

Les Oligo Éléments et la vigne

-

Partie I

Les éléments minéraux indispensables à la croissance et au développement des plantes (et qui participent à la biosynthèse et à la constitution des métabolites notamment les acides aminés, les acides organiques et les protéines) sont prélevés dans le sol par le système racinaire.

Les éléments minéraux représentent 5 à 10 % de la matière végétales (Figure 1).

Les principaux éléments minéraux sont :

- les macro-éléments : l'azote (N), le potassium (K), le phosphore (P), le calcium (Ca)
- les microéléments ou oligoéléments : le fer (Fe), le magnésium (Mg), le cuivre (Cu), le soufre (S), le bore (B), le zinc (Zn), le manganèse (Mn).

Les éléments minéraux sont absorbés par le système racinaire (poils absorbants notamment) sous forme d'ions.

A ce titre, ils doivent être disponibles dans la solution du sol où ils sont dissociés en ions : cations (charge électrique positive : ammonium, NH_4^+ ; hydrogène, H^+ ; potassium, K^+ ; calcium, Ca^{2+} ; magnésium, Mg^{2+} ; fer, Fe^{2+}) et anions (charge électrique négative : nitrate, NO_3^- ; phosphates, H_2PO_4^- , HPO_4^{3-} et HPO_4^{2-} ; chlorure, Cl^- ; sulfate, SO_4^{2-}).

Ils sont alors principalement transportés vers les organes de la plante par le xylème secondaire via la sève brute, ou via le phloème secondaire par la sève élaborée s'il y a eu biosynthèse de métabolites dans la racine ou les feuilles.

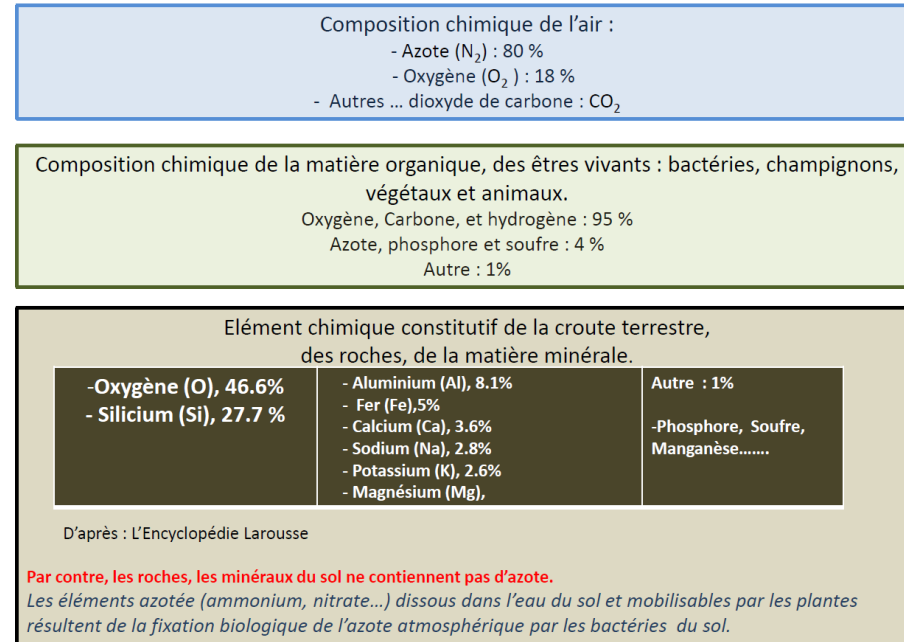


Figure 1 : composition chimique de l'air, de la matière organique et de la croûte terrestre (Cantaloube).

Un exemple de composition minérale des principaux organes de la vigne est décrit figure 2. Il s'agit d'un exemple de bilan pour l'azote, le potassium, le magnésium, le calcium et le phosphore à trois stades phénologiques (floraison/nouaison ; véraison ; maturité) du développement du cépage Chenin/99R cultivé sur sable, fertilisé et irrigué en conditions contrôlées (Conradie, 1980 ; 1981).

La figure 3 montre un exemple d'évolution des principaux éléments minéraux de la baie du cépage Riesling (Schaller, 1999).

Les besoins de la vigne en éléments minéraux correspondent à la quantité prélevée par la plante (en kg ou g/hectare), dépendent (Carbonneau et Torregrosa, 2020) :

- du type de sol et de sa fertilisation (disponibilité des éléments minéraux),
- des itinéraires culturaux : travail du sol, enherbement, irrigation,
- de l'implantation du système racinaire et de son fonctionnement,
- du porte greffe, de l'association porte-greffe/cépage ou du cépage seul pour les vignes non greffées
- de la disponibilité en eau du sol,
- de l'architecture de la végétation (par exemple : système de conduite : surface foliaires totale et transpirante)
- de la vigueur ou de l'expression végétative souhaitée,
- du rendement en raisin et de sa qualité (composition biochimique de la baie et des moûts).

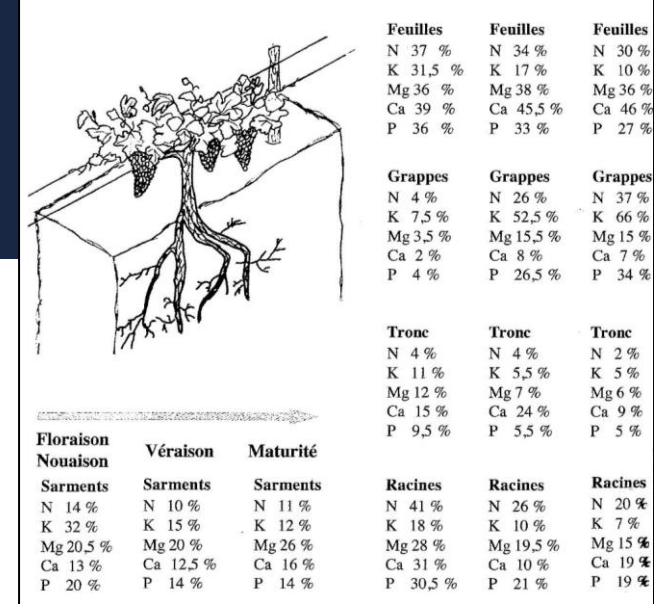


Figure 2 : exemple de composition minérale des principaux organes de la vigne (Chenin blanc/99R) aux stades floraisons/nouaison, véraison et maturité (d'après Conradie, 1980).

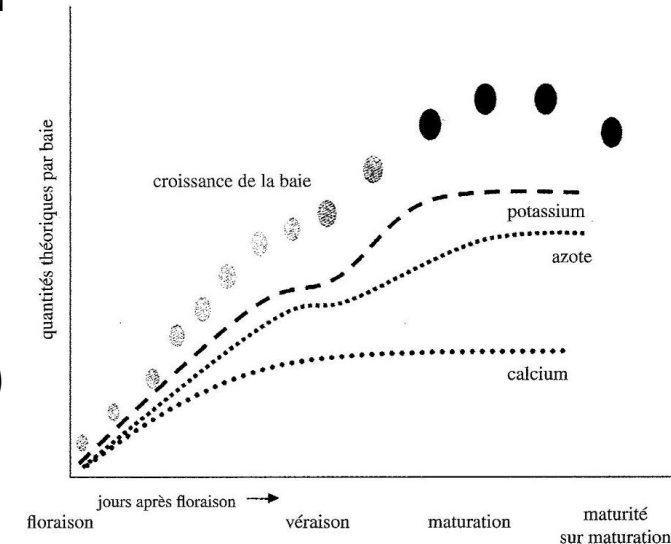


Figure 3 : exemple d'évolution des principaux éléments minéraux du cépage Riesling (d'après Schaller, 1980).

La diversité des situations viticoles fait qu'il est difficile de dégager des règles universelles concernant les besoins de la vigne en éléments minéraux, en relation avec des objectifs de rendement et de qualité de la vendange.

Le raisonnement de la fertilisation doit se faire sur la base d'analyse permettant de connaître les besoins réels en éléments minéraux de la plante (au même titre que le raisonnement des besoins en eau) compte tenu du milieu et des objectifs de production.

Deux types d'analyses permettent de gérer la fertilisation du sol ou la fertilisation foliaire, en fonction des besoins de la plante :

- les analyses du sol
- le diagnostic foliaire.

Il est proposé dans certains cas d'affiner le fertilisation et/ou la fertirrigation en utilisant des analyses de la baie, notamment pour l'azote, le potassium et le calcium. Les stades clefs à privilégier seraient la véraison (ramollissement du fruit) et pré- et post-chargement en sucres de la baie.

En effet, la question de l'accumulation du potassium et de l'azote dans la baie après le plateau du chargement en sucres demeure une question de recherche, notamment en relation avec une interruption potentielle du fonctionnement du phloème au cours de la maturation (Carbonneau et Torregrosa, 2020).

Mesure de l'état minéral de la vigne (Carbonneau et Torregrosa, 2020)

✓ *Le diagnostic foliaire*

Le diagnostic foliaire a été mis au point sur la vigne par Lagatu et Maume à l'école d'agriculture de Montpellier au début du XX^{ème} siècle.

Le diagnostic foliaire est utile pour :

- connaître à un stade de développement donné la composition minérale des feuilles et son évolution en fonction des stades phénologiques
- assurer la traçabilité minérale d'un cépage en relation avec son environnement
- détecter une carence minérale non visible ou non encore décelée visuellement
- confirmer une carence décelée visuellement
- connaître l'impact d'une fertilisation au sol ou foliaire sur la composition minérale des feuilles : un élément apporté a-t-il été bien absorbé et a-t-il modifié l'absorption ou l'équilibre des autres éléments ?
- connaître l'influence des itinéraires culturaux sur la composition minérale des feuilles

Les carences qui sont diagnostiquées de façon fiable par rapport à des normes de références établie par cépage sont principalement : l'azote, le potassium, le magnésium, le calcium, le sodium (pour sa toxicité) et le phosphore.

Les principaux équilibres des éléments minéraux concernent les rapports Ca/Mg, K/Mg et Ca/K.

Les éléments de variabilité de la composition minérale d'une feuille sont nombreux.

A cette variabilité de situations, s'ajoute une question : faut-il au niveau de la feuille utiliser le pétiole ou le limbe comme indicateur ?

Il est difficile d'apporter une réponse pertinente pour la majorité des éléments minéraux où les deux types d'organes semblent donner satisfaction. Il n'en est pas de même pour l'azote où le limbe est clairement l'indicateur végétatif le plus pertinent.

En effet, à la véraison, la teneur en azote total des limbes est mieux corrélée à la teneur en azote total des moûts à maturité que l'azote total des pétioles (Gaudillère et *al.*, 2003).

La méthode de prélèvement des feuilles doit tenir compte du stade phénologique, de la position de la feuille sur le rameau en relation avec le stade du prélèvement et de l'objectif des futures analyses.

Un exemple de méthode est proposé :

- *stades de prélèvement* : floraison (100 % fleurs épanouies) et/ou véraison (50 % baies rouges pour les cépages noirs ou de baies ramollies pour les cépages blancs)
- *nombre* : 40 feuilles par prélèvement ; 1 feuille par cep, il est important d'échantillonner largement dans la parcelle ou éventuellement de *faire des blocs en fonction de l'hétérogénéité de la parcelle*
- *qualité* : feuille adulte, saine, intacte, situé au niveau de la première grappe ou un entre-nœud au-dessus. Dans tous les cas, prélever des feuilles toujours au même niveau sur le rameau, pour une date donnée
- *position* : 20 feuilles sur une face du rang et 20 feuilles sur l'autre face (exemple face est et ouest pour les rangs nord-sud)
- *transport et conservation* : se conformer aux consignes du laboratoire d'analyse.

Plus récemment, des capteurs basés sur les propriétés optiques du couvert végétal ont été développés pour apprécier le statut azoté du végétal (Serrano et *al.*, 2010).

On peut citer l'exemple du N-tester ou SPAD (selon les fabricants), très développé en agriculture, qui permet par mesure optique de déterminer l'indice chlorophyllien de la plante.

La mesure constitue ainsi un indicateur d'alimentation azotée de la plante au même titre qu'un diagnostic foliaire et permet de suivre des évolutions au cours du cycle végétatifs. Cet outil portable, simple d'utilisation, a été validé dans certaines conditions sur vigne par différents auteurs (Spring, 1999), mais cet indice chlorophyllien du feuillage ne traduit que très imparfaitement les différences observées avec la teneur en azote dans les feuilles et dans les moûts (Spring, 2006).

D'autres capteurs utilisables au vignoble s'appuient sur le spectre de réflectance du végétal et ses facultés à réfléchir le vert et à absorber le rouge grâce à sa fonction chlorophyllienne.

Enfin, depuis 2000, des outils mesurant la fluorescence (ou lumière réémise) basée sur les propriétés d'absorption des molécules de l'épiderme (Agati et *al.*, 2007) se sont développés, comme ceux développés par la société Force-A, Dualex et Multiplex.

Leur principe est d'émettre un flash de lumière sur le végétal et de capter la lumière réémise pour l'analyser par longueur d'onde et donner la nature, la composition du végétal (Cerovic et *al.*, 2008).

Sur la base des informations recueillies par chacun des capteurs, plusieurs indices et ratios ont été développés pour décrire les teneurs en chlorophylle, en flavonol et le statut azoté ou NBI (Nitrogen Balance Index) de la plante.

Depuis 2005, plusieurs travaux ont été menés avec ces outils en viticulture. Debuisson et *al.*, (2010) ont montré notamment que les différents indices issus du Multiplex pouvaient être intéressants pour identifier des variations entre deux parcelles et en particulier des variations de teneurs en azote total du moût.

Cerovic et *al.*, (2015) ont développé l'utilisation embarquée du Multiplex et montré son intérêt, là aussi pour décrire la vigueur parcellaire et la cartographier.

Enfin, il faut signaler qu'une méthode d'analyse de la sève a été développée, mentionnons notamment le procédé Nutrivista®.

Le potassium (K)

Le potassium (K) est un élément important de la croissance des plantes.

✓ Rôles :

Parmi les rôles principaux du potassium dans la plante, il y a :

- l'activation des enzymes (Walker et *al.*, 1998)
- le transport et la translocation des assimilats au niveau des membranes cellulaires
- la neutralisation des anions pour le maintien des potentiels membranaires (Leigh, 2001)
- la régulation du potentiel osmotique qui est un mécanisme essentiel pour le contrôle de l'état hydrique de la plante, de la turgescence et de la croissance. C'est le cation le plus abondant dans les tissus végétaux ; ses rôles sont facilités par la grande perméabilité membranaire au K (Mpelasoka et *al.*, 2003).

Chez la vigne, la grappe est un puits très important pour le K, notamment au cours de la maturation, il est le cation majeur des jus du raisin et il influe sur leur pH.

Un excès de K est responsable de l'augmentation du pH des moûts par décroissance de l'acide tartrique libre et donc par réduction du rapport tartrate/malate, un des indicateurs de la qualité du vin.

Les porte greffes généralement connus pour leur bonne assimilation du potassium sont : Fercal, 44-53Mg, 99R, 110R, SO₄ ; pour leur assimilation plutôt moyenne : 1103P, 5BB, 161-49, Gravesac ; pour leur assimilation plutôt faible : Riparia, 41B, 3309, 420A, 140Ru.

Les carences en potassium chez la vigne peuvent avoir des conséquences graves.

✓ **Symptômes :**

Les symptômes apparaissent sur les feuilles les plus jeunes à l'extrémité des rameaux, vers le mois de juillet parfois dès le mois de mai dans les cas aigus en hémisphère Nord (figure 4) (Guilbault, 2003) :

- apparition sur les jeunes feuilles puis évolution du haut vers le bas,
- jaunissement à limite floue de la périphérie du limbe,
- aspect luisant et épais des feuilles,
- bords du limbe incurvés vers le haut,
- nécrose périphérique puis chute prématurée du feuillage,
- au cours de la maturation, apparition de brunissements sur les faces supérieures âgées exposées au soleil.



Figure 4 : à gauche : feuille de vigne carencé en K ; à droite : feuille de vigne bien alimenté en K (source INRAe).

Une décoloration jaune périphérique apparaît puis s'étend sur le limbe. Elle devient rouge pour les cépages rouge et jaune pour les cépages blancs.

La brunissure (brunissement de la face supérieure des feuilles) est une manifestation particulière de la carence en K en association avec un excès de charge en grappes (Galet, 1995 ; Delas, 1986).

Les seuils de références en analyse foliaire, prennent en compte le rapport K/Mg :

- inférieur à 1 (< 1) = carence potassique grave
- K/Mg de 3 à 8 ([3 ; 8]) = alimentation en K normale.

Le potassium est accumulé dans le fruit pré- et post-véraison, au moins jusqu'au plateau de chargement en sucres.

L'accumulation du potassium est parallèle à l'accumulation des sucres, bien qu'il n'y ait pas de lien évident entre accumulation sucres et potassium, car la variabilité de la quantité de sucres et de potassium par baie est importante, ce qui suggère des mécanismes de régulation complexes et renforce la notion d'a-synchronie de développement du fruit et pose la question de l'échantillonnage lors de mesures effectuées par baie ou population de baies.

Le chargement en sucres et en potassium augmente dès la véraison (ramollissement de la baie) en parallèle avec l'augmentation du volume du fruit, ce qui suggère une relation avec l'accumulation d'eau dans le fruit (Rogiers et *al.*, 2017 ; Coetzee et *al.*, 2017b).

✓ **Facteurs favorisant les blocages** (Guilbault, 2003) :

- alimentation azotée et/ou magnésienne excessive,
- sécheresse ou pluie excessive,
- déséquilibre du rapport feuille-fruit,
- porte-greffe ou cépage sensible.

✓ **Conséquences** (Guilbault, 2003) :

- affaiblissement des souches,
- baisse de rendement,
- difficultés de maturation,
- acidification des raisins, diminution des teneurs en sucre et polyphénols,
- mauvais aoûtement des bois.

Le magnésium (Mg)

✓ Rôles :

Le magnésium (Mg) est un constituant essentiel de la chlorophylle. Il intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques.

L'absorption du Mg est entravée par un excès de K. La capacité d'absorption du Mg des porte-greffes est l'inverse que pour le K (le 44-53, le SO4 et le Fercal sont particulièrement sensibles à la carence magnésienne par leur capacité insuffisante à l'absorber).

✓ Symptômes :

Les symptômes en carence magnésienne apparaissent sur les feuilles âgées de la base des rameaux puis il y a évolution des symptômes vers le haut.

Il s'agit d'une décoloration internervaire et du pourtour du limbe : décolorations jaunes pour les cépages blancs (Figure 6) et rouges pour les cépages noirs (Figure 5). Les décolorations tardives (août – septembre) sont fréquentes dans certains vignobles, sans conséquence sur la vendange ou la vigne (Delas, 1986).

La déficience en magnésium joue un rôle dans un accident physiologique appelé « dessèchement de la rafle », sur un retard de croissance, sur faible développement racinaire et sur un dessèchement puis une chute prématurée du feuillage pour les carences graves.



Figure 5 : à gauche : feuille de vigne carencée en Mg ; à droite : feuille de vigne bien alimentée en Mg pour un **cépage rouge** (source INRAe).



Figure 6 : à gauche : feuille de vigne carencée en Mg ; à droite : feuille de vigne bien alimentée en Mg pour un **cépage blanc** (source INRAe).

✓ **Facteurs favorisants** (Guilbault, 2003) :

- fumure potassique excessive,
- chaulage excessif,
- années humides,
- déséquilibre du rapport feuille-fruit,
- porte-greffe ou cépage sensible.

✓ **Conséquences** (Guilbault, 2003) :

- petites baies,
- difficulté de maturation,
- risque de dessèchement de la rafle,
- acidification des raisins,
- diminution des teneurs en sucres,
- mauvais aoûtement.

Attention, la carence en magnésium est souvent induite par un excès de potassium et le rapport K/Mg pétiolaire est un indicateur beaucoup plus pertinent du risque de carence en magnésium que ne le sont les analyses de sol.

Le fer (Fe)

✓ Rôles :

Le fer est un constituant de la chlorophylle. Les carences en fer qui provoquent des chloroses sont classées en trois types :

- chlorose physiologique liée à la croissance
- chlorose vraie par carence en fer
- chlorose induite par excès de calcaire actif dans le sol

✓ Symptômes :

La chlorose ferrique se manifeste durant la période de croissance active de la vigne.

Les conditions d'absorption racinaire sont déterminantes (exemple de sols ennoyés et froids qui induisent la chlorose ferrique au printemps).

Elle se caractérise par un jaunissement (blanchissement) des jeunes feuilles en premier. Si la chlorose persiste, l'ensemble des feuilles se décolore, les nervures restent vertes au début des décolorations de limbes (Figure 7). Puis le jaunissement affecte les nervures, les zones décolorées se nécrosent, le bord des feuilles se dessèche jusqu'au stade cottis : nécrose totale de la feuille, les jeunes feuilles sont très petites, se décolorent très vite et sèchent, l'aspect général de la plante est rabougri.

Certains cépages ont des exigences en fer élevées et sont sensibles à la chlorose (Syrah, Ugni blanc).

L'analyse foliaire ne permet pas de détecter de façon fiable une carence en fer.



Figure 7 : à gauche et à droite : feuilles de vigne carencées en Fer.

✓ **Causes** (Guilbault, 2003) :

- Carence vraie : due à un manque de fer dans le sol.
- Carence induite en sol calcaire : la présence d'ions carbonates dans le sol gêne la mise en solution du fer et le rend donc moins disponible pour les racines.
- Carence physiologique en sol calcaire : les ions bicarbonates perturbent le fonctionnement de la plante. Le fer devient insoluble dans la plante : il est inutilisable alors qu'il est absorbé en quantité suffisante.

✓ **Facteurs favorisants** (Guilbault, 2003) :

Sol :

- sols calcaires,
- conditions de sol asphyxiantes : sol mal aéré ou humide,
- façon culturale superficielle conduisant à un fractionnement du sol facilitant la pénétration de l'eau et la dissolution des ions carbonates,
- sols pauvres en matières organiques.

Climat :

- printemps froid et humide (notamment pour les calcaires tendres),
- années sèches (quand les horizons chlorosants sont surtout en profondeur).

Physiologie de la plante :

- porte-greffe non adapté,
- obstacle à la circulation de la sève élaborée (bourrelet de greffe, plaies de taille...),
- vigne jeune,
- faible accumulation des réserves à l'automne (mildiou tardif, gelée précoce à l'automne...),
- production élevée l'année précédente.

✓ *Conséquences* (Guilbault, 2003)

- pertes de rendement liées à la coulure,
- difficultés de maturation,
- de plus en plus précoce chaque année, la chlorose provoque un affaiblissement de la souche,
- mort des racines.

Bibliographie

Carbonneau, A., & Torregrosa, L. (2020). *Traité de la vigne-3e éd.: Physiologie, terroir, culture*. Dunod.

Cerovic, Z. G., Ghozlen, N. B., Milhade, C., Obert, M., Debuissou, S., & Moigne, M. L. (2015). Non destructive diagnostic test for nitrogen nutrition of grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on dual-ex leaf-clip measurements in the field. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(14), 3669-3680.

Cerovic, Z. G., Moise, N., Agati, G., Latouche, G., Ghozlen, N. B., & Meyer, S. (2008). New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(8), 650-654.

Coetzee, Z. A., Walker, R. R., Deloire, A. J., Barril, C., Clarke, S. J., & Rogiers, S. Y. (2017). Impact of reduced atmospheric CO₂ and varied potassium supply on carbohydrate and potassium distribution in grapevine and grape berries (*Vitis vinifera* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 120, 252-260.

Conradie, W. J. (1980). Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture: I. Nitrogen. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 1(1), 59-65.

Conradie, W. J. (1981). Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture: II. phosphorus, potassium, calcium and magnesium. *South african journal of enology and viticulture*, 2(1), 7-13.

Debuissou, S., Germain, C., Garcia, O., Panigai, L., Moncomble, D., Le Moigne, M., ... & Cerovic, Z. G. (2010). Using Multiplex® and Greenseeker™ to manage spatial variation of vine vigor in Champagne. In *10th International Conference on Precision Agriculture*. Denver, Colorado.

Delas, J. (1986). Vigne. Les maladies de carence. *Phytoma*, (376), 31-37.

Galet, P. (1991). *Précis de pathologie viticole*. 2^{ème} édition, imprimerie JF impression, 264 p.

Gaudillère, J. P., Chantelot, E., Soyer, J. P., Molot, C., & Milin, S. (2003). Leaf and must nitrogen content two complementary indicators of grapevine nitrogen status. *OENO One*, 37(2), 91-101.

Guilbault, P. (2003). Identification des principales carences de la vigne. *Avenir Agricole Aquitain*, 1-9.

Leigh, R. A. (2001). Potassium homeostasis and membrane transport. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(2), 193-198.

Mpelasoka, B. S., Schachtman, D. P., Treeby, M. T., & Thomas, M. R. (2003). A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. *Australian Journal of grape and wine research*, 9(3), 154-168.

Rogiers, S. Y., Coetzee, Z. A., Walker, R. R., Deloire, A., & Tyerman, S. D. (2017). Potassium in the grape (*Vitis vinifera* L.) berry: transport and function. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1629.

Schaller, K. (1999). L'influence des différents systèmes de labour du sol sur l'absorption de N, P, K, Mg, Ca et des composés organiques N par les baies du raisin pendant la croissance et le développement de la variété «Riesling blanc». *Bulletin de l'OIV*, 72(823-24), 603-629.

Serrano, E., Dias, F., Biais, T., & Dufourcq, T. (2010). Les nouvelles technologies pour renseigner du statut azoté des raisins. In *Recherche de modèles de prédiction à l'aide du capteur multiplex*. Colloque Mondiaiviti, Bordeaux (pp. 101-109).

Spring, J. L. (1999). Indice chlorophyllien du feuillage et nutrition azotée du cépage Chasselas. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, 31, 141-145.

Walker, R. R., Clingeleffer, P. R., Kerridge, G. H., Rühl, E. H., Nicholas, P. R., & Blackmore, D. H. (1998). Effects of the rootstock Ramsey (*Vitis champini*) on ion and organic acid composition of grapes and wine, and on wine spectral characteristics. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4(3), 100-110.