation sur grappes: sulfate de magnésium hydraté dès le début de la véraison, deux fois à dix jours d'intervalle en mouillant bien les grappes ou préparation du commerce Long terme: Equilibre de la plante: maîtrise de la vigueur, choix du porte-greffe Fertilisation: raisonner la fumure azotée, potassique et magnésienne Entretien du sol: enherbement

6.3 Directives spécifiques en matière de fumure

Les directives, spécifiques à chaque label, peuvent être consultées dans les cahiers des charges correspondants (Bio-Suisse, Bio-Vinatura, Migros-Bio, etc.). Celles-ci se basent sur l'Ordonnance suisse sur l'agriculture biologique éditée par l'Office fédéral de l'agriculture. Certains de ses principes de base communs sont rappelés ici:

Engrais du commerce autorisés

Une liste exhaustive des engrais du commerce autorisés en agriculture biologique, assortie de leurs teneurs en éléments fertilisants, est publiée annuellement dans le cadre du registre des matières auxiliaires autorisées par l'Institut de recherche en agriculture biologique à Frick.

Bilan des éléments fertilisants

Il faut établir un bilan des éléments fertilisants selon la méthode du «Suisse Bilanz» dans les cas suivants:

- sur les exploitations sans bétail, au moment où des engrais azotés et phosphatés du commerce sont importés;
- lorsque la proportion de prairies extensives ou peu intensives dépasse 30%;
- sur les exploitations avec bétail lorsque la charge en bétail excède un certain seuil par rapport à la surface concernée par l'application des engrais.
- Le phosphore apporté sous forme de compost ou de «Rico-kalk» peut être comptabilisé sur une durée de trois ans.

Analyse de sol

Les exigences correspondent à celles prévues dans le cadre des prestations écologiques requises (PER).

Apports maximaux d'éléments fertilisants

Ils correspondent à la norme corrigée selon le système proposé dans la présente publication (cf. tabl. 2, 12 et 13). L'apport d'engrais tels que le sulfate de potassium, la potasse magnésienne (Patentkali) et la kainite magnésienne doit être justifié par une analyse de sol récente (moins de quatre ans),

Bibliographie

- AERNY J., 1996. Composés azotés des moûts et des vins. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **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.
- HÉNIN S., GRAS R., MONNIER G., 1969. Le profil cultural. Masson et Cie éditeurs, 2^e édition. Paris, 332 p.
- LÖHNERTZ O., 1988. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme bei *Vitis vinifera* (cv. Riesling). Dissertation, Universität Giessen, 228 p.
- LORENZINI F., 1996. Teneur en azote et fermentescibilité des moûts. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **28** (3), 169-173.
- 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., Hort.* **27** (4), 237-251.
- PERRET P., KOBLET W., HAAB M., 1989. Bodenpflegemaßnahmen zur Steuerung des zeitlichen Stickstoffangebot in Rebbaubau. *Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau* **125**, 616-623.
- RYSER J.-P., GYSI CH., HELLER W., 1995. Analyses de terre et interprétation en cultures spéciales. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **27** (6), 365-372.
- RYSER J.-P., WALTHER U., FLISCH R., 2001. Données de base pour la fumure des grandes cultures et herbages. *Revue suisse Agric.* **33** (3), 80 p.
- SOLTNER D., 1974. Les bases de la production végétale, tome 1: Le sol. Collection Sciences et techniques agricoles, 440 p.
- SPRING J.-L., 1999. Gestion de l'enherbement des vignes. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **31** (1), 18-19.
- SPRING J.-L., 2001. Influence du type d'enherbement sur le comportement et la qualité des vins. Résultats d'un essai sur Chasselas dans le bassin lémanique. 1. Résultats agronomiques. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **33** (5), 253-260.
- SPRING J.-L., 2002. Influence du type d'enherbement sur le comportement de la vigne et la qualité des vins. Résultats d'un essai sur Chasselas dans le bassin lémanique. 2. Résultats œnologiques. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **34** (2), 111-116.
- 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., Hort.* **35** (2), 113-119.
- 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., Hort.* **34** (1), 27-29.

effectuée par un laboratoire reconnu. Dans ce cas, les apports maximaux avec ces engrais ne doivent pas excéder 75% de la norme corrigée en sols pauvres, 50% en sols médiocres et 25% dans les sols satisfaisants.

Provenance des engrais de ferme

Les engrais de ferme ne peuvent provenir que d'exploitations en mode de production biologique. Des exceptions sont tolérées jusqu'à fin 2004 (voir les directives de Bio-Suisse) lorsque l'achat à partir d'exploitations biologiques n'est pas possible, notamment en raison de l'éloignement du fournisseur potentiel.

Utilisation d'engrais de ferme

Les quantités maximales utilisables dépendent de leur teneur en phosphore et en potassium. La richesse de certains engrais en restreint les possibilités d'utilisation.

Compost

Les teneurs maximales en métaux lourds, définies dans l'Ordonnance fédérale sur les substances (Osubst.), ne doivent pas être dépassées. Les apports seront limités à 25 tonnes de matière sèche pour une période de trois ans (tab. 21).

Apports foliaires, micro-éléments et engrais foliaire magnésien

En agriculture biologique, on cherche à équilibrer l'alimentation de la plante par le biais d'un bon fonctionnement du sol et de l'appareil racinaire. Les apports d'éléments nutritifs par voie foliaire sont réservés à des cas exceptionnels, justifiés par des risques de carences.

Les engrais foliaires tels le sulfate de magnésium, les préparations à base de fer, bore, zinc, manganèse et molybdène sous forme de sulfates ou de chélates, ainsi que le chlorure de

calcium (contrôler la liste des matières auxiliaires autorisées) ne peuvent, après information des organismes officiels de contrôle, être utilisés que sous certaines conditions:

- la clause du besoin doit être justifiée par une analyse de sol ou de végétal récente (moins de quatre ans), effectuée par un laboratoire reconnu, ou par la présence de symptômes de carence ou de sensibilité reconnue à certains accidents (par exemple, sensibilité de certains cépages au dessèchement de la rafle);
- une fenêtre sans traitement doit être prévue pour prouver l'efficacité de la pulvérisation foliaire appliquée.

7 Fumure et environnement

Dans un système équilibré, garantissant le maintien de la fertilité du sol, il s'agit de faire valoriser au mieux par la plante les éléments apportés ou générés dans le sol. Pour atteindre cet objectif, on cherche à réduire au minimum les pertes d'éléments économiquement et écologiquement préjudiciables.

Une bonne connaissance du sol et des éléments utilisés facilite le choix du moment de leur application. Les apports d'éléments très solubles, facilement drainés, comme l'azote nitrique et le sulfate de magnésium, doivent intervenir de préférence au départ de la végétation ou, éventuellement, être fractionnés. Pour les éléments qui peuvent être stockés dans le sol, comme le potassium ou les phosphates, la quantité et le moment des apports dépendent essentiellement des caractéristiques du sol (complexe argilo-humique, pH, taux de MO, teneur en calcaire). Les fractionnements ne sont alors conseillés que lorsque le sol possède moins de 10% d'argile. L'entretien du sol joue un rôle important dans la perte d'éléments minéraux par drainage, ruissellement ou érosion. Dans les zones sensibles, le choix d'un mode d'entretien du sol adapté contribue fortement à réduire les atteintes à l'environnement.

IMPRESSUM

Editeur:
Stations fédérales
de recherches agronomiques
de Changins et de Wädenswil

Mise en page:
E. Rohrer, AMTRA

Préresse:
inEDIT Publications SA

Impression:
Courvoisier-Attinger
Arts graphiques SA

Photos:
D. Quattrocchi (RAC)
Ph. Vautier (EIC)

Copyright:
AMTRA, 1260 Nyon