

**COMMENT RESOUDRE LE MANQUE D'ACIDITE DES VINS PAR
UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DE L'ADEQUATION CEPAGE -
TERROIR : LA NEGRETTE SUR LES TERROIRS DES COTES DU
FRONTONNAIS**

**HOW TO RESOLVE THE LACK ACIDITY IN WINES BY BETTER
UNDERSTANDING OF THE ADEQUATION OF GRAPE VARIETAL -
TERROIR: NEGRETTE GRAPE IN THE *TERROIR* OF COTES DU
FRONTONNAIS**

M. GARCIA ; H. IBRAHIM ; A. CADET

Centre de viticulture et d'œnologie de Midi-Pyrénées
Avenue de l'agrobiopôle, 31 320 Auzeville-Tolosane
05.62.19.39.68 ; garcia@ensat.fr

Mots clé : terroir, acidité des vins, nutrition minérale, Fronton, Négrette

Key words : terroir, wine acidity, mineral nutrition, Fronton, Négrette

RESUME

Le manque d'acidité des vins est un sujet préoccupant dans de nombreux vignobles car l'acidité est un facteur déterminant de la qualité des vins, en liaison avec la nutrition minérale de la vigne.

Dans le but de résoudre ce problème de manière agronomique, une double expérimentation a été mise en place sur la Négrette, cépage principal des Côtes du Frontonnais, qui donne des vins peu acides. Tout d'abord en culture hors-sol nous avons montré que la teneur en potassium de la solution nutritive est corrélée positivement à celle des feuilles, des moûts, ainsi qu'au pH des vins. Par contre, un apport complémentaire de calcium à la solution nutritive diminue la teneur en potassium des limbes, des moûts, et le pH des vins. En plein champ, sur sols acides, pauvres en calcium, nous avons constaté que plus le sol contient du potassium, plus la Négrette l'absorbe, plus on en retrouve dans les moûts et les vins et moins ces derniers sont acides.

En liaison avec ces résultats nous avons déterminé les terroirs de l'A.O.C. Côtes du Frontonnais (vignoble du Sud Ouest de la France) et étudié l'effet d'un amendement calcaire sur l'acidité des vins issus de chacun de ces terroirs. Cette appellation se situe sur de vieilles terrasses alluviales, décalcifiées et de topographie plane. Le climat étant homogène sur toute l'appellation, quatre terroirs ont été identifiés, ils correspondent aux types de sols rencontrés dans cette zone : les graves (très riches en cailloux), les boubènes caillouteuses (riches en cailloux et limons), les boubènes sableuses (riches en sable) et les boubènes blanches (riches en limons). Les résultats montrent que le chaulage entraîne une diminution des teneurs en potassium dans les feuilles, les moûts et les vins (liée à l'antagonisme K-Ca) et une augmentation de l'acidité des vins (liée à la diminution de la précipitation de l'acide tartrique

par le potassium). De plus, le chaulage a un effet variable en fonction des terroirs, et les bouldènes caillouteuses donnent les vins les plus acides.

Cette étude montre que sur sols acides, le chaulage est une bonne alternative pour améliorer l'acidité des vins de Négrette. Elle met en évidence l'importance de la prise en compte de la nutrition minérale du cépage (plus particulièrement la nutrition potassique) et du terroir sur la qualité des vins.

ABSTRACT

The lack of acidity is a matter of concern in many vineyards. Acidity is a determining factor in wine quality and are influenced by the mineral nutrition of the vine.

In order to resolve this problem a double experiment was carried out on Négrette, the principal cultivar in the Côtes du Frontonnais Appellation, that produces wines which are not very acidic. In the hydroponic culture, the level of potassium nutrition in the solution was positively correlated to leave and must potassium content, as well as to wine pH. However, a complementary calcium addition decreased the leave, berry and must potassium contents and the wine pH. In the field trial, on an acid soil with a lack of calcium, evidence was found that a higher potassium content of soils leads to a higher absorption of potassium by Négrette. This increase in potassium absorption can lead to higher potassium content of musts and wines, thereby reducing their acidity.

This study also aimed to determinate the different terroirs of the "Appellation d'Origine Contrôlée Côtes du Frontonnais" which is situated in the South-West of France and to study the effect of liming on the acidity of wines from each terroir. This appellation is situated on ancient alluvial terraces, which is decalcified with its topography levelled off. Four terroirs were differentiating corresponding to typical soils of the appellation: "graves" (gravely stone), stony "bouldènes" (high stone content), sandy "bouldènes" (high sand content) and the white "bouldènes" (high limestone content). The results showed that liming lowers the level of potassium in leaves, musts and wines (linked to the K-Ca antagonism) and leads to an increase in the acidity in wines (related to a decrease in potassium bitartrate precipitation). It was also found that the effect of liming on wine acidity would depend on the terroir, leading to more acid wines from the stony "bouldènes".

This study shows that liming can be used to improve the acidity of Négrette wines on acids soils. It also highlights the importance of mineral nutrition (in particular potassium nutrition) and consequently the importance of terroir on wine quality.

INTRODUCTION

L'acidité joue un rôle important sur la qualité des vins. En effet, les vins manquant d'acidité sont plats et se conservent mal (oxydation rapide surtout si la structure tannique est faible). Actuellement, de nombreux vignobles sont concernés par ce problème : le Bordelais, la Bourgogne, les Côtes du Rhône et les Côtes du Frontonnais (TOURNIER, 1993).

La relation existante entre le potassium et l'acidité des vins est bien connue : SOMERS (1977) observe que le pH élevé des vins est lié à une teneur excessive en potassium du raisin, SMART *et al.* (1985) trouvent une corrélation positive entre la teneur en potassium et le pH des vins, SOYER et MOLOT (1993) montrent qu'une fertilisation potassique excessive entraîne un manque d'acidité des vins.

Afin de résoudre le problème du manque d'acidité de manière agronomique, notre équipe a déjà mené une double expérimentation. Une étude en culture hydroponique (DAVEREDE, 1997 et 2000) a montré que pour le cépage la Négrette (cépage principal des Côtes du Frontonnais), il existe une forte corrélation entre la teneur en potassium de la solution nutritive et celle des pétioles, des limbes, des moûts et des vins, ainsi qu'entre la teneur en potassium et le pH des moûts et des vins. De plus, un apport de calcium dans la solution nutritive entraîne une diminution significative des teneurs en potassium et du pH des moûts et des vins. De même, une étude sur sols acides (GALLEGO, 1999 ; GARCIA, 2000) a montré que plus le sol est riche en potassium, plus la Négrette l'absorbe et moins les moûts et les vins sont acides.

Le but de notre étude été de déterminer les différents terroirs de l'AOC Côtes du Frontonnais et d'étudier l'effet d'un chaulage sur l'acidité des vins issus de chacun d'eux.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal : L'expérimentation a été menée sur la Négrette (*Vitis vinifera L.*) clone 456 greffée sur 3309 C (Riparia tomentueux x Rupestris martin), les vignes sont âgées d'une vingtaine d'années, taillées en guyot simple avec une densité est de 4500 pieds/ha.

Parcelles : Nous avons sélectionné 12 parcelles représentatives de l'aire d'appellation Côtes du Frontonnais. Chaque parcelle est homogène et comprend 100 pieds répartis sur 4 rangs, seul un facteur est variable : le sol.

Analyses des sols : Les échantillons sont prélevés de 0 à 30 cm (sol) et de 30 à 60 cm (sous-sol) et trois prélèvements par échantillon sont effectués. Après séchage, broyage et tamisage à 2 mm (NF X 31-101) les analyses suivantes sont pratiquées : granulométrie (NF X 31-107), carbone (NF X 31-109), azote total (NF X 31-111), phosphore assimilable (méthode Truog), bases échangeables (extraction (NF X 31-108) et dosage par spectrophotométrie de flamme des cations K, Ca et Mg), capacité d'échange totale (NF X 31-130) et pH (NF X 31-103).

Chaulage : L'ensemble des parcelles est chaulé (CaCO_3) de manière à homogénéiser les pH des sols à 6,3 ; l'année suivante seule la moitié de chaque parcelle est chaulée (C) de manière à amener le pH à 6,5, l'autre moitié étant considérée comme témoin (T).

Analyses foliaires : 48 feuilles par parcelle sont prélevées selon la méthodologie proposée par MARTIN-PREVEL *et al.* (1984). Le potassium, le calcium et le magnésium sont dosés par spectrophotométrie de flamme.

Vinification : 50 kg de raisin sont prélevés pour chaque terroir lorsque le titre alcoolimétrique potentiel est d'environ 10,5°. La vendange est éraflée, foulée et mise en cuve. Le moût est sulfité à 3 g de SO_2 etensemencé par *Saccharomyces cerevisiae* (20g/hl). La teneur en sucre des moûts est homogénéisée par ajout de saccharose de manière à ramener tous les vins à 11,5°. La fermentation est conduite à une température constante de 28°C, et deux pigeages journaliers effectués. Après fermentation alcoolique, le vin de goutte est soutiré, puis on ajoute à ce dernier 10 % de vin de presse. La fermentation malo-lactique est conduite sans ensemencement, puis le vin est soutiré, sulfité et placé en chambre froide à 4°C pendant 3 mois et mis en bouteilles.

Analyses des moûts et des vins : mesure du titre alcoolimétrique volumique potentiel des moûts par réfractométrie, mesure du pH par potentiométrie, dosage de l'acidité totale par addition de soude titrée (0,1N) en présence de bleu de bromothymol, dosage du potassium par spectroscopie de flamme, dosage des acides organiques par électrophorèse capillaire (DEDIEU *et al.*, 1991).

RESULTATS ET DISCUSSION

Détermination des terroirs : Tableaux 1 et 2

L'aire d'appellation contrôlée des Côtes du Frontonnais se situe au nord de Toulouse (Sud Ouest de la France) sur les anciennes terrasses alluviales du Tarn (haute, moyenne et basse terrasse) dont la topographie est plane et le climat homogène (GALLEGO, 1999).

L'étude de la texture des sols et des profils pédologiques nous a permis de caractériser quatre types de sols :

- les boubènes sableuses (1, 4 et 7) se caractérisent par un taux important de sables (40 à 45 %), ces sols sont lessivés, hydromorphes (présence de plombs de chasse dès 25 cm de profondeur) et présentent, en l'absence de travail du sol, une croûte de battance.
- les boubènes blanches (6, 8 et 11) se caractérisent par un taux important de limons (45 à 58 %), ces sols sont fortement lessivés, à tendance planosolique et hydromorphes.
- les boubènes caillouteuses (3, 5 et 9) se caractérisent par la prédominance de cailloux (15 à 30 %) et de limons (30 à 44 %), ces sols sont lessivés et hydromorphes (luvi-redoxsol) et présentent un grepp en formation à 50 – 70 cm de profondeur.
- les graves (2, 10 et 12) se caractérisent par un taux très important de cailloux (50 à 77 %), ces sols sont très anciens et sont développés sur des alluvions caillouteuses, tous les éléments minéraux primaires et les galets ont été totalement argilisés, le lessivage des particules fines est si poussé qu'il ne reste que les éléments grossiers avec un peu de matrice résiduelle.

L'étude des profils pédologiques montre que les racines se développent dans les 50 premiers centimètres du sol, seuls les graves permettent un enracinement un peu plus profond car ces sols sont plus légers et aérés. Cependant, il faut signaler un taux important de cailloux qui représentent un obstacle pour la pénétration des racines (ces dernières abondent surtout dans les 40 premiers centimètres). Dans le cas des boubènes blanches, la présence d'un horizon compact à 40 centimètres empêche la croissance verticale des racines. De plus, les boubènes sableuses, blanches et caillouteuses sont des sols hydromorphes et donc saturés en eau au cours des hivers pluvieux. Cet engorgement temporaire du sol peut entraîner des asphyxies radicaires et, au-delà de 50 centimètres, nous observons surtout des racines en voie de décomposition. De plus, les boubènes présentent une réserve hydrique plus importante permettant ainsi une meilleure alimentation en eau des plantes sur ces sols que sur les sols de graves. Nous pouvons en déduire que l'absorption minérale et hydrique de la vigne s'effectue dans les 50 premiers centimètres du sol.

Malgré la dispersion du chimisme que présentent ces sols, ils ont cependant des caractéristiques communes : ils sont décalcifiés et par conséquent leur pH est acide (pH inférieur à 6,3), ils sont désaturés, pauvres en calcium (moins de 7,5 meq/l) mais bien pourvus en potassium, en magnésium et phosphore, leur capacité d'échange total est faible (10 à 27 meq/l). Si nous considérons que les terroirs sont des zones écogéopédologiques homogènes (MORLAT et ASSELIN, 1992) et que l'état nutritionnel de la vigne dépend essentiellement des conditions climatiques et des caractéristiques physico-chimiques des sols (GARCIA *et al.*, 1984), nous pouvons considérer que cette appellation se compose de quatre terroirs viticoles déterminés par le type de sol : boubènes sableuses, boubènes blanches, boubènes caillouteuses et graves.

Effet du chaulage sur les sols :

Afin d'étudier l'effet d'un chaulage, nous avons effectué un apport raisonné de CaCO_3 sur l'ensemble des parcelles afin d'homogénéiser le pH à 6,3 (certaines parcelles ayant des pH trop acides) ; puis un deuxième apport, de manière à amener le pH à 6,5, sur la moitié de chaque parcelle, l'autre moitié étant considérée comme témoin. Les résultats (tableau 2) montrent que cet apport a entraîné une augmentation prévisible des pH (cependant ceux-ci restent encore assez hétérogènes), ainsi qu'une augmentation des teneurs en calcium et une faible diminution des teneurs en potassium et magnésium. De plus, le chaulage a eu un effet plus marqué sur les boubènes caillouteuses que sur les autres types de sols.

Effet du chaulage sur la nutrition minérale : Tableau 3

L'analyse des limbes montre que le chaulage entraîne une diminution des teneurs en potassium et une augmentation des teneurs en calcium, cependant les différences ne sont pas significatives entre les sols témoins et chaulés. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus en culture hydroponique par GARCIA *et al.* (1999) qui observent une diminution de l'absorption du potassium après un apport de calcium dans la solution nutritive (antagonisme K-Ca).

Effet du chaulage sur l'acidité des moûts et des vins : Tableau 4

Le chaulage a entraîné une augmentation de l'acidité totale et des teneurs en acide tartrique et malique des moûts et des vins, et les différences sont significatives entre les parcelles témoins et chaulées pour les teneurs en acide tartrique des moûts. L'effet du chaulage est plus important sur les boubènes sableuses et les boubènes blanches, les plus fortes acidités titrables sont obtenues sur les boubènes caillouteuses. Le pH est plus faible sur l'ensemble des parcelles chaulées et ces résultats confirment ceux obtenus en culture hydroponique par GARCIA *et al.* (1996).

Nutrition potassique et acidité des vins :

GARCIA *et al.* (2001 a) ont montré en culture hydroponique que la Négrette est capable d'absorber de fortes quantités de potassium et que sa capacité de stockage dans les limbes est importante par rapport aux autres cépages (DELAS et POUGET, 1984). De même, en plein champ, cette expérimentation met en évidence que plus le sol contient du potassium, plus la Négrette l'absorbe, plus nous en retrouvons dans les moûts et les vins et plus l'acidité de ces derniers est faible. Il existe donc une corrélation entre le potassium du sol, le potassium des feuilles, le potassium des moûts et le potassium des vins. Le chaulage permet, en jouant sur l'antagonisme K-Ca bien connu chez la vigne, de diminuer les quantités de potassium absorbées par la plante par conséquent d'augmenter l'acidité des vins, résultats en accord avec ceux obtenus en culture hydroponique par GARCIA *et al.* (2001 b) sur le même cépage.

CONCLUSION

Grâce à cette expérimentation nous avons pu identifier les terroirs de l'aire d'Appellation d'Origine Contrôlée des Côtes du Frontonnais. Les conditions climatiques et la topographie étant homogènes sur l'ensemble de cette appellation, les terroirs correspondent ici aux quatre types de sol : les boubènes sableuses, les boubènes blanches, les boubènes caillouteuses et les graves car chaque terroir donnent des vins plus ou moins acides et de qualité différente.

En plein champ, nous avons mis en évidence le rôle majeur joué par le potassium sur l'acidité des vins, en effet plus le sol est riche en cet élément, plus la Négrette l'absorbe, plus nous en retrouvons dans les moûts et les vins et moins ces derniers sont acides. De même, l'apport de chaux permet de diminuer, grâce à l'antagonisme K-Ca, l'absorption du potassium par la plante, ce qui entraîne une diminution des teneurs en potassium des moûts et des vins, et augmente l'acidité de ces derniers. Le chaulage a eu un effet plus marqué sur les boubènes caillouteuses : augmentation du pH du sol plus important, diminution des teneurs en potassium des limbes, des moûts et des vins plus marquée et augmentation des teneurs en acide tartrique, de l'acidité totale des moûts et des vins plus forte. Les vins issus des parcelles chaulées sont plus acides que ceux issus des parcelles témoins et nous pensons que les effets seront encore plus marqués après quelques années d'observation, des travaux complémentaires étant en cours. Le chaulage en liaison avec une fertilisation potassique raisonnée et une bonne connaissance des terroirs sont à notre avis une bonne alternative agronomique pour améliorer l'acidité des vins.

BIBLIOGRAPHIE

DAVEREDE C., GARCIA M. (1997). Influence de différents équilibres cationiques (K-Ca) sur la nutrition potassique de la Négrette *Vitis vinifera* L. greffée sur 101-14. *Agrochimica*, 1 (2), 1-9.

DAVEREDE C., GARCIA M. (2000). Effect of various K-Ca ratios on the lack acidity of musts and wines of *Vitis vinifera* L. cv. Négrette grafted on 101-14 MG and grown hydroponically. *Accepted for Am. J. Enol. Vitic.*

DEDIEU F., NOUAQJE G., PUIG P. (1991). Contribution de l'électrophorèse capillaire à l'analyse des ions de faible poids moléculaire contenu dans les moûts et les vins. *Revue des œnologues*, 72, 7-10.

DELAS J., POUGET R. (1984). Action de la concentration de la solution nutritive sur quelques caractéristiques physiologiques chez *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet sauvignon. II. Composition minérale des organes végétatifs, du moût et du vin. *Agronomie*, 4 (5), 443-450.

GALLEGO P. (1999). Influence des terroirs de l'appellation d'origine contrôlée «Côtes des Frontonnais» sur la nutrition cationique et le manque d'acidité des moûts et des vins de Négrette (*Vitis vinifera* L.) greffée sur 3309 C. *Thèse I.N.P., France*, 189 p.

GARCIA M., DOUX C., DE MONPEZAT G. (1984). Alimentation minérale de la vigne en sol calcaire. Essai d'explication géo-climatique. *Ive Colloque International sur l'optimisation de la nutrition des plantes, Montpellier, France*, 899-906.

GARCIA M., DAVEREDE C., GALLEGRO P., VIGNES D., FAVAREL J.L., DEDIEU F. (1996). Influence de la nutrition potassique sur le manque d'acidité des vins issus du cépage Négrette. *Premier Congrès International sur les terroirs viticoles, Angers, France*, 194-199.

GARCIA M., DAVEREDE C., GALLEGRO P., TOUMI M. (1999). Effect of various potassium-calcium ratios on cation nutrition of grape grown hydroponically. *J. Plant nutrition*, 22 (3), 417-425.

GARCIA M., IBRAHIM H., DAVEREDE C., GALLEGRO P., DEDIEU F. (2000). Effect of cationic nutrition on the acidity of must and wines *Vitis vinifera* L. cv. Négrette. *Xth International Colloquium for the optimisation of plant nutrition, Cairo, Egypt*.

GARCIA M., GALLEGRO P., DAVEREDE C., IBRAHIM H. (2001a). Effect of rootstocks on grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Négrette, grown hydroponically. I : Potassium, calcium and magnesium nutrition. *S. Africa J. Enol. Vitic.*, 22 (2), 101-103.

GARCIA M., IBRAHIM H., GALLEGRO P., PUIG P. (2001b). Effect of rootstocks on grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Négrette, grown hydroponically. II : Acidity of must and wines. *S. Africa J. Enol. Vitic.*, 22 (2), 104-106.

MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J., GAUTIER P. (1984) L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes (tempérées et tropicales). *Tec & Doc Lavoisier, Paris, France*, 810 p.

MORLAT R., ASSELIN C. (1992). L'effet terroir et sa gestion. Application en Val de Loire. *Revue Française des œnologues*, 139, 43-54.

SMART R., ROBINSON J., DUE G., BRIEN C. (1985). Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. II. Effects on must and wine composition. *Vitis*, 119-128

SOMERS T.C. (1977). Rapport entre les teneurs en potasse de la vendange et la qualité relative des vins rouges australiens. *C.R. Symposium International Qualité de la vendange, Cap Town, South Africa*, 143-150.

SOYER J.P., MOLOT C. (1993). Fertilisation potassique et composition des moûts, évolution durant la maturation des raisins. *Progrès Agricole et Viticole*, 110 (8), 174-177.

TOURNIER R. (1993). Acidité : la norme minimale plus difficile à respecter. *Viti*, 33-34.

Tableau 1 : Analyse physico-chimique des sols (0 - 30 cm) des 12 parcelles sélectionnées dans le vignoble des Côtes du Frontonnais

parcelles	1	4	7	6	8	11	3	5	9	2	10	12
terrasse	basse	basse	haute	haute	basse	moy.	haute	haute	moy.	haute	basse	haute
sol	boulbène sableuse			boulbène blanche			boulbène caillouteuse			grave		
cailloux	0	0	0	0	0	0	20	15	30	60	50	77
sables	40	41	45	31	31	25	15	22	24	9	11	6
limons	33	32	30	47	58	45	44	35	30	20	26	12
argiles	22	23	20	16	4	22	15	13	12	8	9	4
pHeau	5,5	6,2	5,4	5,6	6,1	5,4	5,8	5	4,6	6,3	6,1	5,3
C %	0,77	0,69	0,78	0,88	0,64	0,92	1,08	0,72	0,8	1,59	1,21	2,46
N %0	1,1	0,74	0,77	0,71	0,46	0,78	0,88	0,71	0,77	0,85	0,84	1,62
C/N	7	9,3	10,1	12,4	13,9	11,8	12,3	10,1	10,4	18,7	14,4	15,2
P mg/kg	128	84	144	100	116	40	48	70	74	54	96	176
K meq/100g	0,86	0,64	0,64	0,48	0,5	0,64	0,48	0,48	0,29	0,64	0,9	0,8
Ca meq/100g	5	5,62	3,75	4,06	1,52	6,25	5,31	3,12	2,3	7,5	5	4,37
Mg meq/100g	2,47	3,6	1,7	0,87	0,24	2,11	2	1,03	0,9	2,83	1,23	0,62
CET meq/100g	24	27	19	15	14	21	25	14	14	24	11	23

Tableau 2 : Analyse physico-chimique des sous-sols (0 – 60 cm) des 12 parcelles sélectionnées dans le vignoble des Côtes du Frontonnais

parcelles	1	4	7	6	8	11	3	5	9	2	10	12
terrasse	basse	basse	haute	haute	basse	moy.	haute	haute	moy.	haute	basse	haute
Sous-sol	boulbène sableuse			boulbène blanche			boulbène caillouteuse			grave		
cailloux	0	0	0	0	0	0	25	20	60	70	50	85
sables	34	34	33	24	22	25	15	22	9	5	11	5
limons	35	36	34	46	57	34	36	31	23	15	24	7
argiles	31	33	30	22	16	35	18	22	10	7	11	3
pHeau	5,8	5,6	4,7	5,2	5,1	4,8	4,6	4,6	4,8	5,1	5,1	5,5
C %	0,66	0,47	0,53	0,7	0,51	0,55	0,97	0,56	0,57	1,13	0,8	1,34
N %0	0,57	0,53	0,42	0,55	0,35	0,42	0,59	0,41	0,57	0,72	0,62	0,84
C/N	11,6	8,9	12,6	12,7	14,6	13,1	16,4	13,6	10	15,7	12,9	15,9
P mg/kg	10	10	18	14	23	12	16	8	30	26	16	64
K meq/100g	0,37	0,28	0,39	0,32	0,38	0,25	0,19	0,15	0,25	0,32	0,51	0,39
Ca meq/100g	5,5	5,9	5,1	1,9	1,4	4,7	1,8	3,1	2,4	3,4	2,9	2,6
Mg meq/100g	6,21	7,62	2,6	0,51	0,75	3,65	0,96	1,31	0,95	1,6	1,1	0,32
CET meq/100g	26	28	21	16	18	26	28	15	20	25	16	27

Tableau 3 : Evolution des pH et des teneurs en potassium, calcium et magnésium des sols (1 : 1^{ère} année, 2 : 3^{ème} année, T : témoin, C : chaulé)

parcelles	1	4	7	6	8	11	3	5	9	2	10	12	
terrasse	basse	basse	haute	haute	basse	moy.	haute	haute	moy.	haute	basse	haute	
Sol	boulbène sableuse			boulbène blanche			boulbène caillouteuse			grave			
pHeau	1	5,5	6,2	5,4	5,6	6,1	5,4	5,8	5	4,6	6,3	6,1	5,3
	3T	5,8	6,2	5,8	5,7	6,3	6	5,9	5,2	5	6,3	6,3	5,5
	3C	6	6,6	6	5,8	6,6	6,5	6,6	6	6,4	6,7	6,4	6,1
K meq/100g	1	0,86	0,64	0,64	0,48	0,5	0,64	0,48	0,48	0,29	0,64	0,9	0,8
	3T	0,67	0,53	0,4	0,42	0,32	0,68	0,38	0,52	0,44	0,77	0,97	0,84
	3C	0,69	0,52	0,32	0,53	0,37	0,31	0,34	1	0,29	0,5	0,68	1,03
Ca meq/100g	1	5	5,62	3,75	4,06	1,52	6,25	5,31	3,12	2,3	7,5	5	4,37
	3T	8,02	7,49	5,12	5,8	1,54	6,93	8,31	7,42	2,4	6,27	6,8	4,77
	3C	9	10,2	8	6,2	2,4	8,4	9,2	8,2	9,4	8	7	11
Mg meq/100g	1	2,47	3,6	1,7	0,87	0,24	2,11	2	1,03	0,9	2,83	1,23	0,62
	3T	1,96	2,29	1,52	0,78	0,22	1,28	1,85	0,7	0,1	1,54	0,74	0,39
	3C	1,48	2,06	1,42	0,56	0,24	1,4	1,32	0,76	0,23	1,19	0,84	0,35

Tableau 4 : Teneur en potassium, calcium et magnésium des limbes à la véraison (1 : 1^{ère} année, 2 : 3^{ème} année, T : témoin, C : chaulé)

		boulbène sableuse			boulbène blanche			boulbène caillouteuse			grave		
		1	4	7	6	8	11	3	5	9	2	10	12
K % MS	1	1,11	0,95	1,4	1,35	1,47	0,88	1,03	1,32	1,5	1,28	1,62	1,64
	3T	1,77	1,47	1,88	3	3,3	1,31	1,49	3,36	1,95	1,95	3,33	3,44
	3C	1,57	1,43	1,54	1,9	3,05	1,3	1,47	3,03	1,83	1,78	3,17	3,33
Ca % MS	1	3,03	3,01	1,59	1,59	1,47	3,33	1,91	1,6	1,38	1,83	1,73	1,95
	3T	1,97	3,74	1,94	1,59	1,56	3,41	3,37	1,83	1,54	3,04	3,16	3,13
	3C	3,35	3,98	3,03	1,81	1,57	3,48	3,43	1,99	1,58	3,13	3,31	3,33
Mg % MS	1	0,36	0,38	0,3	0,33	0,33	0,38	0,35	0,31	0,37	0,31	0,37	0,36
	3T	0,3	0,33	0,3	0,3	0,18	0,39	0,34	0,17	0,36	0,36	0,34	0,19
	3C	0,33	0,36	0,38	0,18	0,19	0,39	0,4	0,17	0,35	0,36	0,33	0,31

Tableau 5 : Teneur en potassium (g/l), acidité totale (g H2SO4), pH, acide malique et acide tartrique (g/l) des moûts et des vins après fermentation malo-lactique issus des quatre terroirs (moyenne) témoins et chaulés

	boulbène sableuse		Boulbène blanche		boulbène caillouteuse		grave	
	témoin	chaulé	témoin	chaulé	témoin	chaulé	témoin	chaulé
K moûts	3,41 *	3,13 *	3,43 *	3,07 *	3,65 *	3,05 *	3,45 *	3,09 *
K vins	3,03 *	1,93 *	3,03 *	1,85 *	3,30 *	1,91 *	3,46 *	2,16 *
AT moûts	4,43 °	4,75 °	4,78 °	5,11 °	4,90 °	5,48 °	5,04 °	5,34 °
AT vins	3,07 °	3,90 °	3,19 °	3,38 °	3,19 °	3,41 °	3,21 °	3,41 °
pH moûts	3,39 °	3,37 °	3,44 °	3,40 °	3,43 °	3,38 °	3,34 °	3,31 °
pH vins	3,98 °	3,86 °	3,99 °	3,86 °	4,01 °	3,80 °	4,07 °	3,89 °
Ac. Mal. moûts	6,93 °	9,03 °	7,71 b°	9,07 °	7,33 b°	9,73 °	7,33 b°	9,35 °
Ac. Tart. moûts	4,03 *	4,53 *	4,16 *	4,45 *	4,08 *	4,69 *	4,10 *	4,48 *
Ac. Tart. vins	0,86 *	0,91 *	1,04 *	1,27 b*	1,01 *	1,45 *	0,93 *	1,17 *

° Les différences entre les sols témoins et chaulés ne sont pas significatives au seuil $\alpha = 5\%$

* Les différences entre les sols témoins et chaulés sont significatives au seuil $\alpha = 5\%$