

Complémentarité des mesures de résistivité électrique des sols et du $\Delta C13$ du moût dans l'étude et la valorisation des terroirs viticoles

Complementarity of measurements of electric resistivity of soils and $\Delta C13$ of must in studies and valorization of wine terroirs

Guillaume DESCHEPPER¹, Xavier CASSASSOLLES², Michel DABAS² and David PERNET*¹

1: SOVIVINS, Centre Montesquieu, Allée Jean Rostand, 33650 Martillac, France

2: GEOCARTA, 16 rue du Sentier, 75002 Paris, France, x.cassassolles@geocarta.net

*Corresponding author: dpernet@sovivins.com

Abstract: The correlations between vine water deficit cumulated over the ripening period of grapes, assessed by $\Delta C13$ in must sugar, and the main analytic variables of grapes are significant. As a result $\Delta C13$ is a useful tool in zoning homogeneous areas according to their technological qualities when harvesting. There is no significant correlation between $\Delta C13$ in must sugar and soil electric resistivity in the same zone. Thus it is impossible to combine a few measurements of $\Delta C13$ and a zoning of electric resistivity to distinguish areas of which the aptitudes are different. In the event of little water deficit ($\Delta C13 < -25,5\%$), a pedological study based on zoning by means of electric resistivity is a complementary tool of zoning according to water uptake conditions, since harvest quality varies a lot with the texture of the sub-soil and its geophysic behaviour.

Key words: geophysics, electric resistivity, $\Delta C13$, water deficit, zoning, soil, terroir

Introduction

La résistivité (ρ) d'un sol représente sa capacité à limiter le passage d'un courant électrique. Elle s'exprime en ohm.m ($\Omega.m$). Cette faculté est étroitement liée à la texture, la teneur en eau, la teneur en $CaCO_3$, la pierrosité, la profondeur et le type de substrat géologique. La cartographie de la résistivité électrique des sols met en évidence la variabilité spatiale de leurs caractéristiques intrinsèques pérennes.

Les isotopes stables du carbone ^{13}C et ^{12}C sont discriminés par la photosynthèse (FARQUHAR *et al.*, 1980). Le ^{12}C est assimilé préférentiellement, mais toute contrainte hydrique entraîne l'augmentation de la résistance stomatique à l'origine d'une moindre discrimination isotopique et par conséquent une consommation accrue du ^{13}C (GAUDILLERE *et al.*, 1999, 2002). Le rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$ mesuré sur les sucres du moût à maturité est donc un indicateur de la contrainte hydrique cumulée sur la période de maturation (VAN LEEUWEN *et al.*, 2001).

Ce travail souligne dans un premier temps la relation entre la résistivité électrique du sol et le $\Delta C13$ du moût. Dans un deuxième temps, la relation entre les variables classiques de maturité et la contrainte hydrique cumulée évaluée par le $\Delta C13$ est abordée. La contribution de la géophysique dans l'explication des relations établies est par ailleurs soulignée.

Enfin, la possibilité d'utiliser le $\Delta C13$ pour le zonage des aptitudes viticoles, soulignée dans la deuxième partie, a donné lieu à une procédure de validation précoce du $\Delta C13$, quinze jours après véraison, afin de faciliter la mise en place de découpages parcellaires en période de vendanges. Ce point fait l'objet d'une troisième partie.

Matériel et méthodes

Étude de la relation $\rho/\Delta C13$

Au cours des millésimes 2004 et 2005, la résistivité des sols et le $\Delta C13$ ont été mesurés dans trois propriétés du Médoc. La résistivité électrique du sol est évaluée à l'aide du dispositif multi-électrodes mobile ARP de GEOCARTA. La résistivité électrique est mesurée à trois profondeurs de prospection, approximativement

égales à l'écartement de dipôles embarqués (0,80 m, 1,20 m et 2,20 m). L'espace entre les mesures est proche de 20 cm, avec une vitesse moyenne d'acquisition de 4,4 km/h. Le géoréférencement est assuré par un GPS John Deere Starfire avec abonnement aux corrections différentielles.

Le rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ est mesuré sur les sucres du moût à maturité. 50 baies (10 par souche) sont prélevées sur des placettes de cinq souches géoréférencées. Les baies sont pressées à l'aide d'un homogénéiseur Masticator Silver (IUL), à raison de huit battements/s pendant 30 s. Chaque échantillon est oxydé à l'aide d'oxygène pur et le contenu isotopique du carbone est déterminé à l'aide d'un spectromètre de masse à flux continu. Les résultats sont exprimés en ‰ par rapport au standard Pee Dee Belemite (FARQUHAR *et al.*, 1989).

$$\Delta\text{C13} = 1000 \times \frac{R_s - R_b}{R_b}$$

où R_s et R_b quantifient respectivement le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans l'échantillon et dans le standard PDB.

Étude de la relation entre le ΔC13 du moût et quelques paramètres analytiques de la vendange

Cette relation a été étudiée sur des raisins récoltés le 12 septembre 2005 sur onze parcelles de référence d'une propriété du Médoc. Ont été mesurés : le poids de 200 baies, la teneur en sucres réducteurs, l'acidité totale, la teneur en acide malique, la richesse en anthocyanes à pH=1 et l'azote assimilable. Sur ces placettes géoréférencées, le ΔC13 du moût a par ailleurs été mesuré selon les mêmes modalités que précédemment.

Un suivi dynamique de la contrainte hydrique a également été réalisé par mesure du potentiel tige (Ψ_t) à trois dates : le 21/6, le 21/7 et le 18/8.

Afin de s'affranchir de l'effet cépage, les corrélations ont été établies séparément sur les Cabernets-Sauvignons et les Merlots. De ce fait, le nombre de parcelles prises en compte est un peu faible (six pour les Cabernets-Sauvignons, cinq pour les Merlots).

Protocole de validation du ΔC13 , 15 j après véraison

Jusqu'en 2003, le ΔC13 n'avait été validé comme indicateur hydrique qu'à partir d'un prélèvement de moût à l'approche des vendanges. Néanmoins, ce protocole ne permet pas de disposer des résultats d'analyse pour les vendanges du millésime en cours. En 2004, un protocole de validation du ΔC13 plus tôt dans la saison a été mis en place sur un réseau de 45 souches au sein de quatre propriétés du Médoc et des Graves. Une mesure a donc été effectuée sur ces souches à deux dates : 15 j après la véraison et à maturité.

Résultats

Étude de la relation $\rho/\Delta\text{C13}$

Dans un premier temps, tous les points, où la résistivité électrique et le ΔC13 avaient été mesurés, ont été considérés. La relation ainsi obtenue entre les deux variables est lâche ($r^2=0,26$; figure 1a). Étant donnée la variabilité de comportement de la vigne sur les argiles selon leur type et leur profondeur d'apparition, les mesures de résistivité les plus faibles ont été écartées au seuil de 100 $\Omega\cdot\text{m}$ afin d'étudier spécifiquement la relation entre les deux variables sur les gammes de résistivités supérieures et inférieures à ce seuil. Les relations obtenues ne sont pas plus solides ($r^2=0,04$ pour $\rho < 100\Omega\cdot\text{m}$; figure 1b et $r^2=0,18$ pour

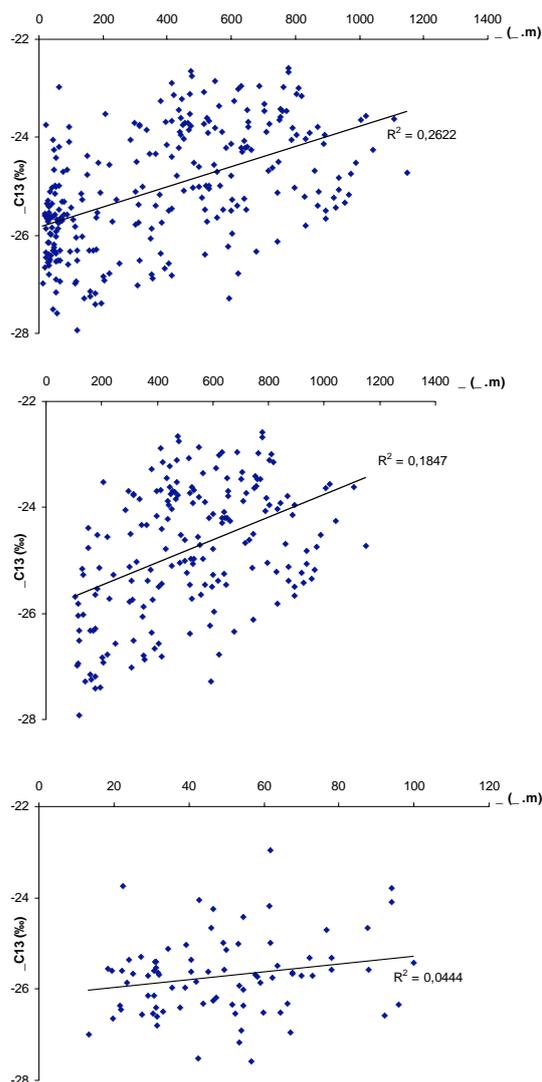


Figure 1 - Corrélation entre ρ et ΔC13 pour ρ quelconque (a), pour $\rho > 100\Omega\cdot\text{m}$ (b) et pour $\rho < 100\Omega\cdot\text{m}$

$\rho > 100\Omega.m$; figure 1c). Il n'y a donc aucune relation entre la résistivité électrique d'un sol et le $\Delta C13$ du moût extrait des raisins parvenus à maturité sur ce sol, quelle que soit la gamme de résistivités étudiée.

Étude de la relation entre le $\Delta C13$ du moût et quelques paramètres analytiques de la vendange (tableau 1)

Poids des baies. La relation obtenue sur le Cabernet-Sauvignon est mauvaise ($r^2=0,15$) en raison d'une placette présentant un poids de baies important (299 g pour 200 baies) malgré une contrainte hydrique élevée ($\Delta C13=-22,7\%$). L'alimentation azotée ne permet pas d'expliquer ce comportement ($N_{\text{assimilable}}=101 \text{ mg/L}$) et un matériel végétal peu qualitatif est suspecté. La corrélation, très affaiblie par cette mesure en raison de la taille réduite de l'échantillon, est nettement meilleure si l'on ne prend pas en compte cette parcelle ($r^2=0,70$). Sur le Merlot, la corrélation est significative ($r^2=0,51$) et devient excellente ($r^2=0,96$) si l'on écarte une placette où la contrainte hydrique, très faible avant véraison, devient très forte en cours de maturation (Ψ passant de -6,9 à -17 bars entre le 21/6 et le 18/8). Ce type de comportement hydrique occasionne des contraintes cumulées fortes, mais avec un effet réduit sur le poids des baies, d'autant que la fourniture azotée est pléthorique ($N_{\text{assimilable}}=216\text{mg/L}$).

Tableau 1 - Corrélation entre $\Delta C13$ et quelques paramètres d'analyse de la vendange

Paramètre	Type de relation	Cépage	r^2
Poids de 200 baies	Linéaire	CS ¹	0,15
		M ²	0,51
Sucres réducteurs	Polynomiale, degré 2	CS	0,88
		M	0,79
Acidité totale	Linéaire	CS	0,93
		M	0,89
Acide malique	Linéaire	CS	0,43
		M	0,85
Anthocyanes totales	Linéaire	CS	0,15
		M	0,84

¹: CS =cabernet sauvignon – ²: M=merlot

Teneur en sucres réducteurs. La relation obtenue, polynomiale de degré 2, est très solide sur les deux cépages ($r^2 = 0,88$ et $0,79$ respectivement sur Cabernet-Sauvignon et Merlot). La teneur en sucres maximum est obtenue pour $-24 < \Delta C13 (\%) < -23$. Lorsque $\Delta C13 < -24\%$, les sucres sont dilués dans les organes verts demeurant en croissance et lorsque $\Delta C13 > -23\%$, la conductance stomatique et par suite, l'activité photosynthétique, diminuent.

Acidité totale (AT). Les corrélations obtenues sont excellentes, traduisant une baisse d'AT avec l'augmentation de la contrainte hydrique ($r^2 = 0,93$ et $0,89$ respectivement sur Cabernet-Sauvignon et Merlot). Cette baisse est d'autant plus substantielle pour le Merlot (la pente est de $-0,24 \text{ g H}_2\text{SO}_4/\text{L}$ contre $-0,18 \text{ g H}_2\text{SO}_4/\text{L}$ pour le Cabernet-Sauvignon) ce qui renforce la justification de l'emploi du Cabernet-Sauvignon sur les terroirs les plus séchant, où le potentiel œnologique pourrait être pénalisé par une acidité trop faible.

Acide malique. La corrélation est très significative sur le Merlot ($r^2=0,85$). Elle est affaiblie sur le Cabernet-Sauvignon ($r^2 = 0,43$) par une parcelle où la disponibilité azotée très faible limite la synthèse d'acide malique, malgré un régime hydrique peu contraignant ($N_{\text{assimilable}}=64 \text{ mg/L}$, $\Delta C13=-25,6\%$).

Anthocyanes totales. L'augmentation du potentiel en anthocyanes en relation avec le renforcement de la contrainte hydrique est très significatif sur le Merlot ($r^2=0,84$). En revanche, dans le cadre de cette étude, cette relation est affaiblie sur Cabernet-Sauvignon par la mesure réalisée sur une placette située au sein d'une parcelle au sous-sol très argileux. L'argile semble permettre d'obtenir, d'une manière relativement indépendante de la contrainte hydrique qu'elle engendre, un contenu phénolique et notamment anthocyanique important. La contribution de la géophysique, pour révéler des zones intraparcellaires au comportement qualitatif bien que peu contraintes en terme d'alimentation hydrique, est dès lors indéniable.

Protocole de validation du $\Delta C13$ 15 j après véraison

À l'échelle du réseau mis en place, on observe une excellente relation entre les mesures aux deux dates ($r^2 = 0,94$; figure 2). Cette relation permet de valider le $\Delta C13$ 15 jours après véraison sur des raisins présentant un degré alcoolique potentiel supérieur à 10. Cette observation permet d'avancer que le $\Delta C13$ n'intègre pas seulement le statut hydrique de la vigne, entre véraison et maturité, mais sur une période plus longue commençant dès la synthèse des acides organiques des raisins. Une partie du carbone présent dans la

baie à la véraison a déjà été discriminée avant la véraison et pour partie réintégrée dans la synthèse des sucres. L'utilisation du $\Delta C13$ en vue de regroupements homogènes de vendange est par conséquent facilitée par la possibilité de mise en œuvre de cet indicateur à un stade plus précoce que jusqu'à présent.

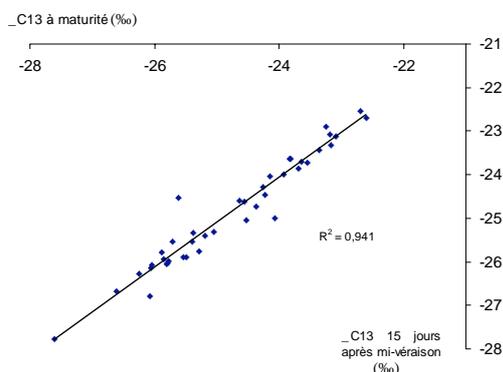


Figure 2 - Corrélation entre $\Delta C13$, 15 j après véraison et $\Delta C13$ à maturité.

Discussion

Les corrélations obtenues entre la contrainte hydrique mesurée par $\Delta C13$ et les paramètres d'analyse de la vendange confirment les résultats de TRÉGOAT (2003). Au vu de ces relations, la cartographie pérenne de l'alimentation hydrique d'un vignoble est un outil puissant dans l'optique de regroupements homogènes de vendange. La validation, dans le cadre de ce travail, du $\Delta C13$, 15 j après véraison, comme indicateur de la contrainte hydrique cumulée, facilite grandement cette utilisation dès le millésime au cours duquel la cartographie est entreprise.

La mauvaise corrélation entre géophysique et contrainte hydrique cumulée ne permet pas de ne réaliser qu'une mesure de $\Delta C13$ par zone présentant un comportement géophysique homogène et d'extrapoler ainsi le comportement hydrique localement quantifié.

Au sein des zones au régime hydrique peu limitant, il convient de distinguer les zones sur argiles des zones à texture plus grossière, afin de valoriser le contenu phénolique des raisins issus de zones argileuses. Une étude pédologique précédée ou suivie d'un zonage de la résistivité électrique permet cette affectation différentielle des raisins dans des cuves aux potentialités variables. Sur les zones modérément séchantes à très séchantes, les contraintes hydriques permettent dans tous les cas d'obtenir une constitution phénolique favorable indépendamment du type de texture. Un exemple d'utilisation conjointe du $\Delta C13$ et de la résistivité électrique à des fins de découpages intraparcellaires pour les vendanges est proposé (figure 3).

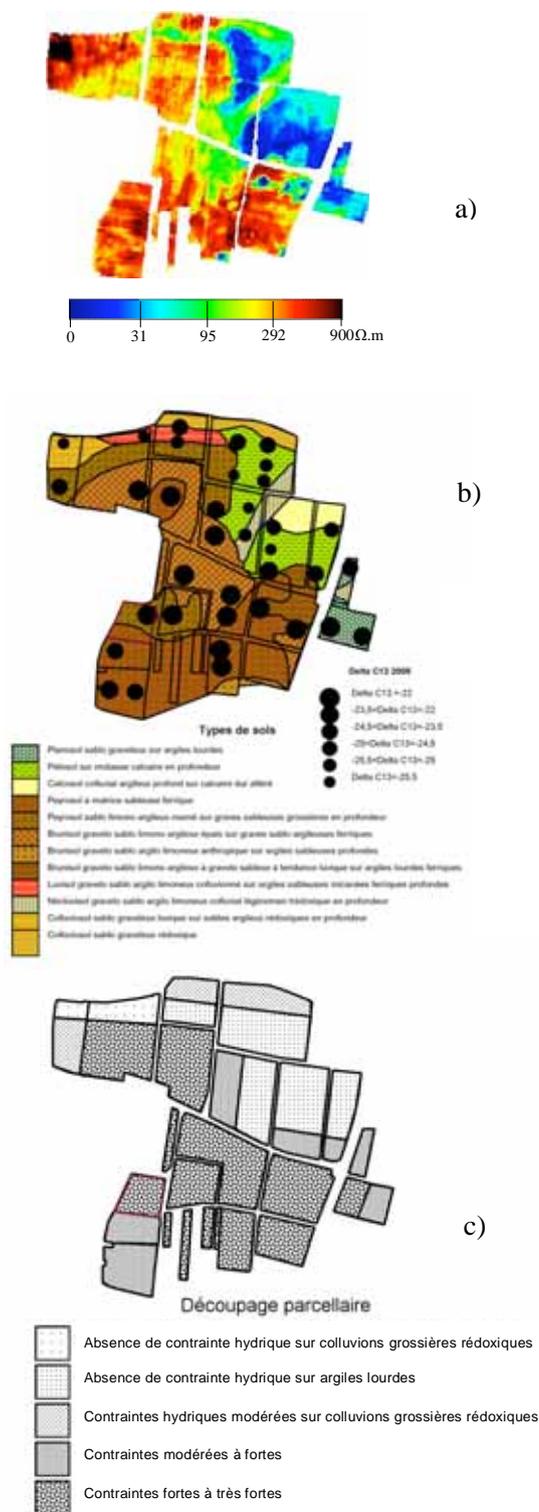


Figure 3 - Zonage de résistivité (a), pédologie de l'ilot d'étude et $\Delta C13$ à maturité 2005 (b) et découpage parcellaire issu du croisement de ces données (c)

Conclusion

Ce travail souligne l'apport de l'utilisation conjointe de la géophysique et de l'évaluation du déficit hydrique physiologique par le $\Delta C13$, dans la valorisation de terroirs viticoles aux aptitudes variables.

Le zonage de ces indicateurs est également utilisé en pratique dans le raisonnement des modalités d'entretien des sols et des systèmes de conduites afin d'optimiser la consommation d'eau et, par suite, la qualité de la vendange.

Quelques mesures effectuées à l'occasion d'études de terroir et présentées ici confirment l'obtention récurrente de vins à la forte constitution phénolique sur des sols argileux.

Une étude à plus grande échelle permettant la mise en œuvre d'outils statistiques multidimensionnels sera menée en 2006 afin de mieux quantifier la part d'explication apportée par la résistivité et la texture des sols dans la constitution, notamment phénolique, de la vendange.

Quelques résultats du présent travail rappellent enfin l'importance du statut azoté et de la dynamique de la contrainte hydrique suivie par potentiel tige, au-delà de sa valeur cumulée sur la maturation et quantifiée par le $\Delta C13$, dans le conditionnement de certains paramètres œnologiques qualitatifs.

Références bibliographiques

FARQUHAR G., VON-CAEMERER S. et BERRY J., 1980. A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C3 species. *Planta*, **149**, 78-90.

FARQUHAR G., EHLERINGER J. et HIBICK K., 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **40**, 503-537.

GAUDILLÈRE J.-P., VAN LEEUWEN C., OLLAT N., GOUTOULY F. et CHAMPAGNOL F., 1999. $^{13}C/^{12}C$ discrimination measured in tartrate and sugars in mature grapevine berries. *Acta Hort.*, **493**, 63-68.

GAUDILLÈRE J.-P., VAN LEEUWEN C., OLLAT N., 2002. Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *J. Exp. Bot.* **53**, n°369, 757-763.

TRÉGOAT, 2003. Caractérisation du régime hydrique et du statut azoté de la vigne par des indicateurs physiologiques dans une étude de terroir au sein de huit grands crus de Bordeaux. Influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin. *DERUB*, Université Bordeaux II.

VAN LEEUWEN C., GAUDILLÈRE J.-P. et TRÉGOAT O., 2003. L'évaluation du régime hydrique de la vigne à partir du rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$. L'intérêt de sa mesure sur les sucres du moût à maturité. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **35**, 4, 195-205.