

## ALIMENTATION POTASSIQUE ET QUALITÉ DU CHASSELAS DE TABLE

G. BERTONI et P. MORARD

École Nationale Supérieure Agronomique  
Laboratoire de Physiologie Végétale Appliquée  
145, Avenue de Muret, 31076 Toulouse (France)

### INTRODUCTION

Les producteurs de Chasselas de table de Moissac (Tarn-et-Garonne, 2000 producteurs, 3000 hectares) poursuivent une politique de qualité et d'homogénéité de leur production dans le cadre de leur Appellation d'Origine Contrôlée. Cette production particulière se rapproche plus de l'arboriculture fruitière que de la viticulture :

- ses critères de qualité privilègient l'aspect du raisin et de la grappe,
- les rendements varient selon l'âge des vignes et le mode de conduite (vigne basse - vigne haute) entre 5 et 20 tonnes/hectare, mais l'objectif de production des implantations récentes est élevé : 15 à 20 tonnes/hectare.

Ces rendements représentent des exportations importantes d'éléments fertilisants (notamment de potassium) et demandent une fertilisation adaptée à la diversité des sols de cette région. La première enquête de diagnostic foliaire et d'analyse de sol (TESTANIÈRE, 1976) réalisée dans ce vignoble a en effet mis en évidence un problème de fertilisation potassique marqué par la faiblesse des teneurs en potassium foliaire à la véraison ainsi que celle des teneurs en potassium échangeable des horizons profonds des sols. Cette étude ne put cependant établir une correspondance précise entre d'une part, les valeurs du potassium foliaire et l'analyse de sol et d'autre part, entre le potassium foliaire et la qualité de ce raisin de table.

Nous avons donc poursuivi ce travail sur l'alimentation minérale et la qualité du Chasselas de Moissac, en augmentant la taille de l'échantillon des vignes enquêtées et en introduisant des mesures et notations de qualité plus adaptées à cette production de raisin de table. Par ailleurs, sur la base de résultats d'enquête obtenus au cours d'années climatiquement proches, nous établissons les régressions entre les teneurs en potassium foliaire du Chasselas et les teneurs en potassium échangeable des sols et proposons quelques valeurs de référence pour la fertilisation potassique de ce vignoble.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### I — CONDITIONS NATURELLES

La région étudiée correspond à un rectangle d'environ 30 km de long sur 15 km de large situé dans la partie sud du vignoble. Le relief, très varié, est constitué de collines douces et peu élevées (dénivellation d'une centaine de mètres environ). Ce relief s'est développé à partir de sédiments détritiques tendres et hétérogènes de l'ère tertiaire, en particulier sur la molasse de l'Agenais (CAVAILLÉ, 1952). Celle-ci présente de fortes et fréquentes variations verticales et latérales dans les proportions de ses constituants (calcaire tendre, argile, marne et sable). Ces matériaux, facilement altérés et déplacés, ont donné naissance à une juxtaposition, à l'échelle de quelques dizaines de mètres et parfois moins, de sols ayant des propriétés physiques et chimiques plus ou moins différentes. Les teneurs en argile de ces sols varient entre 5 et 55 p. 100 et les pH à l'eau, de 5,0 à 8,5 (TESTANIÈRE, 1976). La classification locale, distinguant les terreforts en général plus argileux et plus alcalins des boulbènes plus évolués, est relativement imprécise : ces deux catégories de sols se recoupent sur le triangle des textures et constituent plutôt une série continue (REVEL, 1982) dont seuls les extrêmes sont bien distincts. Le climat est relativement chaud et sec l'été avec des déficits hydriques (P - ETP) fréquents, supérieurs à 250 mm de juin à août, au cours des années d'enquêtes (330 mm en 1976, 250 mm en 1979, 266 mm en 1985).

### II — RELATION ENTRE LA QUALITÉ DU CHASSELAS ET L'ANALYSE DE LA PLANTE ET DU SOL

Nous présentons les résultats d'une enquête réalisée en 1979 sur 41 parcelles de Chasselas, en production, généralement greffées sur 3309 C et choisies de manière à présenter un large éventail de la qualité de la production. Dans chacune d'elles, une microparcelle d'une centaine de ceps a été repérée et étudiée (BERTONI 1980, BERTONI et MORARD 1982) par des prélèvements de feuilles (floraison - véraison), de sol, et des notations et mesures de qualité.

*Les prélèvements de sol* ont été réalisés à deux profondeurs (sol : 0 - 20 cm, sous-sol : 40 - 60 cm) pour faire apparaître les différences d'enrichissement entre ces horizons. On a effectué, par les méthodes classiques, les mesures suivantes : pH à l'eau, pH KCl, calcaire total, phosphore TRUOG, potassium, calcium et magnésium échangeables à l'acétate d'ammonium N à pH 7,0. Ces mesures ont été complétées par la suite par la détermination de la capacité d'échange de cations (CEC) selon la méthode de RIEHM.

*L'analyse foliaire* a été effectuée sur des échantillons d'une trentaine de feuilles situées en face de la première grappe en analysant séparément les limbes et les pétioles. Les teneurs en azote, phosphore et en cations (K, Ca, Mg) de la matière sèche ont été déterminées respectivement en colorimétrie et en spectrophotométrie de flamme.

*La qualité de la production* de chaque microparcelle a été représentée par des appréciations visuelles dans une échelle de 1 à 5 et des mesures de différents critères de qualité. Les caractères notés sont la souplesse et la grosseur de la grappe, la colo-

ration et le diamètre du grain et la charge en raisin. Ces notations ont été effectuées par le même spécialiste du cépage, à la même date (26 septembre) sur toutes les parcelles. Le poids moyen du grain, la teneur en sucre réfractométrique et le pH du jus de raisin ont été mesurés sur des échantillons de 50 à 70 grains. Ces notations et mesures de qualité ont été sélectionnées (BERTONI et MORARD, 1984) de façon à ne conserver que les variables les plus représentatives de la qualité de ce cépage : la note de coloration (C) pour l'aspect du raisin, la teneur en sucres (su) pour la maturité, le poids moyen du grain (pg) pour le calibre. A ces critères favorables s'ajoutent deux variables défavorables à la qualité : la note de grosseur de grappe (G) et la note de charge en raisin (Ch). Les corrélations entre ces variables et celles de l'analyse foliaire ou de l'analyse de sol sont présentées graphiquement dans le premier plan de l'analyse en composantes principales de la matrice des corrélations des critères de qualité (C, su, pg, G, Ch).

### III — RELATION ENTRE LES TENEURS EN POTASSIUM DU SOL ET DE LA VIGNE

Cette partie synthétise des données d'enquête recueillies dans le vignoble en année sèche. Pour compléter l'échantillonnage des sols et des situations observées en 1979, nous avons été amenés à observer 11 autres parcelles, suivant le même protocole, six ans plus tard, en 1985. A cette occasion, pour avoir quelques indications sur les effets hydriques, ces parcelles ont été divisées en un témoin sec et une partie irriguée dans la période qui précède la véraison. L'irrigation était apportée par aspersion ou au goutte à goutte à une dose variant selon les parcelles entre 20 mm et 122 mm. Pour l'analyse de sol, les cations échangeables et la capacité d'échange ont été déterminées par la méthode de BOWER à l'acétate de sodium 1 N, bien adaptée aux sols argileux et calcaires (CHAPMAN et PRATT, 1961).

## RÉSULTATS

### I — RELATION ENTRE LA QUALITÉ DU CHASSELAS ET L'ANALYSE FOLIAIRE

Nous avons utilisé l'analyse en composantes principales (ACP) pour représenter graphiquement les critères de qualité et leurs corrélations avec les variables de l'analyse foliaire (figure 1). Chaque variable est repérée (x, y) dans le disque de rayon unité de la figure par ses corrélations avec les deux premiers axes principaux de l'ACP des critères de qualité.

L'axe 1, corrélé positivement à la teneur en sucre (su), à la note de coloration (C), au poids du grain (pg) et négativement à la charge en raisin (Ch), constitue une synthèse des caractères favorables de l'aspect du raisin et de la maturité.

La deuxième composante, axe 2, regroupe les critères de calibre (grosseur de grappe : G, poids du grain : pg); la charge en raisin (Ch) lui est corrélée positivement.

Nous avons représenté dans la figure 1 les teneurs du limbe à la floraison (N, P, Ca, Mg, KLF) et à la véraison (N, P, Ca, Mg, KLV). Pour le potassium, nous avons ajouté les teneurs du pétiole (KPF, KPV). Ces variables ne sont pas corrélées significativement à la deuxième composante. Par contre, les taux de potassium foliaire sont

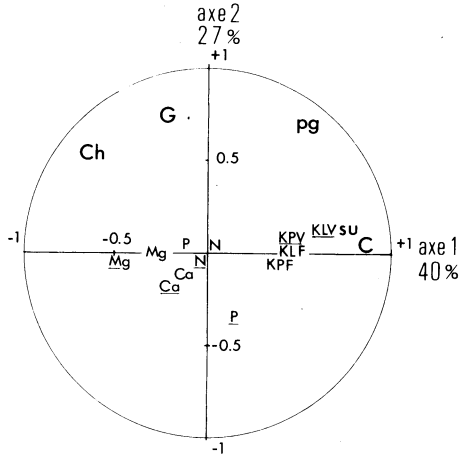


Fig. 1. — Projection des teneurs foliaires sur l'analyse en composantes principales de la qualité du Chasselas de table (41 vignes, 1979).

**TABLEAU I**

**Corrélations entre l'analyse foliaire du potassium, l'analyse de sol et la qualité du Chasselas de table (1979, 41 vignes, \* 5 %, \*\* 1 %, \*\*\* 1%).**

		FLORAISON		VÉRAISON			SOL	
		K limbe	K pétiole	K limbe	K pétiole	K/Mg pétiole	K/CEC 0-60 cm	pH/KCl 0-20 cm
QUALITÉ	su	0,255 NS	0,255 NS	0,296 NS	0,222 NS	0,136 NS	0,136 NS	-0,100 NS
	C	0,455 **	0,392 *	0,555 **	0,483 **	0,489 **	0,393 *	-0,414 **
	pg	0,332 **	0,113 NS	0,488 **	0,264 NS	0,282 NS	0,266 NS	-0,263 NS
	G	-0,133 NS	-0,040 NS	-0,002 NS	-0,042 NS	-0,087 NS	-0,097 NS	0,035 NS
	Ch	-0,292 NS	-0,290 NS	-0,401 **	-0,258 NS	-0,261 NS	-0,138 NS	0,210 NS
	axe 1	0,468 **	0,374 *	0,597***	0,456 **	0,454 **	0,341 *	-0,350 *
axe 2	0,013 NS	-0,049 NS	0,130 NS	0,046 NS	0,025 NS	0,046 NS	-0,051 NS	
SOL	K/CEC	0,477 **	0,500 **	0,485 **	0,579 **	0,560 **	1	-0,187 NS
	pH KCl	-0,485 **	-0,502 **	-0,562 **	-0,494 **	-0,561 **	-0,187 NS	1

su : teneur en sucre du jus; C : note de coloration du raisin; pg : poids moyen du grain; G : note de grosseur de grappe; Ch : note de charge en raisin.

corrélés significativement à la première composante (aspect - maturité) quelle que soit la date (floraison - véraison) ou l'organe analysé (limbe - pétiole). La teneur en potassium du limbe à la véraison, montre la plus forte corrélation avec les différents critères de qualité et avec la première composante ( $r = 0.597^{***}$ , tableau I).

La situation des teneurs en magnésium, diamétralement opposées à celles du potassium dans la figure 1, reflète l'antagonisme bien connu chez la vigne entre K et Mg (LOUE et *al.*, 1984). Les teneurs en N, P, Ca, ne présentent pas de corrélation significative avec les composantes de la qualité de la production. C'est donc seulement au niveau du potassium que l'on trouve une relation significative entre les teneurs foliaires et la qualité du Chasselas de table.

## II — NIVEAUX DE NUTRITION POTASSIQUE DES VIGNES

Le tableau II indique la répartition des teneurs en potassium des vignes sur la base de fourchettes de nutrition proposées à la véraison par DELAS (1979) pour le rapport K/Mg du pétiole, ÉTOURNEAUD et LOUE (1986) pour les teneurs du pétiole et adaptées de la revue bibliographique de COOK (1966) pour les teneurs du limbe : suivant ces trois critères, plus d'un tiers des parcelles étudiées sont carencées en potassium. La plupart des autres parcelles présentent des teneurs en potassium relativement faibles. En se situant à un niveau limitant d'alimentation potassique (K foliaire faible), il nous paraît normal d'observer une relation entre la qualité du Chasselas et la nutrition potassique.

**TABLEAU II**

**Répartition des 41 vignes (1979) selon différents critères  
du diagnostic foliaire du potassium à la véraison.**

Référence \ Niveau de nutrition	K pétiole (‰ m.s.)		K limbe (‰ m.s.)		K/Mg pétiole	
	limites de classe (1)	nombre de vignes	limites de classe (2)	nombre de vignes	limites de classe (3)	nombre de vignes
Carence probable	< 10	17	< 8,5	17	< 1	17
Risque de carence	10 - 25	19	8,5 - 12	20	1 - 2	7
Nutrition normale	> 25	5	> 12	4	> 2	17

(1) d'après ÉTOURNEAUD et LOUE (1986);

(2) d'après COOK (1966);

(3) d'après DELAS (1979).

## III — INFLUENCE DU TYPE DE SOL SUR L'ALIMENTATION POTASSIQUE DU CHASSELAS.

Les travaux antérieurs (TESTANIÈRE, 1976; BERTONI, 1980) avaient montré que l'on ne pouvait pas trouver de relation précise entre le potassium du sol et celui de la vigne si l'on considérait simultanément l'ensemble des sols et des situations dans le

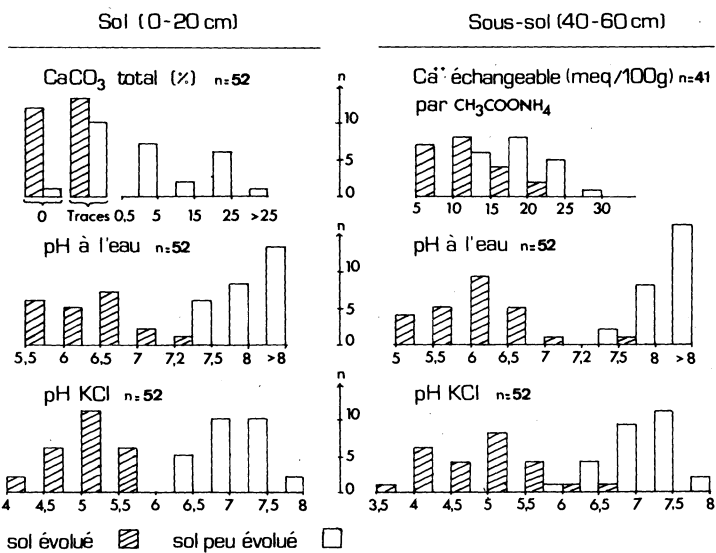


Fig. 2. — Histogrammes de fréquence de quelques variables de l'analyse de sol.

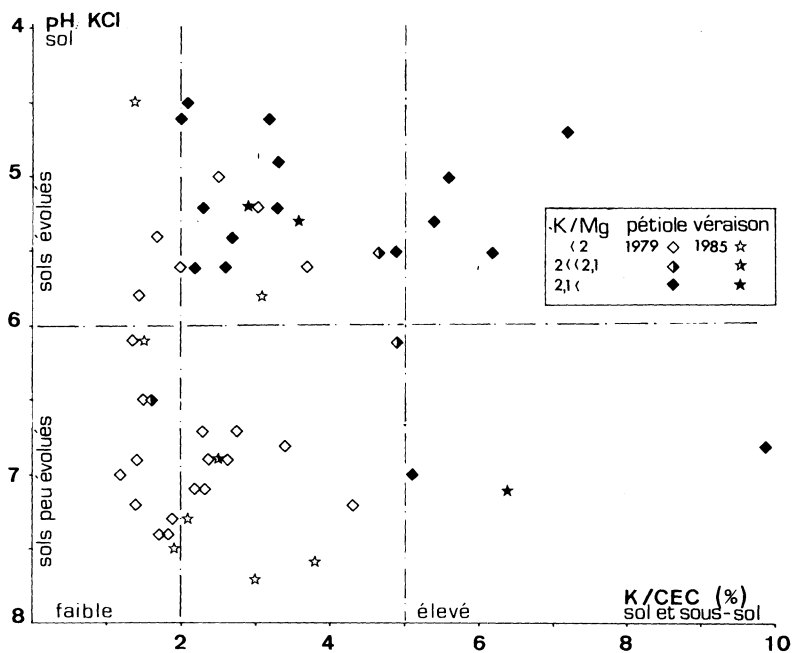


Fig. 3. — Répartition de l'alimentation potassique des vignes à la véraison en fonction de l'évolution des sols et de la fertilité potassique (52 vignes).

vignoble. Nous avons donc distingué sur la base de nos observations et de l'étude de REVEL (1982) sur les sols du terrefort molassique du Lauragais deux groupes de sols :

1°) *Les sols peu évolués.* Ce sont des sols bruns, calcaires ou calciques, généralement en situation de plateau ou de versant en rajeunissement, au contact d'une molasse calcaire. Ces sols, filtrants, se dessèchent facilement en surface et sont souvent de faible épaisseur (50 à 70 cm dans les cas les plus extrêmes). A l'analyse, les sols les moins évolués de ce groupe présentent des teneurs en calcaire total de 15 à 35 p. 100 avec des teneurs en calcaire actif de 6 à 7 p. 100 alors que les sols un peu plus évolués ne contiennent plus que des traces de calcaire. Les teneurs en calcium échangeable, les pH à l'eau et au KCl de ces sols sont élevés (figure 2).

2°) *Les sols évolués.* Ce groupe contient des sols qui dérivent des précédents par acidification. Ils se trouvent sur des pentes faibles où la pédogenèse a permis une évolution plus accentuée. Les sols situés en bas de pente, profonds et argileux, qui ne contiennent que des traces de calcaire, peuvent être rattachés à ce groupe dans la mesure où ils se forment à partir d'un matériau déjà évolué.

Le pH des sols nous est apparu comme un bon critère de distinction (figure 2, figure 3); les sols évolués ont un pH KCl inférieur à 5,8 dans l'horizon supérieur, les sols peu évolués ont un pH KCl supérieur à 6,7. Cinq parcelles seulement présentent un pH intermédiaire : elles ont été classées dans les sols peu évolués par leurs autres caractères, notamment les pH KCl du sous-sol et les pH à l'eau.

L'intérêt de ce classement des sols est illustré par la figure 3. Le pH KCl de l'horizon 0-20 cm et le taux de saturation en potassium (K/CEC) calculé sur les deux horizons représentent respectivement le degré d'évolution des sols et la fertilité potassique :

- en dessous d'un K/CEC de 2 p. 100, la teneur du sol est insuffisante et toutes les vignes observées montrent, quel que soit le type de sol, un rapport K/Mg dans le pétiole inférieur à 2, traduisant une déficience en potassium.

- de même, au dessus d'un K/CEC de 5 p. 100, représentant une teneur très importante et parfois excessive des sols, toutes les vignes sont bien alimentées,

- par contre, entre 2 et 5 p. 100, la plupart des sols évolués portent des vignes bien alimentées, alors que dans les sols peu évolués (pH KCl voisin de 7), toutes les vignes ont une nutrition potassique insuffisante.

La correspondance entre les sols peu évolués et la déficience en potassium des vignes selon l'analyse foliaire est tout à fait remarquable : sur 24 vignes situées en sol peu évolué, avec un rapport K/CEC inférieur à 5 p. 100, aucune ne présente un K/Mg pétiole nettement supérieur à 2 à la véraison.

#### IV — RELATION ENTRE LE POTASSIUM DE L'HORIZON PROFOND ET L'ANALYSE FOLIAIRE.

Nous avons représenté dans la figure 4 le rapport K/Mg dans le pétiole à la véraison en fonction des teneurs en potassium échangeable du sous-sol :

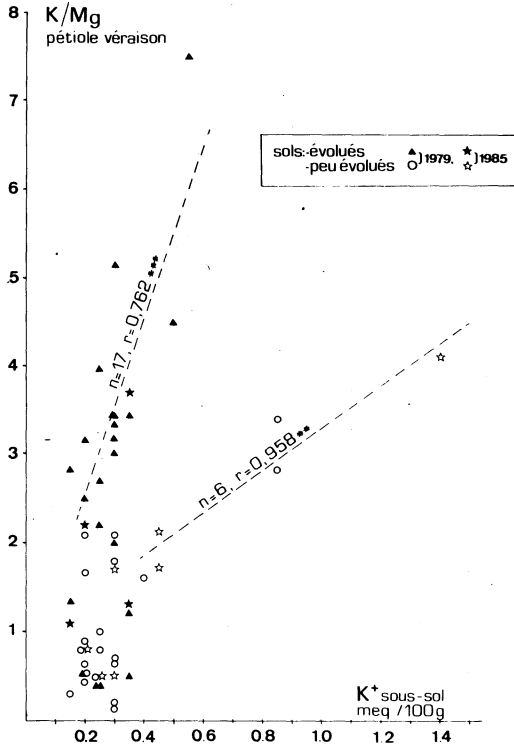


Fig. 4. — Relation entre le rapport K/Mg du pétiole à la véraison et le taux de potassium échangeable du sous-sol (40-60 cm, 52 vignes).

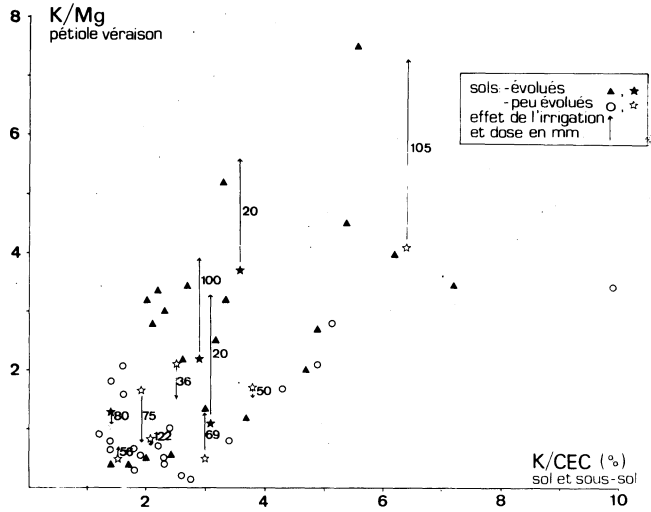


Fig. 5. — Relation entre le rapport K/Mg du pétiole à la véraison et le rapport K/CEC (sol et sous-sol), en situation sèche (52 vignes) ou irriguée (11 vignes).



- pour des valeurs faibles de ces deux paramètres, on observe un nuage de points indifférencié : de faibles variations relatives du  $K^+$  échangeable correspondent à de fortes variations relatives du rapport K/Mg avec une dispersion importante. D'autres facteurs tels que l'enrichissement superficiel en potassium ne sont en effet pas pris en compte.

- dans chaque type de sol, seules les vignes les mieux alimentées présentent une corrélation significative avec les teneurs en potassium échangeable du sous-sol.

Ces régressions indiquent premièrement, une forte liaison entre le potassium des horizons profonds et les rapports K/Mg du pétiole des vignes les mieux alimentées. De plus, elles suggèrent que la disponibilité du potassium des horizons profonds est beaucoup plus faible dans les sols peu évolués que dans les sols évolués. Cette difficulté de l'alimentation potassique en sol peu évolué se retrouve, mais avec moins de netteté, si l'on utilise le rapport K/CEC des deux horizons pour représenter la fertilité potassique (figure 5). En effet, on atténue alors l'importance du sous-sol et l'on obtient une plus grande dispersion des vignes. Les vignes en sol peu évolué restent toutefois à la limite inférieure du nuage des points, conformément aux résultats précédents. Les résultats présentés ici rejoignent finalement, par des méthodes différentes, les conclusions de RAFAHI et ANDRÉ (1976) qui ont étudié, en laboratoire, des sols molassiques du Languedoc de caractéristiques (pH, calcaire total) identiques à celles de nos sols peu évolués. Ces auteurs observent dans les argiles de ces sols, un fort pouvoir de fixation (supérieur à 23 p. 100 du potassium échangeable), plus important en profondeur qu'en surface, augmentant avec le taux de calcaire et l'alternance dessiccation-humectation.

#### V — EFFETS HYDRIQUES.

Dans le contexte d'une fertilisation potassique trop souvent superficielle et en présence de déficits hydriques importants, l'assèchement des sols peut également jouer un rôle dans les déficiences observées, en obligeant la vigne à s'alimenter dans les horizons profonds, pauvres en potassium. On peut alors attendre un effet de l'irrigation sur l'alimentation potassique de la vigne. Les tests réalisés en 1985 sur un petit nombre de parcelles vont dans ce sens (figure 5) :

- lorsque le rapport K/CEC du sol est faible (moins de 2 p. 100 en sol évolué, moins de 4 p. 100 en sol peu évolué), l'irrigation amène peu de variation du rapport K/Mg de la vigne,

- pour un rapport K/CEC du sol plus élevé, l'irrigation augmente le rapport K/Mg du pétiole dès les doses faibles, en sol évolué, à forte dose dans l'unique sol peu évolué qui présentait ces caractéristiques.

L'irrigation n'entraîne pas de diminution de la qualité du raisin : les teneurs en sucre du jus sont même généralement un peu plus élevées.

## CONCLUSION

L'ensemble des données obtenues sur la qualité du raisin, l'analyse foliaire et l'analyse de sol permet de mieux appréhender l'alimentation minérale du Chasselas de Moissac et son influence sur la production.

Parmi les éléments minéraux analysés (N, P, K, Ca, Mg), le potassium est le seul élément qui présente des teneurs foliaires significativement corrélées à l'aspect et à la maturité du Chasselas. Ces teneurs en potassium sont faibles pour une grande partie des vignes étudiées, particulièrement en sol peu évolué. Pour améliorer le diagnostic de l'alimentation potassique du vignoble, il est souhaitable de distinguer d'une part les sols évolués et d'autre part les sols peu évolués nécessitant une fertilisation potassique plus importante.

Quel que soit le type de sol, en année sèche, les rapports K/Mg des vignes les mieux alimentées sont étroitement corrélés aux teneurs en potassium échangeable des horizons profonds. Ceci souligne l'importance de la fumure potassique de fond lors de l'implantation de la vigne : en effet, si elle est insuffisante, les corrections ultérieures seront difficiles. Selon les quelques tests réalisés, l'irrigation peut conduire, en valorisant le potassium des horizons superficiels, à une amélioration sensible de la nutrition potassique du Chasselas. Cette nouvelle possibilité paraît particulièrement intéressante pour les sols peu évolués dans lesquels la nutrition potassique de la vigne est très difficile.

## Remerciements

Nous remercions E. TERRENNE et A. AUBERT, conseillers au Groupement de Vulgarisation Agricole du Chasselas de Moissac pour leur collaboration à cette étude, le Syndicat des Producteurs pour son aide financière ainsi que F. ARBOUCALOT, Ingénieur Agronome, pour le suivi de l'essai de 1985.

Manuscrit reçu le 26 janvier 1988 ; accepté pour publication le 23 mars 1988.

## RÉSUMÉ

L'alimentation potassique et la qualité du Chasselas de table ont été étudiées au cours d'enquêtes réalisées en années sèches dans le vignoble de Moissac, sur les parcelles en production. Les teneurs foliaires en potassium sont corrélées significativement à la qualité (teneur en sucres, aspect) de ce raisin de table. Les faibles niveaux des teneurs foliaires en potassium à la véraison, dans le vignoble, sont expliqués par une fertilisation trop superficielle et par certaines situations pédologiques défavorables à l'alimentation potassique. L'effet de l'irrigation est envisagé dans ce contexte.

## SUMMARY

Leaf concentrations of N, P, K, Ca, Mg, as well as soil characteristics and quality data of Chasselas table grapes grown in farmers vineyards in the Moissac area were studied during dry years. K concentrations in leaves, being rather low were significantly correlated with the sugar concentration in grapes and with their aspect. The range of higher K/Mg ratio in leaves was correlated with the level of exchangeable K in the subsoil (40-60 cm). Superficial potassium application and type of soils were the main causes for K deficiency observed on the vine plants. Potas-

sium availability in these soils (brown earth and calcareous soils differing in CaCO<sub>3</sub> content) was low and K deficiency was observed in cases where the K percentage of CEC was lower than 5 %. In the more weathered soils, K deficiency corresponded generally with K percentage of CEC lower than 2 %. On soils having a higher K percentage of CEC, irrigation improved the potassium nutrition of the vine.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERTONI G., 1980. Influence des Interactions Cationiques sur la Nutrition Minérale et la Qualité du Chasselas de Moissac. *Thèse Docteur Ingénieur*. I.N.P. Toulouse n° 119.
- BERTONI G. et MORARD P., 1982. Blade or petiole analysis as a guide for grape nutrition. *Comm. Soil Sc. Plant. Anal.*, 13, 593-605.
- BERTONI G. et MORARD P., 1984. Appréciation de la qualité du Chasselas de table avant récolte; essai d'interprétation par l'analyse en composante principale. *Connaissance Vigne Vin*, **18**, 3, 165-176.
- CAVAILLÉ A., 1952. Les sols du Bas Quercy et l'extension du vignoble à Chasselas. *Rév. Géog. Pyr. S.O.*, 1, 27-45.
- CHAPMAN H.D. et PRATT P.F., 1961. Soil Analysis. *In Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. Calif. Univ., 1, 35-36.
- COOK J.A., 1966. Grape nutrition. *In Nutrition of Fruit Crops, Tropical Subtropical and Temperate Tree and small Fruits*, New Brunswick, Hort. Publi. Rutgers. 23, 77-812.
- DELAS J., 1979. Place de l'analyse foliaire dans l'élaboration du conseil de fumure en viticulture. Colloque Diagnostic Foliaire INRA, Champenoux, 107-116.
- ÉTOURNEAUD F. et LOUE A., 1986. Le diagnostic pétiolaire de la vigne en relation avec l'interprétation de l'analyse de sol pour le potassium et le magnésium. 3<sup>e</sup> Symp. Inter. sur la Physiologie de la Vigne, Bordeaux, 24-27 juin 1986, O.I.V., 1987, III, 240-246.
- LOUE A., GAGNARD J. et MORARD P. Vigne. *In l'Analyse Végétale dans le contrôle de l'Alimentation des Plantes Tempérées et Tropicales*. MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J., GAUTIER P., Lavoisier, Paris, 1984, 197-233.
- RAFAHI H. et ANDRÉ L., 1976. Propriétés d'échange des sols de terrefort du Lauragais : dynamique des ions ammonium et potassium. *Bull. Soc. Hist. Nat.*, Toulouse, **112**, 3-4, 282-288.
- REVEL J.C., 1982. Formation des sols sur marne, étude d'une chronoséquence et d'une toposéquence complexe dans le terrefort Toulousain. Thèse I.N.P. Toulouse, n° 60.
- TESTANIÈRE D., 1976. Le Vignoble de Moissac, Monographie, Alimentation Minérale du Chasselas. *Mém. Ing.*, E.N.I.T.A. Bordeaux, 82 p.