

CARTOGRAPHIE PAR CONDUCTIVITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET ZONAGE DES VENDANGES : DÉCRYPTAGE DES RAPPORTS ENTRE LE SOL ET LA QUALITÉ DU VIN

Ernest BEASLEY IV, MS, CPG¹, Benoit PINEAU², Lucie MORTON³

¹HydroGeo Environmental, LLC, 418 East Main Street, Charlottesville, Virginia 22902

²Pollak Vineyards, 330 Newtown Road, Greenwood, Virginia 22943

³Vitipiont International Research Centre, PO Box 5607, Charlottesville, Virginia 22905

*Auteur principal : Beasley. Courriel : ebeasley@HydroGeoEnvironmental.com

Introduction

Les recherches antérieures indiquent que les levés géophysiques pourraient augmenter la rentabilité des vignobles et améliorer la qualité du vin puisqu'ils permettent de concevoir des pratiques de gestion des vignobles visant à tirer le meilleur parti des variations de sol à petite échelle propres au site de culture (Priori 2012, Tisseyre 2005). On a également avancé que la géophysique pourrait servir d'outil utile pour la prospection et la sélection de sites (Andre et al. 2012, Hubbard et al. 2004). De nombreux viticulteurs ont connu une perte au niveau de la quantité et/ou de la qualité des fruits en raison d'une variabilité des sols jusque-là non détectée, et ont exprimé le besoin général de nouvelles techniques de cartographie pédologique et géologique qui puissent offrir une couverture complète (Beasley 2014).

On sait depuis longtemps que les propriétés du sol affectent la qualité du vin et de nombreuses publications ont tenté de faire la lumière sur cette dynamique complexe (par exemple, White 2003, Wilson 1998). Une étude récente menée en Virginie a montré des corrélations entre le potassium du sol et le pH des fruits (un paramètre important de la qualité du vin affecté par le potassium des fruits) sur des sites uniques, avec d'autres variables viticoles et environnementales confondantes contrôlées (Beasley, Morton, et Ambers 2015).

Le potassium dans les fruits joue un rôle essentiel dans le pH du moût et du vin (Keller 2010). On sait que le pH a une influence majeure sur un certain nombre de facteurs de qualité du vin, notamment la couleur, l'équilibre acide et la stabilité microbiologique (Zoecklein et al. 1990). La disponibilité du potassium dans le sol peut varier considérablement et des carences peuvent apparaître. Toutefois, en Virginie, l'excès de potassium dans les raisins de cuve est beaucoup plus fréquent que la carence en cet élément (Wolf 2007). Les analyses de laboratoire mènent souvent les producteurs à croire que les niveaux de potassium dans leurs sols sont faibles, alors que l'analyse pétiolaire du même endroit montre souvent des niveaux élevés de potassium dans le tissu végétal. Historiquement, cela a conduit à des ajouts inutiles de potassium à de nombreux vignobles de la région Mid-Atlantic et a récemment mis sous les feux des projecteurs la nutrition en potassium dans le secteur du vin commercial de cette région.

Ce travail intègre la cartographie EM et la technologie SIG, la géologie de terrain et la vinification expérimentale pour étudier le rapport sol-vigne dans un seul bloc de vigne.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site de recherche

Le bloc d'étude (figure 1) est situé dans le vignoble Pollak Vineyards, situé au pied d'un gisement de l'âge du Pléistocène inférieur au Pliocène supérieur (Morgan et al. 2003) dans l'ouest du comté d'Albemarle, zone viticole américaine de Monticello (AVA), Virginie, États-Unis. La cartographie des sols du Natural Resources Conservation Service (ou NRCS) montre un Dyke de loam limoneux, un ultisol formé principalement de colluvions de roches vertes. La classe taxonomique du Dyke est Rhodudults Typiques fins, mixtes, semi-actifs et mésiques (NRCS 2006).

Une plantation de 0,80 hectare de Cabernet Franc (située dans un bloc plus grand d'une surface de 4,05 hectares) a été choisie pour ce travail, car elle est composée entièrement de clones de FPS 04 sur des porte-greffes 101-14 plantés en 2003. Des pratiques de gestion du vignoble homogènes ont été utilisées sur l'ensemble du bloc (conduite en cordons bilatéraux et espacement entre les vignes de 3,05 x 2,13 m, ce qui équivaut à 1 537 pieds / hectare). Cette étude montre des différences mesurables dans les paramètres de qualité des fruits et du vin en raison de la variabilité du sol dans un bloc de vigne géré de façon homogène.

Cartographie par conductivité électromagnétique

Les données géophysiques de ce travail ont été recueillies au moyen du conductimètre de sol EM38-MK2 de Geonics (EM38), qui utilise l'induction électromagnétique (EM ou EMI) pour mesurer à la fois la conductivité électrique (CE) et la susceptibilité magnétique des matériaux souterrains. L'EMI permet à l'utilisateur d'explorer rapidement de grandes zones, sans aucune exigence de contact sol-instrument. L'EM38 est composé d'émetteurs électromagnétiques coplanaires montés sur une flèche et de bobines de réception placées à une certaine distance. Un courant appliqué à la bobine émettrice produit un champ magnétique variant dans le temps, qui induit de faibles courants secondaires dans la terre. Ces courants génèrent un champ magnétique secondaire, qui est détecté avec le champ primaire par la bobine réceptrice, fournissant des indications sur les propriétés du sous-sol. L'EM38 et les instruments de mesure similaires sont conçus pour des applications relativement peu profondes, en particulier dans la zone racinaire des terrains agricoles. Le fabricant indique que l'instrument a une profondeur de pénétration de 1,5 mètre lorsqu'il est utilisé en mode dipôle vertical avec un espacement de bobine d'un mètre. (McNeil 1980)

Pour ce travail, les données de sondage ont été recueillies sous forme de lignes de transect individuelles, et stockées dans un enregistreur de données numériques relié à l'instrument. Les coordonnées GPS étaient constamment diffusées à partir d'une antenne GPS différentielle, portée sur le dos du travailleur de terrain, tout au long des relevés. L'instrument a été maintenu à une hauteur constante d'environ 8 cm au-dessus de la surface du sol et a été transporté à un rythme régulier le long de chaque ligne de levé. Les données EM ont été maillées via Kriging puis filtrées, profilées et traitées pour créer des cartes en utilisant Surfer 12 de Golden Software et Global Mapper de Blue Marble Geographics.



Figure 1 : Le bloc d'étude consiste en un bloc de Cabernet Franc d'environ 0,81 hectare, les clones, porte-greffes, âge des vignes et pratiques viticoles étant homogènes.

Évaluation du profil du sol et conductivité hydraulique saturée

Les essais de puits ont facilité l'évaluation sur le terrain des profils de sol. Des méthodes de terrain de l'United States Department of Agriculture-Natural Resource Conservation Service (USDA-NRCS) ont été employées (Schoenberger et al. 2002) et des notes détaillées, ainsi que des photographies, ont été prises. Des échantillons ont été prélevés à des profondeurs distinctes (sélectionnées sur le terrain en fonction de la configuration de l'horizon du sol et de l'emplacement de la zone racinaire) pour analyse chimique par un laboratoire privé.

Nous avons effectué des tests de conductivité hydraulique saturée (K_{sats}) à différentes profondeurs aux emplacements cartographiés dans chaque zone afin d'évaluer les corrélations entre le drainage et les données géophysiques. Les K_{sats} ont été réalisés en utilisant le perméamètre Johnson, un perméamètre à charge constante permettant de déterminer la conductivité hydraulique des matériaux en terre.

Paramètres viticoles

Les mesures des poids de taille, des poids moyens des baies et du rendement total ont été effectuées sur place avec les propres balances de Pollak Vineyards. Nous avons effectué des échantillonnages composites de pétioles et de baies pour des analyses chimiques en laboratoire afin de caractériser la teneur en nutriments des vignes et la chimie des fruits. Les pétioles ont été recueillies à la véraison pour tenter de définir la teneur en potassium des vignes. Pour assurer la cohérence, tous les échantillons de pétioles et de fruits dans ce travail ont été analysés par le même laboratoire privé agréé.

Chimie du vin, pH/Brix de la récolte

La chimie du vin a été analysée par un laboratoire privé agréé spécialisé en œnologie. Pour des raisons de cohérence, tous les échantillons de vin analysés dans cette étude ont été présentés au même laboratoire tous les ans. Les paramètres de maturité des fruits (sucre et pH) ont été mesurés sur place, à l'aide d'un réfractomètre et d'un pH-mètre appartenant à Pollak Vineyards.

Récolte différentielle et vinification expérimentale

Une récolte différentielle a été effectuée pour les cuvées 2013, 2014 et 2015, où les fruits de deux zones distinctes de 0,3 hectare dans le bloc d'étude ont été récoltés séparément. Chaque année, les fruits des deux zones de contribution ont été vinifiés séparément dans des bacs en T (bacs isothermes destinés à la fermentation d'une capacité de 0,82 tonne chacun). Après égrappage et macération à froid de trois jours, les bacs en T ont été inoculés avec de la levure. Les éventuels ajouts ou traitements œnologiques requis lors de la vinification (ex : addition de soufre, acide tartrique, gestion des bouchons, moment de la presse) étaient identiques pour chaque lot et des registres détaillés ont été tenus tout au long du processus. Chaque année, les vins expérimentaux ont été élevés en fûts de chêne français identiques provenant de la même tonnellerie pendant cinq mois avant la mise en bouteille.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Des douzaines de levés électromagnétiques réalisés au cours de trois ans et le long d'une grande variété de conditions de terrain saisonnières ont montré des ensembles de données de conductivité du sol reproductibles sur le site d'étude. Il convient de noter que si les systèmes de palissage sont considérés comme sources de bruit électromagnétique, amplifiant les lectures de conductivité EM au point que la technique ne peut plus cartographier efficacement la variabilité du sol (Beasley 2014, Lamb 2009), la présence de fils métalliques dans leur configuration actuelle ne semble pas affecter l'intégrité des données EM sur notre site. Le système de palissage de notre bloc d'étude est constitué de poteaux de bois espacés de 3,05 m et d'un fil métallique fixé à 121,9 cm au-dessus du sol.

Deux zones de sol distinctes, désignées ici comme « à haute conductivité » (HC) et « à faible conductivité » (LC), ont été identifiées par cartographie EM et un essai de puits datant d'octobre 2015 a confirmé des différences importantes au niveau des caractéristiques du sol.

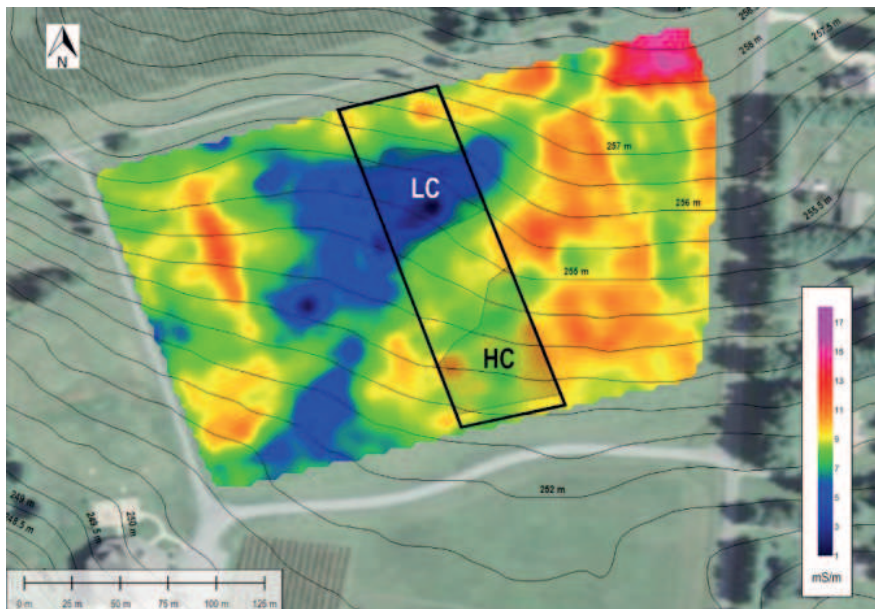


Figure 2 : Carte de conductivité électromagnétique montrant la variabilité du sol dans la zone d'étude. Les deux zones de récolte (classées LC et HC) se distinguent sur le terrain par des différences dans les propriétés du sol qui sont corrélées à la CE du sol.

Propriétés physiques du sol de la zone HC

Le sol HC est composé de terre végétale argileuse limoneuse (15 cm de profondeur) sur un sous-sol argileux et qui repose sur un relief convexe. Des signes mineurs de compactage (structure en plaques) ont été observés dans les 15 cm supérieurs du profil. La zone racinaire s'étend jusqu'à environ 45,7 cm sous la surface du sol (bgs), où le sommet d'un calcin a été observé. Un changement brusque correspondant du pH du sol a été noté à la limite supérieure du calcin, indiquant un manque de mobilité vers le bas des matériaux de chaulage traditionnellement appliqués à cause du calcin.

Propriétés physiques du sol de la zone LC

Le sol LC est composé de terre végétale de loam limoneux (29 cm de profondeur) sur un sous-sol loam limono-argileux et repose sur un relief convexe. D'abondants graviers subangulaires de roches vertes ont été observés dans tout le profil. La zone racinaire s'étend jusqu'à environ 106,7 cm bgs, où un calcin a été observé. Des caractéristiques redoximorphiques (accumulation et épuisement de fer) ont été observées entre 106,7 cm et le fond du puit (137 cm) et 5 cm d'eau stagnante ont été trouvés au fond du puit de la rétrocaveuse.

Ksats

Des tests de conductivité hydraulique saturée à des profondeurs distinctes dans les deux zones de sol ont montré des taux d'infiltration plus rapides dans la zone LC. Les Ksats de la terre végétale étaient de 50,8 et 12,2 mm/h et ceux du sous-sol étaient de 40,8 et 0,5 mm/h, pour les zones LC et HC respectivement.

Tableau 1 : Propriétés du sol

| | ZONE LC | ZONE HC |
|---------------------------------|---|------------------|
| EC du sol | 0 - 3 mS/m | 6 - 8 mS/m |
| Texture de la terre végétale | Silteux limoneux | Silteux argileux |
| Texture du sous-sol | Silteux argileux limoneux avec graviers | Argileux |
| Profondeur de la zone racinaire | 106,7 cm | 45,7 cm |
| Relief | Concave | Convexe |
| Ksat à 35 cm de profondeur | 50,8 mm/hr | 12,2 mm/hr |
| Ksat à 82 cm de profondeur | 40,6 mm/hr | 0,5 mm/hr |

Données chimiques du sol

Les données chimiques du sol sont incluses dans les tableaux 2a et b. En résumé, l'échantillon LC avait une teneur en matière organique du sol (MO) plus élevée ; toutefois, les tableaux 2a et b indiquent que l'échantillon HC était généralement plus riche en éléments nutritifs au niveau de la zone racinaire. Les niveaux élevés de potassium dans le sous-sol de HC (environ deux fois ceux du sous-sol LC) présentent un intérêt particulier. Ils sont corrélés à une teneur plus élevée en potassium au niveau des fruits et du vin et donc à un pH du vin plus élevé. Il s'agit d'une dynamique complexe affectée par le pH du sol et les cations en concurrence (entre autres facteurs). L'isoler et l'explorer en détail dépasse le cadre de cette phase de notre étude.

Tableau 2a : Données chimiques du sol

| | ZONE LC | | | ZONE HC | | |
|----------------|--------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------|
| | Terre végétale (0-29 cm) | Sous-sol (46-61 cm) | Sous-sol plus profond (107 cm) | Terre végétale (0-15 cm) | Sous-sol (46 cm) | Sous-sol plus profond (122 cm) |
| OM (%) | 5,6 | 3,5 | 3,8 | 3,1 | 2,4 | 2,8 |
| P (ppm) | 18 | 3 | 1 | 21 | 5 | 1 |
| P (ppm) | 151 | 33 | 29 | 160 | 75 | 70 |
| Mg (ppm) | 243 | 140 | 138 | 292 | 251 | 187 |
| Ca (ppm) | 1494 | 1024 | 1151 | 1538 | 1429 | 1114 |
| Na (ppm) | 65 | 67 | 79 | 71 | 81 | 73 |
| PH | 6,4 | 5,3 | 5,2 | 7 | 7,1 | 4,9 |
| CEC (meq/100g) | 11,2 | 9,7 | 11,1 | 10,8 | 9,8 | 13,6 |
| S (ppm) | 17 | 224 | 184 | 42 | 26 | 300 |
| Zn (ppm) | 8,9 | 2,7 | 2,80 | 6,2 | 3,4 | 2,4 |
| Mn (ppm) | 94 | 9 | 8 | 117 | 78 | 34 |
| Fe (PPM) | 111 | 55 | 59 | 67 | 68 | 47 |
| Cu (PPM) | 6,8 | 0,8 | 0,4 | 2,7 | 0,9 | 0,5 |
| B (PPM) | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |

Tableau 2b : Saturation en bases

| | Zone LC | | | Zone HC | | |
|--------|--------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------|
| | Terre végétale (0-29 cm) | Sous-sol (46-61 cm) | Sous-sol plus profond (107 cm) | Terre végétale (0-15 cm) | Sous-sol (46 cm) | Sous-sol Plus profond (122 cm) |
| K (%) | 3,5 | 0,9 | 0,7 | 3,8 | 2,0 | 1,3 |
| Mg (%) | 18,1 | 12,0 | 10,4 | 22,5 | 21,3 | 11,5 |
| Ca (%) | 66,7 | 52,8 | 51,8 | 71,2 | 72,9 | 41,0 |
| Na (%) | 2,5 | 3,0 | 3,1 | 2,9 | 3,6 | 2,3 |
| H (%) | 8,9 | 30,9 | 34,2 | 0,0 | 0,0 | 43,9 |

Données des pétioles, des fruits et du vin

La différence minimale des niveaux de sucre entre les deux blocs de chaque cuvée montre une maturation uniforme à travers le bloc d'étude à la récolte (tableau 3). En comparaison avec la zone LC, la zone HC a généralement produit des rendements plus élevés, plus de vigueur et des fruits ayant un pH plus élevé. Le potassium plus élevé du sol dans la zone racinaire de HC présente un intérêt particulier car il est corrélé au potassium plus élevé dans les pétioles, les fruits, et au potassium et au pH du vin (Tableaux 3-5, Figure 3). Il est très important de souligner que même dans la zone LC (la zone ayant le potassium plus faible), les niveaux de potassium dans les pétioles sont toujours beaucoup plus élevés que la recommandation viticole internationale standard de <1,50 % (Morton 2016).

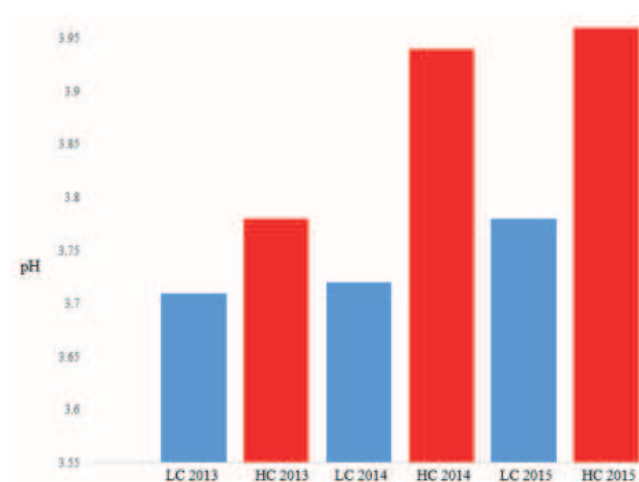
Tableau 3 : Données de récolte

| | 2013 | | 2014 | | 2015 | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Zone LC | Zone HC | Zone LC | Zone HC | Zone LC | Zone HC |
| pH des fruits | 3,61 | 3,72 | 3,6 | 3,7 | 3,7 | 3,8 |
| Sucre (°Bx) | 23,7 | 23,7 | 24 | 24 | 22,7 | 22,9 |
| Acidité titrable (G/L acide tartrique) | 6 | 6,5 | 5,1 | 5 | ND | ND |
| Poids des baies (G/100 baies) | ND | ND | 178 | 180 | 188 | 201 |
| Poids de taille (Kg/panneau) | 4,26 | 5,17 | 3,36 | 3,90 | 4,60 | 5,10 |
| Rendement (Tonnes/Acre) | ND | ND | 3,2 | 3,35 | 3,28 | 3,87 |

 Tableau 4 : Données de véraison des pétioles
2014

| | 2014 | | 2015 | |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| | Zone LC | Zone HC | Zone LC | Zone HC |
| N (%) | ND | ND | 0,65 | 0,89 |
| S (%) | 0,22 | 0,23 | 0,37 | 0,37 |
| P (%) | 0,27 | 0,40 | 0,52 | 0,54 |
| K (%) | 3,23 | 3,79 | 3,01 | 4,03 |
| Mg (%) | 1,03 | 1,31 | 1,14 | 0,79 |
| Ca (%) | 1,90 | 1,87 | 2,21 | 1,75 |
| Na (%) | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,12 |
| B (ppm) | 33 | 31 | 41 | 37 |
| Zn (ppm) | 104 | 114 | 118 | 107 |
| Mn (ppm) | 453 | 615 | 497 | 357 |
| Fe (ppm) | 58 | 69 | 79 | 152 |
| Cu (ppm) | 94 | 97 | 197 | 165 |
| Al (ppm) | 18 | 30 | 66 | 101 |

Vins expérimentaux : Ph



Vins expérimentaux : Potassium

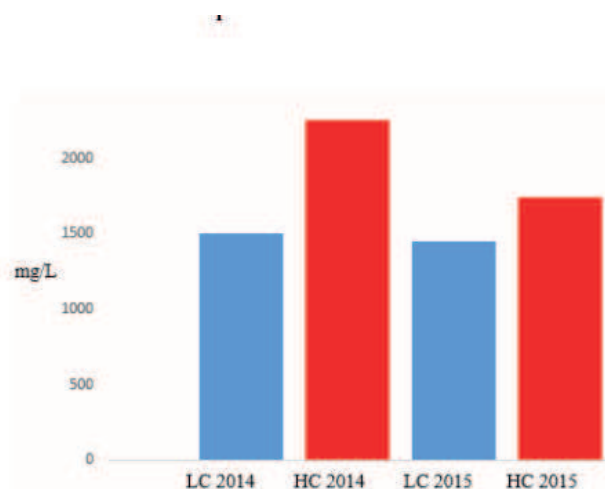


Figure 3 : Diagrammes à barres montrant les concentrations de pH et de potassium des vins expérimentaux finaux. Le vin LC présente systématiquement une concentration plus faible en potassium et un pH inférieur par rapport au vin HC. Notez que seules les valeurs de pH pour les vins de 2013 sont fournies car l'analyse K ++ n'a pas commencé pour cette étude avant la cuvée 2014.

Tableau 5 : Données chimiques des vins expérimentaux

| | 2013 | | 2014 | | 2015 | |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Zone LC | Zone HC | Zone LC | Zone HC | Zone LC | Zone HC |
| Sucre résiduel (%) | <1g/L | <1g/L | <1g/L | <1g/L | <1g/L | <1g/L |
| Alcool (%) | 13,62 | 13,81 | 13,61 | 13,46 | 13,25 | 13,28 |
| pH | 3,71 | 3,78 | 3,72 | 3,94 | 3,78 | 3,96 |
| Acidité volatile (g acide acétique/L) | 0,61 | 0,59 | 0,67 | 0,6 | 0,5 | 0,49 |
| Polyphénols totaux (mg GA/L) | 43 | 41 | 45 | 44 | 37 | 37 |
| Calcium (mg/L) | ND | ND | 72,38 | 67,83 | 61 | 53 |
| Potassium (mg/L) | ND | ND | 1505 | 2250 | 1454 | 1740 |
| Magnésium (mg/L) | ND | ND | 98,2 | 113,9 | ND | ND |
| Manganèse (mg/L) | ND | ND | 1,12 | 2 | ND | ND |

CONCLUSION

La cartographie EM a fourni des ensembles de données reproductibles et a facilité l'identification de deux zones de sol distinctes dans notre bloc d'étude au vignoble Pollak Vineyards, situé à Greenwood, en Virginie. Pour les cuvées 2013, 2014 et 2015, chacune des deux zones a été récoltée et vinifiée séparément. La zone de haute conductivité, ayant une teneur en argile plus élevée, une zone racinaire moins profonde, des niveaux de potassium au sous-sol supérieurs et des taux d'infiltration plus faibles, produit des vins de couleur plus claire et un pH plus élevé que dans la zone de basse conductivité caractérisée par une portion d'argile plus faible, une quantité plus importante de graviers, une zone racinaire plus profonde, moins de potassium dans le sous-sol et des taux plus rapides d'infiltration dans le sol. Le fait que la zone LC (la zone ayant le potassium de sol le plus faible de cette étude) présentait encore un taux élevé de potassium dans le tissu végétal sur la base de l'analyse du pétiole, est particulièrement important. Remerciements Un grand merci à Virginia Wine Board, à Pollak Vineyards, à HydroGeo Environmental et au Vitipoint International Research Centre pour avoir fourni le financement, le personnel et l'équipement essentiels à la réalisation de ce travail. Merci également à Dr. Clifford Ambers, de Chateau Z Consulting, et à Dr. Lance Kearns, du département de géologie de l'Université James Madison, d'avoir apporté leur contribution et leur expertise de laboratoire pour soutenir cet effort.

OUVRAGES CITÉS

Andre, Frederic, Moghadas, D., van Leeuwen, C., de Rességuier, L., Saussez, S., Delvaux, B., Van Durmen, R., Vereecke, H., Bogaert, P., Lambot, S. 2012. High-resolution imaging of a vineyard in south of France using ground penetrating radar, electromagnetic induction and electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*. 78:113-122.

Beasley, E. 2014. Geophysical Investigations for Viticulture. Virginia Wine Board Research Report for RFP # 301-13- 028. 35p.

Beasley, E., Morton, L., Ambers, C. 2015. Role of Soil Mineralogy in Potassium Uptake by Wine Grapes. Virginia Wine Board Research Report for RFP # 301-14-038. 24 p. Hubbard, S. and Rubin, Y. 2004. The Quest for Better Wine Using Geophysics. *Geotimes* August 2004.

Keller, Markus 2010. *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology*. Academic Press. 255-257.

McNeill, J. 1980. *Electrical Conductivity of Soils and Rocks*. Technical Note TN-5. Geonics Limited, Ontario, Canada.

Morgan, B.A., Eaton, L.S., Wieczorek, G. 2003. Pleistocene and Holocene Colluvial Fans and Terraces in the Blue Ridge Region of Shenandoah National Park, Virginia. United States Geological Survey Open File Report 03-410. 24 p.

Morton, L. 2016. Personal communication with Ernest Beasley.

Natural Resources Conservation Service 2006. *Official Soil Series Description: Dyke Series*.

Lamb, D. 2009. EM38 in All-Steel Vineyards – a Cautionary Tale. *Precision Agriculture and Viticulture Expo*. 2009:19- 22.

Priori, S. et al. 2012. Improving Wine Quality Through Harvest Zoning and Combined Use of Remote and Soil Proximal Sensing. *Soil Science Society of America Journal*. 77:1338-1348.

Schoenberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Broderson, W.D. (editors) 2002. *Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 2.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Tisseyre, B., Taylor, J. 2005. An overview of methodologies and technologies for implementing precision agriculture in viticulture. *Proceedings from XII Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia – Anais*. 45-54.

White, R. E. 2003. *Soils for Fine Wines*. Oxford University Press, New York.

Wilson, J. E., Beasley, M. 1999. *Terroir: The Role of Geology, Climate, and Culture in the Making of French Wines*. University of California Press.

Wolf, T., ed. 2007. *Wine Grape Production Guide for Eastern North America*. Natural Resource, Agriculture and Engineering Services Cooperative Extension Publication: NRAES-145. Ithaca, New York.

Zoecklein, B., Fugelsang, K., Gump, B., Nury, F. 1990. *Production Wine Analysis*. Chapman & Hall, New York.