

METHODOLOGIES POUR ETUDIER LE SOL EN VUE D'UN ZONAGE VITICOLE

METHODOLOGY FOR SOIL STUDY AND ZONING

C. VAN LEEUWEN^{1 et 2*}; Ph. CHERY¹; J.-Ph. ROBY¹; D. PERNET¹; J.-P. GOUTOULY³ et
J.-P. GAUDILLERE³

¹ ENITA de Bordeaux, 1 Crs du Général de Gaulle, BP 201, 33175 Gradignan-Cedex, France

² Faculté d'Œnologie, 351 Crs de la Libération, 33405 Talence-Cedex, France

³ INRA-Agronomie, BP 81, 33883 Villenave d'Ornon, France

* Pour correspondance k-van-leeuwen@enitab.fr

Mots clés : terroir, sol, zonage, cartographie, vigne, régime hydrique, télédétection, viticulture de précision, indicateurs physiologiques, secteur de référence, Système d'Information Géographique (S.I.G.)

Key words : terroir, soil, zoning, mapping, vine, water status, remote sensing, precision viticulture, physiological indicators, reference sector, Geographical Information System (G.I.S.)

RESUME

La caractérisation des sols en vue d'une étude de terroirs viticoles peut être réalisée à différents niveaux de complexité, suivant le nombre de variables pris en compte et suivant le fait que celles-ci sont spatialisées ou non. La cartographie des sols est une approche très complète, notamment lorsqu'elle s'appuie sur des cartes géologiques et géomorphologiques réalisées au préalable. Néanmoins, même si elle est très détaillée, la caractérisation des sols reste par définition descriptive. Pour expliquer le lien entre le terroir, la qualité des vins et leur typicité, il faut prendre en compte les interactions qui existent entre la vigne et son environnement (sol et climat) : c'est le domaine de l'écophysiologie. Les études écophysiologiques sont pluridisciplinaires et ont le défaut d'être lourdes à mettre en œuvre. Plusieurs équipes ont proposé des méthodologies pour alléger les études de sol. Lorsqu'on doit réaliser une étude sur une grande surface, on peut réaliser au préalable une cartographie à grande échelle sur un secteur de référence pour établir des lois de distribution des sols. Etant donné l'importance de la profondeur du sol sur le fonctionnement de la vigne, un modèle roche-altération-altérite a été proposé. La télédétection peut alléger le travail à réaliser sur le terrain et permettre de cartographier des pédo-paysages. Des indicateurs physiologiques peuvent renseigner sur l'état nutritionnel de la vigne (eau et éléments minéraux), en relation avec l'offre du sol. Ces indicateurs permettent de générer différentes couches d'information sur le fonctionnement de la vigne, qui peuvent être complétées par de l'information concernant le sol et la qualité des raisins et valorisées à travers le concept de la viticulture de précision. Ceci aboutira à terme à de véritables études écophysiologiques spatialisées.

ABSTRACT

Soil is an important factor of "terroir". Soil studies can be more or less complex depending on the number of variables taken into account and depending on whether they are spatialized or not. Soil mapping, carried out after preliminary geological and geomorphological studies, is an interesting approach. Nevertheless, the interactions between the soil, the climate and the vine have to be taken into account by means of an ecophysiological approach to explain how "terroir" acts on vine behaviour, wine quality and wine style. Because "terroir" studies are very time consuming and therefore expensive, several lightened methodologies have been developed. When the soils of a large area have to be mapped at a small scale, a small representative reference sector can be mapped previously at a large scale. The reference sector will provide soil distribution laws that can be applied to the large area. To simplify the soil mapping, soils can be grouped depending on their depth, which is a determining factor in water and nutrient supply to the vines. Remote sensing can help to reduce soil sampling density. Physiological indicators can be used to assess vine water and nitrogen supply, in relation to the soil type. Several layers of information about the soil, the vine development and berry constitution can be related in a Geographical Information System (G.I.S.). Precision viticulture is the application of this technique to assess variability inside a plot of vines. Although it is still a relatively new approach, it is a powerful tool that can provide a spatialized ecophysiological approach of "terroir".

INTRODUCTION

La notion de "terroir viticole" fait intervenir de nombreux facteurs. Ils peuvent être regroupés en facteurs de l'environnement naturel (sol, climat, topographie), facteurs biologiques (cépage, porte-greffe, âge du peuplement) et facteurs humains (historiques et technologiques ; SEGUIN, 1983). L'originalité de la réponse de la vigne en termes de « qualité » et « typicité » de la production dépend largement des nombreuses interactions qui existent entre ces différents facteurs. Le plus souvent il est impossible de définir l'optimum de chacun de ces facteurs lorsqu'ils sont considérés seuls. Par exemple, le climat idéal pour la culture de la vigne n'existe pas. On peut en revanche affirmer que la production d'un grand vin nécessite une parfaite adéquation entre la précocité du cépage et les conditions pédo-climatiques de l'endroit où il est cultivé.

De nombreux travaux consacrés à la notion de terroir viticole mettent en avant l'importance du sol (SEGUIN, 1970 ; DUTEAU *et al.*, 1981 ; MORLAT, 1989 ; VAN LEEUWEN, 1991). Même si ce n'est pas le seul facteur du terroir, son action est déjà fort complexe, ce qui rend son étude difficile. Le sol est le résultat de processus de pédogénèse qui ont agi sur le matériau géologique. Pour caractériser le sol, on peut faire appel à des sciences aussi diverses que la géologie, la géomorphologie, la pédologie, l'agronomie, la microbiologie, l'écophysologie et la télédétection, qui intègrent les différentes caractéristiques du sol. Cette caractérisation peut être ponctuelle ou spatialisée. Les études les plus complètes partent d'une approche pluri-disciplinaire. Elles sont nécessairement lourdes et coûteuses. Plusieurs méthodologies ont été développées pour alléger ces études avec pour objectif d'atteindre un compromis raisonnable entre la qualité de l'information générée, nécessaire pour bien caractériser le terroir, et le temps de même que le coût investis pour obtenir cette information.

DIFFERENTES APPROCHES POUR ETUDIER LE SOL

Une étude de sol peut être plus ou moins complète suivant le nombre de variables pris en considération. L'information peut être soit ponctuelle, soit spatialisée. Le niveau de complexité le plus élevé est atteint lorsqu'on prend en considération les paramètres de fonctionnement de la vigne.

Etudes ponctuelles

Le plus simple moyen de caractérisation d'un sol viticole est l'analyse de sol réalisée sur un prélèvement effectué à l'aide d'une tarière. De telles analyses sont peu coûteuses, mais leur intérêt reste limité. Elles peuvent éventuellement aider à raisonner la fertilisation et à donner quelques éléments de choix du porte-greffe dans le cas d'une plantation, mais elles ne permettent pas de définir le type de sol. L'étude d'une fosse pédologique, avec description et analyse de chaque horizon, présente l'avantage de permettre l'identification du type de sol. Comme elle prend en compte la majeure partie du sol explorée par les racines, elle permet de renseigner sur l'importance de la réserve hydrique du sol et sa fertilité minérale (azote total et cations échangeables notamment). Elle permet donc d'affiner le choix du porte-greffe, ainsi que le conseil de fertilisation et d'entretien du sol.

Que ce soit sur les prélèvements de sol ponctuels ou sur des prélèvements d'horizons d'une fosse pédologique, la plupart de laboratoires proposent des analyses physiques (granulométrie, humidité équivalente) et chimiques (capacité d'échange cationique, cations échangeables, carbone, azote, phosphore). Plus récemment est apparue sur le marché une offre pour des analyses microbiologiques du sol. Si l'on doit souligner l'importance de la microbiologie du sol dans le cycle de l'azote et sur la pédogénèse, des analyses microbiologiques présentent un intérêt limité pour caractériser le terroir viticole, tout au moins dans l'état actuel des connaissances. D'abord, la microflore du sol est variée et chaque micro-organisme a un rôle différent. Aucun indicateur ne permet actuellement de prendre en compte cette diversité (CHAUSSOD, 1999). Par ailleurs, aucune étude sérieuse ne montre un quelconque lien entre l'activité microbiologique du sol et la qualité et la typicité du vin, même si un tel lien est parfois évoqué. Cette hypothèse trouve probablement son origine dans une application des principes de l'agriculture biologique à la viticulture, sans tenir compte des spécificités de la culture de la vigne. En maraîchage ou en céréaliculture biologique, lorsque l'on cultive en l'absence d'engrais de synthèse, le premier facteur limitant pour atteindre un niveau de production raisonnable est la fourniture en azote du sol pour la plante. Dans ces conditions, il est logique que les agriculteurs cherchent à augmenter la libération de l'azote par la matière organique du sol, en augmentant sa quantité (ajout de compost) et en accélérant sa minéralisation (stimulation de la vie microbienne du sol). Une des particularités de la vigne est son faible besoin en azote, car les exportations se limitent à une vingtaine de kg par hectare et par an seulement pour un rendement de 50 hl/ha. En viticulture, pour des productions de qualité, l'apport d'azote minéral est loin d'être systématique. Il n'est donc pas nécessaire en viticulture biologique de procéder à des apports massifs de compost et à une stimulation de la vie microbienne du sol. On peut même affirmer que cette pratique peut entraîner une alimentation en azote de la vigne excessive, ce qui augmente la vigueur de la vigne, réduit la coloration des baies et augmente leur sensibilité à la pourriture grise (CHONE *et al.*, 2001a).

Spatialiser l'information par le biais de la cartographie

La cartographie permet de spatialiser l'information géologique (cartes géologiques), les formes de relief (cartes géomorphologiques) ou les types de sol (cartes pédologiques). Chacun de ces types de carte présente un intérêt par rapport à la caractérisation du terroir viticole et ils sont complémentaires. Dans une certaine mesure, les cartes géologiques et géomorphologiques sont un préalable à la réalisation de cartes pédologiques, car la distribution des sols dans le paysage dépend de la géologie et des formes de relief. Concernant les cartes géomorphologiques, on peut signaler que l'utilisation de Modèles Numériques de terrain (M.N.T.) peut considérablement diminuer leur coût de réalisation. Cependant, parmi ces trois types de cartes, les cartes pédologiques sont les plus utiles, à la fois pour le zonage viticole et pour la gestion technique des propriétés viticoles. Les cartes pédologiques avec leur notice renseignent non seulement sur le type de sol et leurs caractéristiques chimiques mais également sur leur texture, le niveau d'hydromorphie et la teneur en calcaire, qui sont autant d'informations pertinentes en viticulture. Pour que leur utilisation soit le plus large possible, il faut que la légende soit construite à partir du Référentiel Pédologique Français (R.P.F.). On peut faire appel à des dénominations locales de types de sol, mais seulement en complément de la dénomination R.P.F.

Une carte est le plus souvent la synthèse de plusieurs couches d'informations. Leur gestion est largement facilitée par les Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.). Ils permettent notamment l'édition de cartes thématiques, qui représentent seulement une fraction de l'information contenue dans la carte initiale (niveau d'hydromorphie, teneur en matière organique, pourcentage d'éléments grossiers...).

Echelle, champ et résolution

Une carte correspond à un secteur (« champ ») qui est représenté à une certaine échelle. L'échelle varie, le plus souvent, de façon inversement proportionnelle par rapport à l'étendu du champ. Lorsque l'on souhaite zoner une grande région viticole, on choisit en règle générale une petite échelle pour conserver une vision synthétique, par exemple 1/100 000^e. A l'inverse, lorsque l'on cartographie une propriété viticole, on a besoin du détail que fournira une carte à grande échelle, par exemple 1/2500^e ou 1/5000^e. Pour une petite appellation une échelle intermédiaire peut être choisie, 1/10 000^e ou 1/25 000^e.

La résolution fait référence à la densité d'échantillonnage. Elle doit être adaptée à l'échelle : la grande précision d'une carte à grande échelle nécessite un nombre de sondages et de fosses élevé. Il faut impérativement que la densité d'échantillonnage soit adaptée à l'échelle (tableau 1 ; VAN LEEUWEN et CHERY, 2001). Toute tentative de diminuer la densité d'observations en dehors des fourchettes communément admises, s'apparente à de la tromperie. Il est impératif lors d'un appel d'offre pour une carte des sols de préciser le nombre de sondages et de profils à réaliser au minimum en tenant compte de la surface à cartographier et de l'échelle.

Les études écophysiologicals

Aucune étude de sol, qu'elle soit ponctuelle ou spatialisée, qu'elle fasse appel à la géologie, la géomorphologie ou la pédologie, qu'elle s'appuie sur la physique du sol, la chimie du sol ou la micro-biologie du sol, n'a le pouvoir d'expliquer la relation entre le terroir d'une part et la qualité et la typicité du vin d'autre part. L'étude du sol peut caractériser avec plus ou moins de pertinence, mais elle reste descriptive.

Seules des études écophysiologicals, qui prennent en compte les interactions de la vigne avec son environnement (sol et climat), peuvent avoir comme prétention d'expliquer son fonctionnement et les mécanismes qui déterminent la constitution du raisin.

Des études écophysiologicals ont été menées dans de nombreuses régions viticoles : Val de Loire (MORLAT, 1989), Alsace (LEBON, 1993) et dans de nombreuses appellations du Bordelais : Médoc (SEGUIN, 1970 ; CHONE *et al.*, 2001a), Saint-Emilion (VAN LEEUWEN et SEGUIN, 1994) et Entre-Deux-Mers (CHONE, 2001). Elles ont été une source de progrès considérable dans la compréhension du fonctionnement des terroirs viticoles. Ces travaux présentent néanmoins deux obstacles à leur généralisation : dans l'état actuel des connaissances elles sont ponctuelles et pas toujours faciles à extrapoler (spatialiser) et leur coût de mise en œuvre est très élevé. Cet état de fait a conduit de nombreuses équipes à développer des méthodologies pour alléger les études de sol et de terroir ayant pour objectif le zonage viticole.

EXEMPLES DE DIFFERENTES APPROCHES POUR ALLEGER LA METHODOLOGIE D'ETUDES DE SOL ET DE TERROIR

Le zonage climatique et pédologique, la méthode de la Chambre d'Agriculture de l'Aude

Cette méthode est intéressante, car elle prend en compte le climat, la vigne et le sol (ASTRUC *et al.*, 1984 ; pour une présentation détaillée de la méthode, consulter également HUGLIN et SCHNEIDER, 1998 ; MORLAT, 2001). Elle propose une hiérarchisation des facteurs qui interviennent dans le terroir. Le premier facteur pris en compte est le climat à l'échelle 1/50 000^e. Le cépage doit être adapté aux conditions offertes par le milieu. On sait que pour produire un grand vin, le cépage doit arriver à maturité sous les conditions climatiques locales ; cependant, s'il arrive à maturité trop rapidement, la finesse et la fraîcheur des vins sont altérées. Ensuite, le facteur sol est cartographié à l'échelle du 1/25 000^e. Les auteurs de cette étude considèrent la réserve utile comme le facteur lié au sol le plus important, suivi par la présence ou non de carbonates et la chimie du sol. Ce travail a permis un zonage pertinent du vignoble audois. Il n'est cependant pas facile de transposer la méthodologie à des vignobles avec de moindres contrastes climatiques. On peut néanmoins retenir l'importance de la réserve utile des sols, qui varie avec sa profondeur et sa teneur en éléments grossiers.

La méthode des secteurs de référence et de la typologie des sols

Cette approche est celle du programme Inventaire, Gestion et Cartographie des Sols (I.G.C.S.). Elle est basée sur le principe que la répartition des sols répond à des lois de distribution, liés notamment à la géologie et au relief. Dans un premier temps, un petit secteur de référence de quelques centaines d'hectares est choisi pour sa représentativité par rapport à un secteur plus grand qui doit être cartographié. Le secteur de référence est cartographié avec les méthodes classiques (sondages, profils, voir tableau 1) à l'échelle 1/5000^e ou 1/10 000^e. Les lois de distribution des sols sont déduites de cette carte à grande échelle et utilisés pour cartographier un secteur beaucoup plus grand à l'échelle 1/250 000^e.

La méthode des secteurs de référence est notamment appliquée dans le vignoble des Charentes, dans le cadre de la reconversion du vignoble (CAM *et al.*, 2002). Les profils étudiés sur chaque type de sol sont regroupés dans un document appelé « typologie des sols », qui propose une clé de détermination des sols à l'aide de critères simples, utilisables sur le terrain (texture, charge en éléments grossiers, effervescence à l'acide chlorhydrique 1/3, couleur, proximité de la roche-mère...). Un comité d'experts évalue les potentialités de chaque type de sol, associé à un conseil viticole (cépages et porte-greffes recommandés) et agronomique (fertilisation, entretien du sol). L'information contenue dans la typologie n'est pas spatialisée, mais grâce à la clé de détermination des sols elle peut être très facilement valorisée par des conseillers agricoles. Ceci évite les erreurs liées à une imprécision des cartes à petite échelle. Ainsi, un conseil viticole à la parcelle élaboré à partir d'une typologie des sols est beaucoup plus pertinent que celui extrait d'une carte à échelle inférieure ou égale à 1/50 000^e.

La méthode des Unités Terroir de Base (U.T.B.)

L'Unité Terroir de Base correspond à une entité homogène sur le plan du fonctionnement terroir-vigne-vin. Elle présente une surface suffisante pour une valorisation par le viticulteur sur le plan agronomique et commercial. Son étude repose, entre autres, sur une caractérisation cartographique à une même échelle de deux grandes composantes du milieu naturel: géologie et agro-pédologie.

La nature géologique de la roche-mère permet de circonscrire géographiquement l'U.T.B. Par exemple, dans les Coteaux du Layon (Val de Loire) l'U.T.B. "Métagrauwaque vert, gris-noir à ocre, parfois friable du Briovérien" ne peut être trouvée que là où le Briovérien (étage du Précambrien) affleure. La nature de la roche (lithologie) est également prise en compte. Elle est à l'origine du pool géochimique et minéralogique susceptible d'orienter la pédogénèse. Par ailleurs, la nature de la roche permet ou non une prospection par les racines, ce qui peut notamment avoir des conséquences sur le régime hydrique de la vigne.

La deuxième composante du milieu naturel cartographiée est la nature du sol (composante agro-pédologique). Sa caractérisation est la plus coûteuse, car elle présente souvent une forte variabilité à courte distance, ce qui nécessite une forte densité de levés (sondages et profils). Pour alléger la méthodologie, Morlat (MORLAT *et al.*, 1998) propose un modèle de terrain qui distingue trois sortes de milieux :

- Roche: sol peu profond et souvent très caillouteux, roche-mère à moins de 70 cm de profondeur
- Altération: sol moyennement profond (70 à 120 cm)
- Altérite: sol profond (roche-mère au-delà de 120 cm de profondeur), peu à pas caillouteux, souvent argileux.

Dans le sens roche-altération-altérite, la réserve en eau du sol augmente, son pédo-climat est de plus en plus frais et le système racinaire de la vigne est susceptible de prospecter de plus en plus en profondeur. La validation de ce modèle en Val de Loire montre qu'il peut être utilisé sur environ 65% de la superficie viticole (MORLAT, 2001). Il ne donne pas de résultats satisfaisants sur des alluvions.

Les apports de la télédétection

La cartographie des sols est une opération coûteuse à cause du temps nécessaire à collecter des informations sur le terrain. La télédétection peut permettre d'alléger la densité des sondages. Sur des images satellitaires il est possible de distinguer le type de végétation (vigne, forêt, prairies...). Sous vigne, 70% de l'image est représentée par la surface du sol. Les composantes du sol visibles sur l'image sont la couleur, la rugosité, l'humidité, la teneur en fer total et la teneur en calcaire (GIRARD, 1995). En utilisant parallèlement un Modèle Numérique de Terrain (M.N.T.), qui renseignera sur l'altitude et le relief, on peut cartographier des pédopaysages (VAUDOURE, 2000). Le pédopaysage représente le sol et le paysage associé (végétation, géomorphologie, roche-mère, hydrologie, activités humaines; GIRARD et GIRARD, 1999).

L'utilisation d'indicateurs physiologiques

Le sol agit sur le comportement de la vigne essentiellement à travers la fourniture en eau et en éléments minéraux. Parmi les éléments minéraux, l'azote est le plus susceptible d'influencer l'expression végétative de la vigne et la constitution du raisin. Lorsque la fertilisation azotée est faible ou nulle, ce qui est souvent le cas dans les vignobles de cru, l'offre en azote est liée à des propriétés du sol telles que sa teneur en matière organique et la vitesse de minéralisation de la matière organique. Cette dernière dépend de la température du sol, du pH, de l'aération, de l'humidité du sol, de la biomasse microbienne et du rapport C/N de la matière organique et peut donc être considérée comme une composante du terroir (VAN LEEUWEN *et al.*, 2000b). L'offre en eau ou en azote n'est pas toujours facile à quantifier à partir d'une analyse de sol ou d'un profil et encore moins facilement cartographiable. En revanche, on peut quantifier directement sur la vigne son état nutritionnel, qui est en rapport avec l'offre de l'environnement: c'est le principe des indicateurs physiologiques.

Depuis une dizaine d'années, les chercheurs de l'ENITA, de l'INRA et de la Faculté d'oenologie de Bordeaux ont proposé ou amélioré de nombreux indicateurs physiologiques sur la vigne. Concernant l'alimentation en eau de la vigne, on peut citer le potentiel tige (CHONE *et al.*, 2001b), la micromorphométrie (VAN LEEUWEN *et al.*, 2000a) et le delta C13 mesuré sur les sucres du moût à maturité (VAN LEEUWEN *et al.*, 2001; GAUDILLERE *et al.*, 2002). Concernant la nutrition azotée de la vigne, on peut citer l'intensité de la coloration verte des limbes des feuilles mesurée par N-tester (VAN LEEUWEN *et al.*, 2000b) et la teneur en azote total ou en azote assimilable du moût à maturité (VAN LEEUWEN *et al.*, 2000b; CHONE *et al.*, 2001a). Parmi ces indicateurs, le delta C13 et l'azote assimilable du moût à maturité permettent d'évaluer en routine, sans autre visite sur le terrain que le prélèvement, le régime hydrique de la vigne pendant la période de maturation et son alimentation en azote. L'accessibilité de l'information permet de multiplier les points de mesures en vue d'une spatialisation de l'information recueillie. Ainsi il est possible de cartographier le niveau d'alimentation en eau des différentes parcelles d'une exploitation (figure 1a) et de le comparer avec la carte des sols (figure 1b). On constate par exemple qu'en 2000 sur cette propriété les sols graveleux sont caractérisés par une forte contrainte hydrique (valeur faiblement négative du delta C13).

L'offre en eau et en azote est souvent liée à la profondeur du sol. Sur des sols peu profonds (par exemple en haut de coteau, où le profil est constamment rajeuni par l'érosion) l'alimentation en eau de la vigne est limitée par le faible volume de terre exploré par les racines. En revanche, sur un sol profond (bas de coteau où il y a une accumulation de matériau par colluvionnement) le sol est souvent riche en matière organique et l'enracinement profond met à disposition de la vigne des réserves en eau considérables. Cette vision va à l'encontre d'une idée largement répandue qu'une viticulture de qualité serait conditionnée par un enracinement profond de la vigne. Nos observations dans le Bordelais vont plutôt dans le sens contraire, à une exception notable: les sols graveleux. Dans les sols graveleux, la forte proportion d'éléments grossiers limite la fertilité hydrique et minérale du sol, même si l'enracinement de la vigne est profond. Il a par ailleurs été montré, dans ces milieux très filtrants, qu'un enracinement profond peut être un facteur de régulation du régime hydrique favorable à la qualité (SEGUIN, 1970).

La viticulture de précision

En appliquant les principes de l'agriculture de précision à la viticulture, on arrive au concept de viticulture de précision. Elle est encore à un stade embryonnaire, mais elle est très prometteuse, non seulement pour la pratique viticole mais également pour faire progresser les connaissances sur les terroirs viticoles. La viticulture de précision est basée sur la spatialisation des variables d'état et des variables de fonctionnement à l'échelle intra-parcellaire. Les principales variables d'état sont liées au sol et contenues dans une cartographie à grande échelle: type de sol, texture, profondeur du sol, réserve utile.... Cette cartographie peut être réalisée avec une grande précision à l'aide d'outils de géophysique. Les variables de fonctionnement doivent être acquises soit par la télédétection (indices de végétation), soit par des capteurs embarqués sur des machines agricoles (capteurs de rendement, de la teneur en sucre du raisin), soit par des indicateurs physiologiques sur un grand nombre de placettes (azote assimilable du moût à maturité pour estimer l'offre en azote du sol, delta C13 sur les sucres du moût à maturité pour évaluer l'alimentation en eau de la vigne). Les différentes couches d'information sont gérées par un Système d'Information Géographique (S.I.G.), qui permet notamment de les croiser. L'intérêt de cette nouvelle technologie pour le viticulteur est de proposer une véritable gestion intra-parcellaire en ce qui concerne les intrants (fertilisation, quantité de produits de traitement), l'entretien du sol (partie de parcelle enherbée par exemple) ou de sélection de récolte (en fonction du rendement ou de la teneur en sucre). Mais la viticulture de précision peut également faire progresser les connaissances sur les terroirs. En utilisant des méthodes géostatistiques, on peut mettre à profit la variabilité intra-parcellaire pour hiérarchiser l'influence des variables de fonctionnement (alimentation en eau, offre en azote) sur la qualité de la récolte. On peut ainsi réaliser de véritables études écophysologiques spatialisées.

CONCLUSION

Une étude de terroir viticole peut être plus ou moins complexe, suivant le nombre de variables prises en compte. On peut également distinguer les études ponctuelles et les études spatialisées. Seule une étude prenant en compte des variables d'état (sol, climat), des variables de fonctionnement (régime hydrique, nutrition minérale) ainsi que la réponse de la vigne (expression végétative, constitution du raisin) peut avoir la prétention de fournir une explication à l'influence du terroir sur la qualité du vin. Les autres études restent à un niveau descriptif.

Etant donné la lourdeur d'une démarche pluridisciplinaire, plusieurs équipes ont proposé des méthodologies allégées. Elles reposent souvent implicitement sur une hiérarchisation des facteurs du terroir en fonction de leur incidence réelle sur la qualité et la typicité du vin. Tous les auteurs se rejoignent pour souligner l'importance du climat et du sol. Concernant le climat, il est logique qu'il ait été le plus étudié dans les régions où la variabilité climatique est importante, comme dans l'Aude ou en Alsace (LEBON, 1993). Concernant le sol, la physique du sol (texture, structure, profondeur, taux d'éléments grossiers) possède une influence plus forte dans l'effet terroir que la chimie du sol. La probabilité d'installation d'une contrainte hydrique, proportionnelle à la charge en éléments grossiers et inversement proportionnelle à la profondeur du sol, est un facteur déterminant de la qualité dans toutes les régions viticoles. Parmi la chimie du sol, l'offre en azote est la plus susceptible d'influencer le comportement de la vigne. L'utilisation de nouvelles techniques, et notamment la télédétection, les indicateurs physiologiques, les capteurs embarqués sur les machines agricoles, la géophysique et les Systèmes d'Information Géographiques peuvent compléter et alléger le travail de cartographie du sol, qui reste néanmoins un élément incontournable de l'étude du terroir viticole.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTRUC H., HERITIER J. et JACQUINET J.-C., 1980. Zonage des potentialités agricoles, méthode appliquée à la viticulture. *Chambre Agriculture de l'Aude*, 55p.
- CAM C., 2002. Le zonage viticole appliqué, basé sur la méthode des secteurs de référence en vignoble de Cognac (France). *IV^e Symposium International sur le zonage viticole, Avignon*, 17-20 juin, sous presse.
- CHAUSSOD R., 1999. Impacts des pratiques agro-viticoles sur les caractéristiques biologiques des sols. *Compte rendu des Journées techniques du C.I.V.B.*, 16-18.
- CHONÉ X., 2001. Contribution à l'étude des terroirs de Bordeaux : étude des déficits hydriques modérés, de l'alimentation en azote et de leurs effets sur le potentiel aromatique des raisins de *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc. *Thèse de Doctorat. Université Bordeaux II*, 188p.
- CHONÉ X., VAN LEEUWEN C., CHERY Ph. and RIBEREAU-GAYON P., 2001a. Terroir influence on water status and nitrogen status of non irrigated Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera*): vegetative development, must and wine composition. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **22**, n°1, 8-15.
- CHONÉ X., VAN LEEUWEN C., DUBOURDIEU D. et GAUDILLERE J.-P., 2001b. Stem water potential is a sensitive indicator of vine water status. *Annals of Botany* **87**, 477-483.
- GAUDILLERE 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.
- GIRARD M., 1995. Apport de l'interprétation visuelle des images satellitaires pour l'analyse spatiale des sols. Un exemple dans la région de Lodève. *Etude et Gestion des Sols*, **2**, n°1, 7-24.
- GIRARD M. et GIRARD C., 1999. Traitement des données de télédétection. Ed. Dunod, Paris. 529 p. + CD-Rom.
- HUGLIN P. et SCHNEIDER Ch., 1998. Biologie et écologie de la vigne. Ed. Lavoisier Tec et Doc, Paris, 370p.
- LEBON E., 1993. De l'influence des facteurs pédo- et méso climatiques sur le comportement de la vigne et les caractéristiques des raisins. Application à l'établissement de critères de zonage des potentialités qualitatives en vignoble en climat semi-continental (Alsace). *Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne*, 167p. + annexes.
- 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 Doctorat d'Etat, Université Bordeaux II*, 289 p. + annexes.
- MORLAT R., 2001. Terroirs viticoles: étude et valorisation. Ed. Collection Avenir Œnologie, 118p.
- MORLAT R., GUILBAULT P., THELIER-HUCHE L. et RIOUX D., 1998. Etude intégrée et allégée des terroirs viticoles en Anjou: caractérisation et zonage de l'Unité de Terroir de Base, en relation avec une enquête parcellaire. *2e Symposium International "territoire et vins"*, Siene, 197-220.
- SEGUIN G., 1970. Les sols viticoles du Haut-Médoc. Influence sur l'alimentation en eau de la vigne et sur la maturation du raisin. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université Bordeaux II*.

SEGUIN G., 1983. Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges. *Bull. O.I.V.*, **56**, (623), 3-18.

VAN LEEUWEN C., 1991. Le vignoble de Saint-Emilion: répartition des sols et fonctionnement hydrique. Incidences sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin. *Thèse de Doctorat Université Bordeaux II*, 154 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-Emilion, 1990). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **28**, n°2, 81-110.

VAN LEEUWEN C. et CHERY Ph., 2001. Quelle méthode pour caractériser et étudier le terroir viticole : analyse de sol, cartographie pédologique ou étude écophysiological ? *In : Un raisin de qualité : de la vigne à la cuve, n° Hors Série du J. Int. Sci. Vigne Vin*, 13-20.

VAN LEEUWEN C., LERICH O., RENARD R., TREGOAT O. and P.-L. ALLA., 2000a. Micromorphometric changes in trunk diameter in relation to mild water stress in field grown vines. *J. Int. Sci. Vigne Vin*. **34**, n°2, 41-47.

VAN LEEUWEN C., FRIANT Ph., SOYER J.-P., MOLOT C., CHONÉ X. et DUBOURDIEU D., 2000b. L'intérêt du dosage de l'azote total et l'azote assimilable dans le moût comme indicateur de la nutrition azotée de la vigne. *J. Int. Sci. Vigne Vin*. **34**, n°2, 75-82.

VAN LEEUWEN C., GAUDILLERE J.P. et TREGOAT O., 2001. Evaluation du régime hydrique de la vigne à partir du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. *J. Int. Sci. Vigne Vin*. **35**, n°4, 195-205.

VAUDOUR E., 2000. Zonage viticole d'envergure macro-régionale: démarche et mise en oeuvre dans les Côtes du Rhône méridionales. *Progrès Agricole et Viticole*, **117**, n°1, 7-16.

Echelle	Nombre d'ha par sondage	Nombre d'ha par profil	Surface par jour (ha)	Coût à l'ha H.T. en Euros
1/2.500	0,1 à 0,2 (7 s./ha)	4 à 10	2 à 4	300 à 400
1/10.000	0,5 à 3	10 à 50	40 à 80	30 à 60
1/25.000	5 à 20	50 à 200	100 à 250	15 à 25
1/100.000	50 à 100	300 à 1000	500 à 1000	1,5 à 3
1/250.000	200 à 300	3000 à 5000	3000 à 9000	0,25 à 0,50

Tableau 1 - Densité idéale théorique du nombre de sondages et de profils pour une carte de sols à différentes échelles
D'après Legros et al., 1996 ; complété par Chéry, 2002

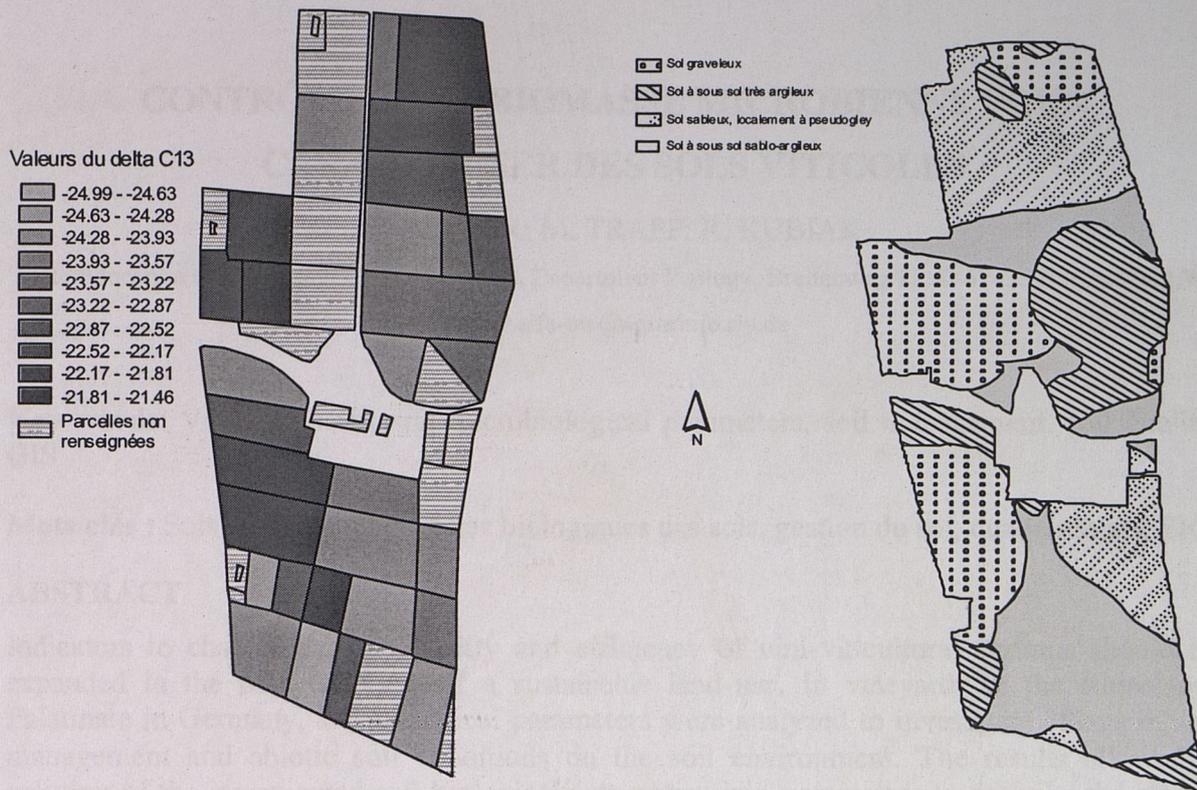


Figure 1. Comparaison entre l'intensité de la contrainte hydrique subie par la vigne, évaluée par la mesure du $\delta C13$ des sucres du moût en 2000 (a, à gauche) et la carte des textures de la même propriété (b, à droite). Les sols graveleux ont induit les plus fortes contraintes hydriques et correspondent aux parcelles avec les valeurs de $\delta C13$ les moins fortement négatives.