

MÉTHODE DE CALCUL DE LA RÉSERVE UTILE EN EAU DES SOLS : APPLICATION À LA CARTOGRAPHIE DES TERROIRS VITICOLES DU VAL DE LOIRE

A CALCULATION METHOD OF AVAILABLE SOIL WATER CONTENT : APPLICATION TO VITICULTURAL TERROIRS MAPPING OF THE LOIRE VALLEY

É. GOULET¹, R. MORLAT², D. RIOUX¹ et S. CESBRON¹

1 : Cellule Terroirs Viticoles, Confédération des Vignerons du Val de Loire
42 rue G. Morel, 49071 Beaucouzé cedex, France

2 : Unité Expérimentale Vigne et Vin, INRA, 42 rue Georges Morel,
49071 Beaucouzé cedex, France

Résumé : L'alimentation hydrique de la vigne est l'une des variables majeures du terroir influençant largement la composition des baies et la qualité du vin. Les conditions d'alimentation en eau de la vigne sont en relation étroite avec le réservoir en eau disponible du sol. Pour cette raison, ce dernier doit être pris en compte dans les études cartographiques de terroirs viticoles. La réserve utile en eau des sols dépend de facteurs comme la teneur en eau à la capacité au champ, celle au point de flétrissement permanent, la densité apparente, la teneur en éléments grossiers du sol, ou bien encore l'épaisseur de sol exploitable par l'enracinement de la vigne.

L'objectif de cette note était d'étudier les relations des diverses composantes de la réserve utile en eau avec des variables du sol pouvant être facilement acquises lors de la cartographie sur le terrain. La texture du sol a été principalement retenue. La méthode de calcul de la réserve en eau des sols a été mise au point en Val de Loire, à la fois dans les vignobles de l'Anjou situés principalement sur les terrains anciens éruptifs et métamorphiques du Massif Armoricaïn, et dans les vignobles du Saumurois appartenant aux terrains géologiques sédimentaires du Bassin Parisien. Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'estimer la réserve utile en eau des sols grâce au pourcentage d'argile, et donc à partir de la texture. Par ailleurs, on peut montrer que le poids des différentes variables utilisées dans l'algorithme de calcul de la réserve utile en eau des sols doit être ajusté aux différents contextes géo-pédologiques étudiés. L'algorithme peut être utilisé au niveau de chaque sondage à la tarière et les résultats peuvent alors être spatialisés au moyen d'un Système d'Information Géographique pour produire des cartes de réserve utile en eau des sols.

Abstract : Vine water supply is one of the most important elements in the determination of grape composition and wine quality. Water supply conditions are in relation with available soil water content, therefore this one has to be determined when vineyard terroir mapping is undertaken. The available soil water content depends on soil factors like water content at field capacity, water content at the permanent wilting point, apparent density and rooting depth. The aim of this study is to seek the relationship between these factors and a simple soil characteristic such as texture which could be easily measurable in routine cartography. Study area is located in the Loire valley, in two different geological regions. First results indicate that it is possible to determine available soil water content from clay percentage, then from soil texture. These results also show that available soil water content algorithms differ with geological properties. This calculation can be used at each auger boring and results can be spatialised within a Geographical Information System that allows the production of available water content maps.

Mots clés : Terroirs viticoles, cartographie, réserve en eau, texture, algorithme

Key words : Vineyard terroir, cartography, water content, texture, algorithm

INTRODUCTION

De nombreux travaux ont montré l'importance des conditions d'alimentation en eau de la vigne sur la composition du raisin et la qualité du vin (VAN LEEUWEN et SEGUIN, 1994). Celles-ci sont en liaison étroite avec la réserve en eau du sol disponible pour la vigne qui est un des facteurs majeurs du terroir (MORLAT, 1989). Par conséquent, la cartographie des terroirs doit intégrer cette variable liée à plusieurs caractéristiques du sol. Les travaux conduits en Val de Loire ont permis un calcul spatialisé de la Réserve Utile en Eau du sol (R.U.E.), (BAIZE, 2000), intégrant les données de chacun des points de sondage à la tarière. Différentes variables physiques et hydriques du sol, parfois non directement quantifiables sur le terrain sont utilisées.

L'objectif de cette note est de présenter et discuter une méthode simple de calcul de la R.U.E., suffisamment pertinente et légère pour être mise en œuvre facilement lors d'études spatialisées de terroirs. En particulier, on recherchera et on quantifiera les relations (fonctions de pédotransfert) qui existent entre les variables du sol nécessaires au calcul (teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent de la vigne, densité apparente) et des caractéristiques pouvant être acquises directement lors de la cartographie, comme la texture du sol.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I - ALGORITHME UTILISÉ POUR LE CALCUL DE LA RÉSERVE UTILE EN EAU DES SOLS (R.U.E.)

Celui-ci a été élaboré à l'occasion de l'étude des terroirs viticoles de l'Anjou (Morlat *et al.*, 1999). Il s'appuie sur la formule suivante (BAIZE, 2000) et s'exprime en mm :

$$R.U.E. = \sum_{h=1}^n [(CC - pF_{4,2}) \times T_{fine} \times E \times Da]$$

(Avec h : Nombre d'horizons, CC : Humidité pondérale à la capacité au champ en %, pF_{4,2} : Humidité pondérale au point de flétrissement en %, % T_{fine} : % de terre fine, E : Épaisseur de sol en dm, Da : densité apparente).

Le nombre et l'épaisseur de chaque horizon, de même que le pourcentage de terre fine, sont notés directement sur le terrain.

L'humidité pondérale à la capacité au champ et au point de flétrissement (pF_{4,2}) ainsi que la densité apparente du sol sont les trois variables ayant fait l'objet d'un calcul et dont nous présentons les résultats dans cette note.

II - PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Pour déterminer à chaque point de sondage la densité apparente moyenne, l'humidité à la capacité au champ et celle au point de flétrissement de l'horizon, des relations entre ces caractéristiques et la texture du sol ont été recherchées (MORLAT *et al.*, 1999). Pour cela, des données préexistantes disponibles ont été utilisées et plusieurs campagnes de prélèvement d'échantillons de sol ont également été réalisées.

Une campagne, faite entre 1996 et 1998, a concerné les sols développés sur schistes et roches éruptives de l'Anjou. Une seconde a pris en compte les sols sur formations géologiques sédimentaires du Bassin Parisien dans les vignobles de Chinon, Bourgueil et Saumur. Dans ces derniers, un calcul séparé entre les sols carbonatés et non carbonatés a été conduit afin d'étudier l'existence d'un éventuel effet de certains cations (Ca²⁺ en particulier) sur la R.U.E. Les résultats ont été soumis au test de Student afin d'évaluer la significativité des différences et procéder le cas échéant à une différenciation dans le calcul de la R.U.E. en fonction de la teneur en carbonates du profil.

L'humidité du sol à la capacité au champ a été déterminée par séchage à l'étuve à 105 °C de même que celle au pF_{4,2} obtenue à la plaque à membrane. L'analyse granulométrique du sol a été réalisée au laboratoire INRA d'Arras, la densité apparente a été mesurée sur le terrain grâce à un gammadensimètre à rétrodiffusion de rayons gamma (Campbell 501 DR) ou au densitomètre à membrane.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans l'ensemble des relations testées, l'argile est la fraction granulométrique qui s'est révélée être la mieux corrélée aux variables étudiées (densité apparente, teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement). Le calcul de la R.U.E. s'effectue à partir de la texture des horizons qui est une caractéristique facilement appréciable en cartographie. Pour chaque classe de texture rencontrée, le taux moyen d'argile a donc été pris en compte.

I - ESTIMATION DU TAUX D'ARGILE MOYEN ET DE LA DENSITÉ APPARENTE MOYENNE PAR CLASSE DE TEXTURE

706 échantillons de sol étaient disponibles pour réaliser l'estimation du taux moyen d'argile par classe de texture. Dix classes ont été retenues et les différences obtenues entre les résultats des sols carbonatés et non carbonatés n'étaient pas significatives. En revanche, les sols développés sur roches du Massif Armoricaïn (schistes et roches éruptives) présentent des taux moyens d'argile significativement différents de ceux du Bassin Parisien (carbo-

natés ou non) pour certaines classes de texture. Une relation spécifique sera donc utilisée pour l'ensemble des sols sédimentaires et une autre pour ceux du Massif Armoricain (tableaux I et II).

Pour le calcul de la densité apparente moyenne par texture, 580 horizons de sols sédimentaires et 150 de sols du Massif Armoricain ont été étudiés. Les mesures de densité apparente ont été réparties par classe de texture. Pour les sols du Bassin Parisien, les différences obtenues entre les moyennes des densités apparentes des sols carbonatés et non carbonatés sont significatives pour environ la moitié des classes de textures. Les différences entre ces deux groupes de sols et celui des sols du Massif Armoricain sont également significatives. Ainsi, ces trois groupes de sol ont été séparés pour l'estimation de la densité apparente moyenne par texture (tableaux I et II).

II - RELATION ENTRE LA TENEUR EN EAU À LA CAPACITÉ AU CHAMP ET LE TAUX D'ARGILE

Cette relation a été étudiée à partir de 133 échantillons provenant de sols carbonatés, 115 de sols non carbonatés du Bassin Parisien et 473 issus des sols du Massif Armoricain. Plusieurs types de relations ont été testés et les résultats prédits pour chacune ont été comparés aux valeurs mesurées. Pour les sols du Bassin Parisien, une régression polynomiale d'ordre 4 donne le meilleur coefficient de détermination ($r^2 = 0,86$) sur l'ensemble des échantillons, c'est-à-dire carbonatés et non carbonatés. Pour les sols du Massif Armoricain, on obtient le même type de relation (régression polynomiale d'ordre 4) avec des coefficients différents.

Les résultats montrent que, pour une même texture, les sols développés sur les terrains du Bassin Parisien contiennent plus d'eau à la capacité au champ que les sols du Massif Armoricain (tableaux I et II).

Sols du Bassin Parisien :

$$y = 1E-06x^4 + 0,0004x^3 - 0,0364x^2 + 1,4896x - 0,0175$$

$$r^2 = 0,86 \quad n = 248$$

avec $y = \% \text{ eau CC}$ et $x = \% \text{ argile}$

Sols du Massif Armoricain :

$$y = -2E-05x^4 + 0,002x^3 - 0,0904x^2 + 1,9624x - 1,0061$$

$$r^2 = 0,64 \quad n = 473$$

avec $y = \% \text{ eau CC}$ et $x = \% \text{ argile}$

II - RELATION ENTRE LA TENEUR EN EAU AU POINT DE FLÉTRISSEMENT ET LE TAUX D'ARGILE

Les trois groupes de sols ont été séparés car les différences observées entre la relation concernant les sols carbonatés et celle des sols non carbonatés du Bassin Parisien sont significatives.

Sols du B.P. carbonatés :

$$y = -2E-07x^4 + 6E-06x^3 - 0,0028x^2 + 0,6039x - 0,4131$$

$$r^2 = 0,78 \quad n = 84$$

avec $y = \% \text{ eau pF } 4,2$ et $x = \% \text{ argile}$

Sols du B.P. non carbonatés :

$$y = 5E-06x^4 + 0,0004x^3 - 0,0065x^2 + 0,4731x + 0,4122$$

$$r^2 = 0,81 \quad n = 120$$

avec $y = \% \text{ eau pF } 4,2$ et $x = \% \text{ argile}$

Sols du Massif Armoricain :

$$y = 4E-06x^4 + 0,0005x^3 + 0,0189x^2 + 0,1433x + 2,7409$$

$$r^2 = 0,73 \quad n = 77$$

avec $y = \% \text{ eau pF } 4,2$ et $x = \% \text{ argile}$

Les sols non carbonatés (Massif Armoricain et Bassin Parisien) présentent, pour un même taux d'argile, une humidité au point de flétrissement plus faible que les sols carbonatés (tableaux I et II). Ainsi, pour une même teneur en argile, ces derniers retiendraient plus d'eau fortement liée à la phase argileuse que les sols non carbonatés.

DISCUSSION ET CONCLUSION

I - COMPARAISON ENTRE LES SOLS CARBONATÉS ET NON CARBONATÉS DU BASSIN PARISIEN

Avec l'échantillon global étudié, il apparaît une distinction nette entre la réserve utile en eau des sols carbonatés et celle des sols non carbonatés qui est bien plus élevée, ceci étant observé pour une texture et une profondeur identiques. Les densités apparentes des sols carbonatés sont, en raison de l'effet structurant du calcium, plus faibles que celles des sols non carbonatés. Ces différences peuvent expliquer pour une bonne part ces écarts de réserves en eau entre les types de sol (tableau I). Entre les deux groupes de sols du Bassin Parisien, il existe également d'importantes différences de teneur en eau au point de flétrissement. En effet si la quantité d'eau disponible à la capacité au champ est identique pour les deux groupes de sols, les sols carbonatés contiennent plus d'eau liée non disponible pour la vigne, leur réserve d'eau uti-

Tableau I - Caractéristiques physiques et hydriques des sols du Bassin Parisien ; Répartition par classe de texture

Physical and hydric characteristics of Bassin Parisien soils ; Distribution according to textural class

Classe de texture	Taux d'argile (%)	Densité apparente		% Eau CC	% Eau pF 4,2		RU (mm) / cm	
		Carbonatés	Non carbonatés		Carbonatés	Non carbonatés	Carbonatés	Non carbonatés
A	37,3	1,40	1,44	27,5	19,1	14,5	1,18	1,87
AL								
ALO	51,2	1,29	1,44	40,0	24,2	17,2	2,04	3,28
AS	32,2	1,43	1,5	23,6	17,0	13,4	0,94	1,53
LAS	24,3	1,39	1,44	20,5	13,4	11,4	0,99	1,31
LSA	22,8	1,35	1,62	20,0	12,8	10,9	0,97	1,47
LS-LMS	15,9	1,29	1,59	16,0	9,2	8,1	0,88	1,26
SA	19,9	1,39	1,50	18,5	11,3	9,9	1,00	1,29
SL	9,6	1,46	1,59	11,0	6,0	5,2	0,73	0,92
S	6,2	1,52	1,52	8,3	4,0	3,5	0,65	0,73

Tableau II - Caractéristiques physiques et hydriques des sols du Massif Armoricaïn ; répartition par classe de texture

Physical and hydric characteristics of Massif Armoricaïn soil ; Distribution according to textural class

Classe de texture	Taux d'argile (%)	Densité apparente	% Eau CC	% Eau pF 4,2	RU (mm) / cm
A	37,5	1,65	21,6	15,6	0,99
AL					
ALO	55,0	1,59	30,0	19,5	1,67
AS	34,0	1,64	20,0	14,7	0,87
LAS	24,0	1,64	16,9	11,4	0,90
LSA	23,5	1,67	16,5	11,1	0,90
LS-LMS	12,5	1,68	13,0	6,5	1,09
SA	19,0	1,73	15,5	9,4	1,06
SL	6,5	1,75	8,5	4,4	0,72
S	6,5	1,40	8,5	4,4	0,57

lisable est donc plus faible que celle des sols non carbonatés. Ces différences pourraient être reliées à la proportion et la nature des minéraux argileux gonflants et non gonflants contenus dans ces deux types de sols et influençant le comportement hydrique (McKissock *et al.*, 2000). Ceci pourrait également expliquer que les différences de réserve utile en eau entre ces deux groupes soient plus importantes pour les textures argileuses que pour les textures limoneuses ou sableuses.

II - COMPARAISONS ENTRE LES SOLS DU BASSIN PARISIEN (CARBONATÉS ET NON CARBONATÉS) ET LES SOLS DU MASSIF ARMORICAÏN :

Malgré des densités apparentes plus élevées, les sols du Massif Armoricaïn possèdent des réserves utiles en eau nettement plus faibles, pour des textures et des profondeurs identiques, que les sols carbonatés et non car-

bonatés du Bassin Parisien. Ces différences sont essentiellement dues à des teneurs en eau à la capacité au champ beaucoup plus faibles pour les sols du Massif Armoricaïn que pour les sols du Bassin Parisien. Ceci peut s'expliquer par une proportion plus faible de minéraux argileux gonflants dans les sols du Massif Armoricaïn que dans les sols du Bassin Parisien ; les argiles gonflantes (type smectite) présentant, à teneur granulométrique égale, une quantité d'eau à la capacité au champ deux à trois fois plus élevée que les argiles de type kaolinite (DUCHAUFOR, 1997). Cette faible proportion relative d'argiles gonflantes dans les sols du Massif Armoricaïn peut également expliquer que certaines textures limoneuses ou sableuses présentent des réserves en eau plus importantes que des textures argileuses (tableau II).

La R.U.E. des sols est calculée horizon par horizon et pour une profondeur de sol équivalente à la profondeur

exploitable par les racines de la vigne. Cette profondeur a été déterminée grâce aux profils racinaires moyens réalisés pour chaque Unité de Terroir, à partir de comptages de racines effectués sur les parois des fosses pédologiques. Dans ce contexte, la détermination de la R.U.E. des sols se rapproche sensiblement de la détermination du Réservoir Utilisable Maximal (R.U.M.) en eau des sols.

Cette note avait pour but de présenter un algorithme simple pour le calcul spatialisé de la R.U.E. des sols pour la vigne dans le cadre de la cartographie des terroirs viticoles. Il faut souligner que ce modèle de calcul est évolutif puisque chaque nouvelle analyse de sol effectuée peut être entrée dans la base de donnée et venir affiner le modèle. Cette base de donnée est reliée à Système d'Information Géographique qui permet de spatialiser la valeur de la R.U.E. calculée pour chaque point de sondage afin d'éditer ensuite la carte de la R.U.E. correspondante.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAIZE D., 2000. Guide des analyses en pédologie. 2^e édition, édition I.N.R.A.

DUCHAUFOR P., 1997. Abrégé de pédologie, 291 p. 5^e éd., édition Masson.

Mc KISSOCK, WALKER E.L., GILKES R.J. et CARTER D.J., 2000. The influence of clay type on reduction of water repellency by applied clays : a review of some West. Australian work. *J. Hydrology*, 231-232, 323-332.

MORLAT R., 1989. Le terroir viticole : contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Application aux vignobles rouges de Moyenne Vallée de la Loire. *Thèse d'état* soutenue à Bordeaux II le 18.12.89. Tome I : textes, 289 p ; tome II : Annexes, 129 p.

MORLAT R., GUILBAULT P., RIOUX D., 1999. Une méthode opérationnelle d'étude des terroirs viticoles et de leurs effets sur la vigne et le vin : optimisation et valorisation par la viticulture. Application au vignoble de l'Anjou (Val de Loire, France). Rapport méthodologique de fin de contrat du programme *Terroirs d'Anjou* (1994-1999), 198 p.

VAN LEEUWEN C. et SEGUIN G., 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Émilion, 1990). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **28**, n° 2, 81-110.

Manuscrit reçu le 22 avril 2003 ; accepté pour publication, après modifications le 14 octobre 2004