

Terroir, sol et sous-sol : principes de modélisation spatiale de quelques paramètres physiques caractérisant le substrat altéré dans les régions viticoles établies sur socle ancien

R. WYNS

Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service Géologique National, Département Utilisation et Protection de l'Espace géologique

B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex 02, France. (Email : r.wyns@brgm.fr)

PLACE DE LA CONNAISSANCE DU SOUS-SOL DANS LA CARACTERISATION DES TERROIRS VITICOLES

Depuis plusieurs années, le développement des moyens informatiques, et notamment des Systèmes d'Information Géographique, ont permis l'émergence d'une approche nouvelle d'analyse et de caractérisation des terroirs viticoles (Morlat, 1989 ; Laville, 1990). Ces méthodes, qui permettent d'identifier des zones ou unités de terroir homogènes, sont basées sur le croisement, l'analyse statistique (notamment l'Analyse en Composantes Principales : A.C.P.) et l'intégration de paramètres décrivant le milieu naturel dans lequel se développe la vigne. Ces paramètres se rattachent à un nombre restreint de critères élémentaires que l'on peut regrouper en trois grandes catégories :

critères liés à la géomorphologie :

- altitude (en m)
- pente (en %)
- courbure verticale (concavité/convexité, en degrés)

critères liés au climat :

- pluviométrie (en mm par unité de temps)
- température moyenne (en degrés)
- insolation théorique (en W/h/m²)

critères liés au sous-sol :

- nature du sol
- nature du sous-sol.

Les méthodes statistiques comme l'A.C.P. doivent pouvoir disposer de variables continues. Les critères liés à la géomorphologie ou au climat répondent à cette exigence et peuvent être calculés en tout point d'une image maillée à partir des bases de données disponibles (IGN et Météo-France). Les critères liés au sous-sol ne sont pas directement utilisables en A.C.P. car la nature du sol (carte pédologique) ou du sous-sol (carte géologique) ne peut être traduite que par un code numérique attribué arbitrairement à chaque entité cartographiée. Pour transcrire ces critères codés en variables numériques, il est donc nécessaire de cartographier, au sein des unités pédologiques ou géologiques, des paramètres représentatifs variant de façon continue, comme par exemple la porosité, la résistance mécanique, la granulométrie, la teneur en eau, la composition chimique, le pH.

Dans le cadre de sa mission de Service Public visant en particulier à acquérir et mettre à disposition les données concernant le sous-sol, le BRGM développe une méthodologie de cartographie de paramètres représentatifs de l'état du sous-sol. Cette méthodologie est appelée "cartographie probabiliste" car elle a pour objectif de

quantifier non seulement une donnée, mais également la probabilité pour qu'en un point cette donnée soit incluse dans un certain intervalle de valeurs (intervalle de confiance). Elle a été initiée en partenariat avec le Conseil Régional des Pays de la Loire afin d'optimiser et de valoriser la gestion des ressources ou des opérations liées au sous-sol dans le contexte géologique spécifique de cette région. L'une des retombées attendues de ce programme est d'apporter des moyens nouveaux contribuant à valoriser les terroirs viticoles.

LES CRITERES ELEMENTAIRES DECRIVANT LA NATURE DU SOUS-SOL DANS LES REGIONS DE SOCLE ALTERE

Environ 25 % du territoire métropolitain est occupé par des massifs anciens (Massif armoricain, Massif Central par exemple). Plusieurs vignobles y sont implantés partiellement ou en totalité : Alsace, Beaujolais, Côtes du Rhône, Côtes de Provence, Anjou, Pays Nantais, Fiefs Vendéens.

L'histoire géologique de la plupart de ces régions est caractérisée par une longue évolution continentale au cours du Mésozoïque et Cénozoïque, au cours de laquelle les roches du socle hercynien ont subi de profondes transformations sous l'influence de climats chauds et humides. C'est ainsi que des roches à l'origine très indurées comme les gneiss, micaschistes, schistes ont été peu à peu transformées en argile sur une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres sous les paléosurfaces topographiques, tandis que les granites étaient transformés en arènes. Au Quaternaire, le creusement des vallées a incisé ces anciens profils d'altération, de sorte que les roches altérées se retrouvent actuellement sous les plateaux, et les roches saines sous les vallées. Le déblaiement des altérites lors du creusement des vallées a alimenté les formations de versant et de fond de vallée. C'est donc sur des substrats géologiques très variés du point de vue textural que sont établis les sols actuels. Le degré d'altération variant de façon graduelle depuis la roche saine jusqu'au sommet du profil d'altération, il n'est généralement pas représenté sur les cartes géologiques puisqu'il n'y a pas de limite nette. Ainsi, on peut rencontrer sous la même notation géologique une roche dure, saine, exploitée pour granulats en fond de vallée, et son altérite, exploitée comme argile pour briqueterie sur les plateaux voisins.

Dans un tel contexte, la nature du substrat est régie par deux facteurs principaux : la lithologie de la roche-mère et son degré d'altération. Vis à vis de la croissance de la vigne, la lithologie de la roche-mère influera surtout par les variations de composition chimique ou minéralogique, les variations texturales étant pratiquement nulles puisque ces roches sont massives et dures par constitution. C'est donc le degré d'altération qui imposera les caractéristiques texturales du substrat d'où dérive le sol, ainsi que les variables qui en découlent : pouvoir de rétention en eau, porosité, dureté, teneur en argile, etc... Ces caractéristiques jouent un rôle essentiel dans le développement de la vigne, tant dans la phase d'enracinement que dans les différentes étapes du cycle de croissance. Le degré d'altération apparaît donc comme un des éléments majeurs de caractérisation d'un terroir viticole établi dans un tel contexte géologique.

METHODOLOGIE DE MODELISATION DES CRITERES ELEMENTAIRES LIES AU DEGRE D'ALTERATION

Principe conceptuel

Les profils d'altération se sont développés de haut en bas à partir des anciennes surfaces topographiques contemporaines de l'altération (paléosurfaces continentales ou "pénéplaines"), par hydrolyse météorique des minéraux de la roche-mère et lessivage des cations les plus solubles. L'altération maximale est donc rencontrée dans le plan de la paléosurface. Il est ainsi possible d'exprimer le degré d'altération d'un volume rocheux élémentaire par sa profondeur dz sous la paléosurface (fig. 1). Tout paramètre lié au degré d'altération est relié à dz par une fonction de corrélation $P = f(dz)$, qui sera caractéristique d'une unité lithologique donnée de la roche-mère. A partir d'un modèle maillé de la valeur de dz , la connaissance de cette fonction de corrélation permettra donc de calculer la carte de la valeur du paramètre P recherché (Wyns, 1991).

Réalisation (fig. 2)

Les données de base nécessaires à la modélisation sont un modèle numérique d'altitude représentant la surface du sol (fourni en standard par l'I.G.N. à la maille de 50 m, mais réalisable à une maille plus fine à partir par exemple de photographies aériennes), et la carte géologique. La détermination de la fonction de corrélation est obtenue par des mesures spécifiques réalisées sur le terrain.

Réalisation de la carte de dz. A partir de la carte géologique et de la géomorphologie (replats), on construit une carte de l'altitude virtuelle des paléosurfaces. Cette carte est transformée en image maillée. Par différence entre les deux cartes on obtient une carte de la valeur de dz.

Détermination de la fonction de corrélation. Elle consiste à échantillonner, pour toute unité lithologique homogène de la roche-mère, la valeur du paramètre recherché tout au long du profil d'altération, si possible depuis les valeurs de dz les plus faibles (plan de la paléosurface) jusqu'aux valeurs les plus fortes. Selon la nature du paramètre recherché, les mesures pourront être réalisées dans un sondage recoupant la totalité du profil (porosité), ou bien le long des versants des vallées recoupant le profil d'altération (mesures géophysiques, essais mécaniques, échantillonnage à la tarière pour analyses granulométriques...). La fiabilité de la carte résultante, exprimée de manière probabiliste, étant liée au nombre de mesures et au choix des sites d'échantillonnage, il est nécessaire de choisir une méthode de mesure à haut rendement, que l'on peut compléter par des mesures ponctuelles. La résistivité électrique à un intervalle de profondeurs de 1 à 4 m sous la surface du sol est un bon indicateur du degré d'altération dans la zone d'enracinement de la vigne la plus fréquente, et peut être mise en oeuvre facilement avec des appareils de profilage en continu. Après dépouillement des mesures et valorisation de dz pour chaque point de mesure, on obtient la fonction caractéristique $P = f(dz)$ pour chaque unité lithologique.

Réalisation de la carte du paramètre recherché. Pour chaque unité lithologique, la fonction $P = f(dz)$ est appliquée à la carte de dz. Des coefficients correcteurs peuvent être introduits dans la fonction pour tenir compte des variations régionales d'épaisseur des profils d'altération ou des dérives régionales liées à la lithologie et mises en évidence par étude géostatistique. *In fine*, on obtiendra une carte du paramètre recherché, et, après avoir défini un intervalle de confiance, une carte de la probabilité pour que la valeur de ce paramètre soit incluse dans l'intervalle de confiance.

Echelle de réalisation et résolution spatiale

Le MNT, fourni par l'IGN à la maille standard de 50 m (1 pixel = 25 ares), permet une restitution au 1/50 000 avec un agrandissement au 1/25 000. Cette échelle est adaptée au zonage de superficies couvrant une à plusieurs communes. Pour des études de détail à l'échelle de la parcelle, il est possible de réaliser un MNT à maille plus fine (10 m, soit 1 pixel = 1 are). Dans ce cas, la densité des mesures pourra être augmentée. Dans tous les cas, la précision du positionnement des mesures en X, Y et Z est obtenue en couplant le dispositif de mesure avec un GPS différentiel (précision décimétrique).

EXEMPLE DE MESURES REALISEES DANS LE MAINE-ET-LOIRE, DANS UN CONTEXTE GEOLOGIQUE SIMILAIRE A CELUI DES APPELLATIONS ANJOU ET PAYS NANTAIS

La figure 3 présente les premiers résultats obtenus sur un profil de référence implanté près de Sainte-Christine dans la région des Mauges (Maine et Loire), à peu de distance du vignoble des coteaux du Layon. La roche-mère est un micaschiste précambrien altéré sur plus de 35 m d'épaisseur au début du Tertiaire. Le sommet du profil correspond au sommet du plateau, le plan de la paléosurface ayant été érodé (absence de témoins sédimentaires continentaux). Deux paramètres ont été mesurés le long du profil : la résistivité électrique apparente en subsurface (1 à 5 m de profondeur) à raison de 2 000 mesures par kilomètre parcouru (1 point tous les 50 cm), et la résistance mécanique de pointe avec un pénétromètre dynamique entre 0,30 m et 1,50 m de profondeur, en utilisant une pointe conique normalisée de 4 cm² de section. Les résultats sont présentés en fonction de l'altitude z du sol, les valeurs de dz n'ayant pas encore été valorisées.

Les deux tiers inférieurs du profil, correspondant à un versant de vallée, montrent une corrélation linéaire entre z et la résistivité électrique apparente, cette dernière augmentant régulièrement vers le bas. Il est à noter que vis à vis de cette variable la base du profil d'altération n'a pas été atteinte, car on devrait observer une stabilisation de la résistivité autour d'une valeur moyenne dans la zone non altérée. Le tiers supérieur du profil présente une corrélation non linéaire entre z et la résistivité, celle-ci augmentant d'abord puis diminuant lorsque l'altitude croît.

Les mesures de résistance mécanique, bien qu'en faible nombre (9 points) montrent une assez bonne correspondance avec les mesures de résistivité électrique.

L'interprétation de ces mesures à la lumière des observations de terrain permet de dégager les conclusions suivantes :

- la partie inférieure du profil, présentant une corrélation linéaire entre z et la résistivité électrique, correspond à des altérites où la structure de la roche-mère (schistosité, litage) est préservée (*isaltérites*). La diminution de la résistivité vers le haut correspond à l'augmentation de la teneur en argile de la roche, qui devient de plus en plus tendre. Les pics de résistivité correspondent à des veines de quartz d'exsudation d'origine métamorphique ou filonienne.

- la partie supérieure du profil correspond à des altérites où la structure de la roche initiale a disparu (*allotérites*). Il s'agit d'une argile compacte emballant des fragments et blocs de quartz ayant résisté à la dissolution. L'élévation de la résistivité moyenne par rapport au sommet de l'unité sous-jacente peut être interprétée comme un enrichissement différentiel en insolubles (quartz principalement) par rapport au volume initial de la roche.

D'un point de vue des réserves hydriques, on notera que la porosité maximale sera rencontrée dans les *isaltérites*, où les pores correspondent aux vides laissés par la dissolution des minéraux initiaux les plus solubles (perte de masse sans perte de volume). Vis-à-vis de la croissance de la vigne, ce milieu permettra un enracinement facile et assurera à la fois une bonne rétention en eau et une bonne oxygénation du système racinaire grâce à un temps de ressuyage court.

A l'opposé, les *allotérites* présenteront une porosité quasi nulle : l'argilisation et la dissolution poussées de la plupart des minéraux ne permettent plus de maintenir ces pores ouverts, ce qui entraîne l'effondrement de la roche sur elle-même (perte de masse accompagnée d'une perte de volume). Vis à vis de la vigne, ce milieu très peu drainant sera caractérisé par une hydromorphie quasi-permanente et n'assumera qu'une faible oxygénation du système racinaire.

En dessous du niveau des *isaltérites*, la roche saine sera recouverte d'un manteau de matériaux meubles (colluvions) dont l'épaisseur et la capacité de drainage dépendront de la courbure, concave ou convexe, du terrain. La facilité d'enracinement dépendra de l'épaisseur de matériaux meubles, dont le contact avec la roche massive correspondra généralement à une interface tranchée. Le degré d'oxygénation sera surtout lié à la position géomorphologique (engorgement des zones concaves de bas de versant).

CONCLUSION

La méthode en cours de développement de cartographie probabiliste du degré d'altération des roches devrait permettre, dans un proche avenir, de mieux prendre en compte les propriétés physiques du sous-sol dans les études de caractérisation des terroirs viticoles établis sur socle ancien. Cette méthode a pour vocation d'être un outil opérationnel offrant le meilleur compromis possible entre qualité des résultats et coût de mise en oeuvre, afin que son utilisation sur de grandes surfaces soit compatible avec les réalités économiques du marché viticole.

De nombreux paramètres étant susceptibles d'être liés au degré d'altération, un important travail pluridisciplinaire est à réaliser par géologues, pédologues et agronomes afin de reconnaître les lois de variation verticale de ces paramètres au sein des paléoprofils d'altération, et de déterminer les moyens analytiques les plus appropriés à mettre en oeuvre.

REFERENCES

- LAVILLE P. (1990). Le terroir, un concept indispensable à l'élaboration et à la protection des appellations d'origine comme à la gestion des vignobles : le cas de la France. *Bull. de l'O.I.V.*, (709-710), p.217-241.
- 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 la moyenne vallée de la Loire. *Thèse de doct. Etat Bordeaux II, INRA Angers éd.*
- WYNS R. (1991). L'utilisation des paléosurfaces continentales en cartographie probabiliste. *Géologie de la France n° 3, p. 3-9*

REMERCIEMENTS

Cette étude a pu être entreprise grâce au soutien financier du Conseil Régional des Pays de la Loire.

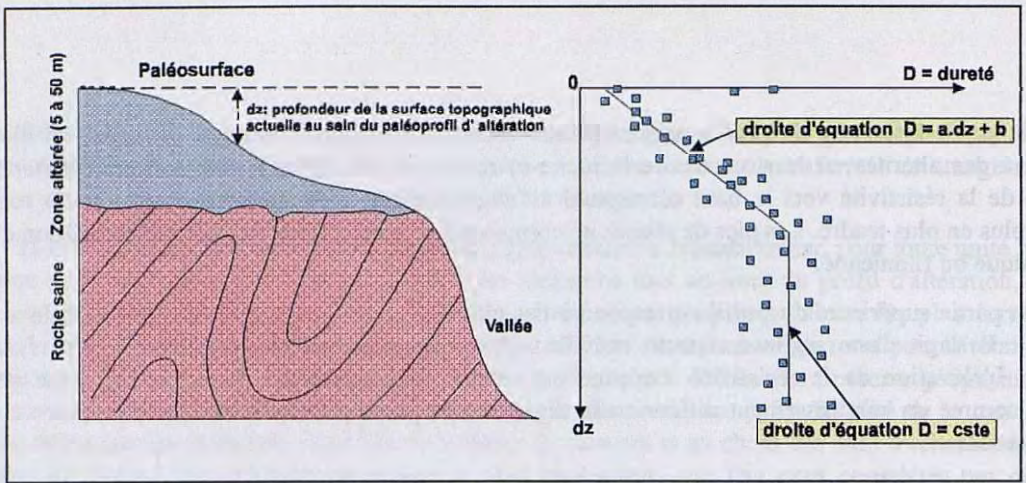


Figure 1 - Principe de corrélation entre dz et un paramètre lié au degré d'altération (exemple fictif)
 Principle of correlation between dz and a parameter linked to the degree of weathering (hypothetical case)

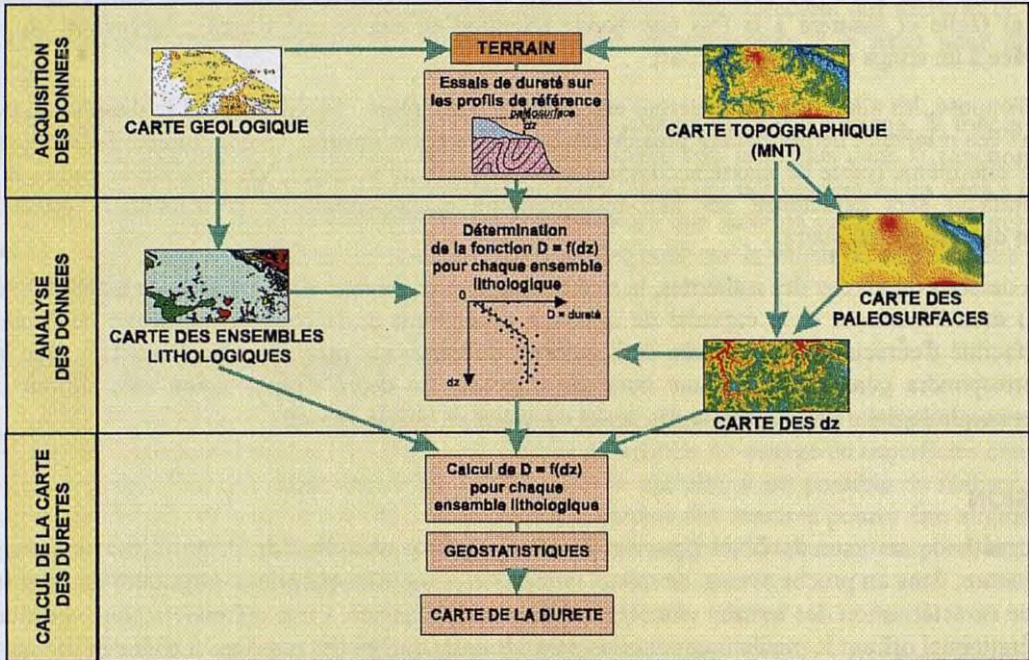


Figure 2 - Organigramme de réalisation d'une carte probabiliste de dureté en domaine de socle altéré
 Flowchart for a probabilistic hardness map in a weathered basement area.

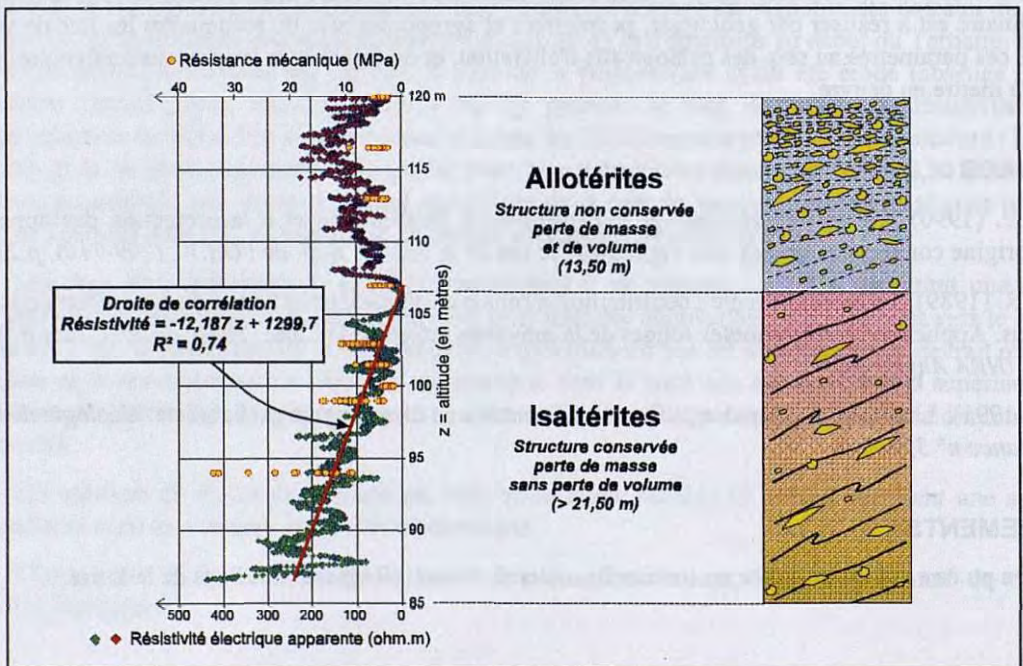


Figure 3 - Sainte-Christine (Maine-et-Loire) - Profil de résistivité électrique et mesures au pénétromètre
 Sainte-Christine (Maine-et-Loire Dept.) - Electrical resistivity profile and penetrometer readings
 (Mesures réalisées avec la participation financière du Conseil Régional des Pays de la Loire)