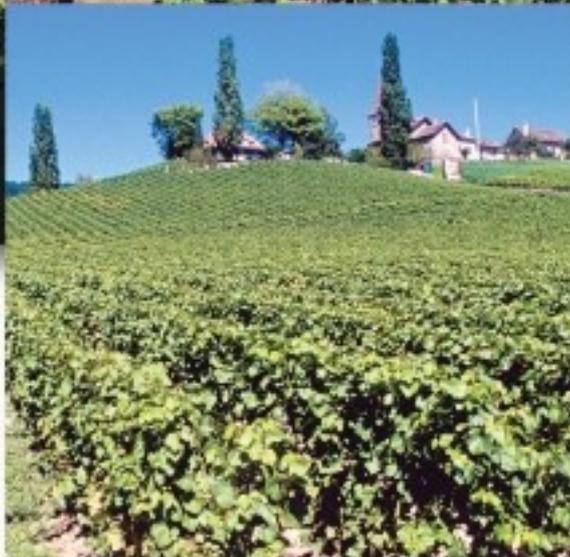


ÉTUDE DES TERROIRS VITICOLES VAUDOIS



Etude des terroirs viticoles vaudois

1. Méthodologie, organisation, perspectives

F. MURISIER, Agroscope RAC Changins, Centre viticole du Caudoz, CH-1009 Pully
C. BRIGUET, Prométerre, CH-1006 Lausanne

 E-mail: francois.murisier@rac.admin.ch
Tél. (+41) 21 72 11 560.

Introduction

A l'heure où l'ouverture du marché des vins tend à se généraliser, la plupart des régions viticoles s'interrogent sur la manière d'orienter leur production. Le vignoble suisse n'échappe pas à cette réflexion.

La mise en valeur des terroirs est un moyen d'exprimer l'originalité d'une région. Cette méthode a été largement utilisée par le passé et fait aujourd'hui encore la force de certains vins d'appellation d'origine. Des associations «sol-climat-cépage» ont fini par s'affirmer avec le temps et par se fondre dans une appellation géographique. L'expérience montre qu'il ne suffit pas de diviser les vignobles en appellations géographiques pour leur donner une notoriété. Celle-ci est le plus souvent antérieure à la dénomination d'origine et provient essentiellement d'une qualité des vins reconnue et confirmée au cours du temps. L'étude scientifique des terroirs intéresse actuellement de nombreuses régions viticoles, en particulier celles qui n'ont pas encore de système de classification des vignobles.

Le terroir est généralement défini comme l'aire viticole dont les caractéristiques pédoclimatiques et géographiques permettent de produire des vins reconnaissables et distincts de ceux issus d'autres provenances. Quels que soient les objectifs visés, la connaissance de la valeur des différents terroirs est très importante. Son analyse est toutefois extrêmement complexe, les facteurs naturels susceptibles d'influencer la qualité des vins étant nombreux. Des études faites ces dernières années, il ressort qu'un facteur pris isolément ne suffit pas à expliquer la valeur d'un terroir. Il faut au contraire intégrer plusieurs paramètres liés au sol, au climat et à la topographie. Il existe aujourd'hui des moyens informatiques très puissants capables d'intégrer ces divers para-

mètres. De nombreuses approches de caractérisation des terroirs ont été entreprises à ce jour, en particulier en France (VAN LEEUWEN *et al.*, 2002).

Avant d'entreprendre l'étude des terroirs du canton de Vaud, nous avons analysé les méthodes et les résultats obtenus dans les différentes régions concernées. Il apparaît que la méthode choisie dépend beaucoup de la situation et des objectifs visés et qu'une méthode utilisée dans une région ne peut pas être appliquée telle quelle dans une autre. Les objectifs recherchés dans l'étude des terroirs viticoles vaudois étaient de trouver une méthode applicable aux différentes régions viticoles du canton, de constituer un outil de travail utilisable au niveau du vigneron, d'une cave, d'une région ou du canton et de créer une base de données capable de recevoir l'ensemble des informations recueillies.

Le projet a été réalisé par l'Association pour l'étude des terroirs viticoles vaudois en collaboration avec plusieurs partenaires. Il a démarré en novembre 2000 et s'est terminé à fin avril 2004. La réalisation du projet a été possible grâce au financement de la Confédération (Commission pour la technologie et l'innovation) et des viticulteurs vaudois.

Méthodologie et organisation du projet

Dans les études de terroirs réalisées jusqu'ici, il est rare que soient intégrés à la fois les différents aspects liés au sol, au climat et au comportement de la plante. Dans un thème aussi complexe qui fait intervenir une multitude de facteurs, il a paru important de mettre en œuvre, dès le départ, des compétences multiples qu'on peut réunir seulement en associant plusieurs partenaires. Cette manière de procéder a offert des complémentarités et des synergies déjà en cours d'étude.

Ainsi, par exemple, l'étude du comportement de la plante entreprise dès le départ du projet a influencé et conforté les méthodes de caractérisation des sols, en particulier dans l'appréciation de leur réserve hydrique.

L'étude des **sols** s'est appuyée sur la géologie et la pédologie, en visant essentiellement à comprendre le fonctionnement des sols et en prenant largement en compte les connaissances du vigneron. Ce dernier a été largement intégré dans la démarche de caractérisation des sols (LETESSIER et FERMOND, 2004).

La caractérisation du **climat** a été faite à la fois en mettant en valeur les nombreuses données existantes et en utilisant la modélisation. Celle-ci a permis d'intégrer des facteurs essentiels tels que la température, le rayonnement solaire et la protection face aux vents dominants. Un indice climatique global intégrant différents facteurs a été mis au point (PYTHOUD, 2004).

L'étude du **comportement de la plante** a été faite sur un réseau d'une cinquantaine de parcelles de Chasselas réparties dans quatre zones pilotes du canton. La très bonne corrélation entre le comportement de la plante (croissance, poids des baies, accumulation des sucres) et la réserve hydrique des sols permet d'affirmer que la méthode utilisée pour caractériser les sols est pertinente. La mise en relation des stades phénologiques de la vigne (comme le débourrement) avec les entités climatiques identifiées par l'étude des terroirs a donné des résultats encourageants (ZUFFEREY et MURISIER, 2004).

Enfin, le **volet informatique** de l'étude assuré par l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne comporte deux éléments importants: la base de données capable d'accueillir toutes les informations enregistrées dans le projet et le système d'information géographique (SIG) qui permet, entre autres, de représenter cartographiquement toute information géographiquement numérisée.

Terroirs viticoles vaudois

Résultats et documents réalisés

L'ensemble des résultats est présenté sous la forme d'une série de documents à l'intention des vignerons, services de vulgarisation, écoles de viticulture, organisations et institutions viticoles. Ce sont:

-  des cartes des sols viticoles, grand format, pour chacun des secteurs étudiés dans le canton (17 cartes au total)
-  un rapport géo-pédologique pour chaque secteur comprenant un condensé de géologie viticole appliquée, ainsi que le détail des unités de sol du secteur considéré (14 rapports)
-  un dossier de seize cartes climatiques pour chacun des quatorze secteurs avec un texte explicatif vulgarisé (14 dossiers différents)
-  le rapport de l'étude physiologique sur le comportement de la vigne pour les quatre zones pilotes étudiées durant les trois millésimes du projet (2001 à 2003)
-  un CD-Rom par secteur contenant l'ensemble des documents cités précédemment.

Enfin, une version simplifiée des cartes pédologiques et climatiques pourra être consultée sur le site Internet de l'Etat de Vaud (www.geoplanet.ch).

Les trois publications qui suivent cette présentation (LETESSIER et FERMOND, 2004; PYTHOUD, 2004; ZUFFEREY et MURISIER, 2004) donnent une vision synthétique des principaux résultats obtenus.

Un outil pour le vigneron

Un des objectifs de l'étude des terroirs était de donner au vigneron un outil d'orientation et d'aide à la décision. Le vigneron va chercher à tirer le meilleur profit possible de ses sols et du climat. Le choix des techniques culturales (alimentation de la vigne, couverture des sols, systèmes de conduite) va influencer directement le comportement de la vigne et la qualité de ses produits.

La caractérisation des sols et des climats ne vise pas, en premier lieu, à établir un ordre hiérarchique de la qualité des terroirs. Elle permet, par contre, de les différencier et d'identifier leurs points faibles et leurs points forts. Le rôle capital du vigneron consiste à appliquer les techniques qui limitent les points faibles et valorisent les points forts. Par exemple, dans les sols à grand



Comment caractériser un terroir? Ici, le vignoble du Nord vaudois.

réservoir hydrique propice à la croissance végétative continue, le choix d'une technique appropriée d'enherbement des sols peut limiter l'approvisionnement en eau de la plante et favoriser la maturation du raisin. A l'inverse, on réduira au minimum la concurrence de la couverture herbeuse dans les sols à petit réservoir en eau.

Les grandes différences climatiques observées durant la période d'étude du comportement de la plante (années 2001 très humide et 2003 très sèche) ont montré que les points faibles d'un terroir pouvaient se transformer en facteurs de qualité dans une année particulière. Ainsi, en 2003, les sols à grand réservoir ont permis à la vigne d'éviter de subir un stress hydrique trop marqué. La caractéristique des grands terroirs viticoles est de donner des vins de qualité quelles que soient les conditions climatiques du millésime. Ces grands terroirs ont en particulier la capacité de limiter à la fois les effets des excès et des manques d'eau. Cette aptitude à réguler l'alimentation hydrique apparaît comme le principal facteur qualitatif d'un terroir.

Perspectives

L'étude des terroirs viticoles s'inscrit dans une dynamique à long terme. Il est envisagé actuellement de poursuivre le projet dans deux directions. La première consiste à étudier l'adaptation des cépages aux différents terroirs du vignoble vaudois. Pour cela, un réseau de plus de cent vingt parcelles a été implanté en 2003 avec différents cépages rouges et blancs répartis dans les principaux types de sols. Le suivi de ces

parcelles, qui ira jusqu'à la vinification, commencera en 2006 et devrait permettre d'établir des cartes de recommandations pour l'encépagement du vignoble. La deuxième orientation a pour objectif la création d'un réseau viticole interactif en profitant des énormes possibilités offertes aujourd'hui par le Web. Le développement d'un site Internet interactif au service des entreprises vitivinicoles du canton permettra de collecter une quantité importante d'informations techniques au niveau des entreprises ou des parcelles viticoles. La mise en valeur de ces données au moyen d'outils performants (SIG) permettra d'établir des relations intéressantes soit pour le producteur, soit pour l'ensemble d'une région. Il devrait être possible de relier, par exemple, des facteurs qualitatifs du raisin comme la teneur en sucre ou le taux de pourriture avec le type de sol ou une technique culturale utilisée.

Bibliographie

- LETESSIER I., FERMOND C., 2004. Etude des terroirs viticoles vaudois: caractérisation des sols. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **36** (4), 4-10.
- PYTHOUD K., 2004. Etude des terroirs viticoles vaudois: modélisation des paramètres climatiques. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **36** (4), 10-14.
- VAN LEEUWEN C., CHERY Ph., ROBY J.-Ph., PERNET D., GOUTOULY J.-P., GAUDILLÈRE J.-P., 2002. Méthodologies pour étudier le sol en vue d'un zonage viticole. In: Proceedings IV^e Symposium international sur le zonage vitivinicole, Tome I, 17-20 juin 2002, Avignon, France, 179-191.
- ZUFFEREY V., MURISIER F., 2004. Etude des terroirs viticoles vaudois: comportement physiologique et agronomique de la vigne. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **36** (4), 14-20.

Etude des terroirs viticoles vaudois

2. Caractérisation des sols

Isabelle LETESSIER et C. FERMOND, Bureau d'études SIGALES, FR-38410 Saint-Martin-d'Uriage

Summary

Study of wine-growing land («terroirs») characteristics in the canton of Vaud (Switzerland): characterisation of the soils

A cartographical method and tools to conserve and represent practically the data, adapted and accepted by the potential users has been developed and validated for the viticultural area of the canton of Vaud. This soil characterisation aims to define the different soils in the vineyards of the canton of Vaud, to bring a pertinent map at a mean scale and keys to refine the reflection at the plot level. A validation of the selected choices has been performed in parallel, thanks to the study of the plant (cv. Chasselas) realised by Agroscope Changins.

Key words: wine-growing land, «terroirs», characterisation of soils, cartographical method.

Introduction

L'étude qui a été conduite dans le vignoble vaudois reprend, en l'affinant sensiblement, un protocole mis au point depuis de nombreuses années dans le vignoble du Languedoc et des Côtes-du-Rhône. Sa particularité est d'inclure l'expérience des vignerons dans l'interprétation cartographique des observations. Ce volet consacré plus particulièrement à la compréhension et à la cartographie des sols est indissociable de ceux traités en parallèle par l'EPFL (base de données, climat) et par Agroscope RAC Changins (plante et synthèse). Le tout a été mené dans un réel esprit pluridisciplinaire.

Quatre zones pilotes ont été étudiées dans un premier temps pour la mise au point des méthodes et outils. Les résultats ont ensuite été appliqués à l'ensemble du vignoble vaudois, découpé pour l'occasion en quatorze secteurs regroupant une ou plusieurs appellations contiguës.

L'objectif visé est de fournir une typologie complète des sols et une synthèse pertinente au niveau cantonal. La réalité du terrain montre une très forte variabilité des horizons profonds souvent masquée par un horizon de surface fortement modifié par l'homme. Le choix a été fait d'une prospection de moyenne précision complétée par une solide action de sensibilisation et de formation qui permet au viticulteur de franchir lui-même la distance qui demeure entre la représentation cartographique et ses propres parcelles.

Rappelons que plus de 80% des sols viticoles vaudois présentent, à un degré ou à un autre, des stigmates du dernier passage glaciaire. La roche-mère qui contient les éléments du futur sol est donc particulièrement changeante et l'expression de cette roche, qui se transforme progressivement en sol, est elle aussi régie par les conditions particulières propres aux vignobles de reliefs accidentés: pentes soutenues, terrasses, remaniements, circulations latérales internes des eaux issues des reliefs dominants.

Méthodologie

Déroulement des études de secteurs (fig.1)

Etape 1: préparation et reconnaissance

Synthèse et analyse des documents disponibles, cartes géologiques, coupes, sondages à la tarière et profils existants, stéréophotographies aériennes infrarouges au 1/10 000^e. Campagne de prospection à la tarière (un sondage pour 2,5 ha en moyenne, soit une précision de moyenne échelle: 1/15 000^e environ). Préparation des minutes de terrain, de la légende et des documents supports de la première réunion avec les viticulteurs.

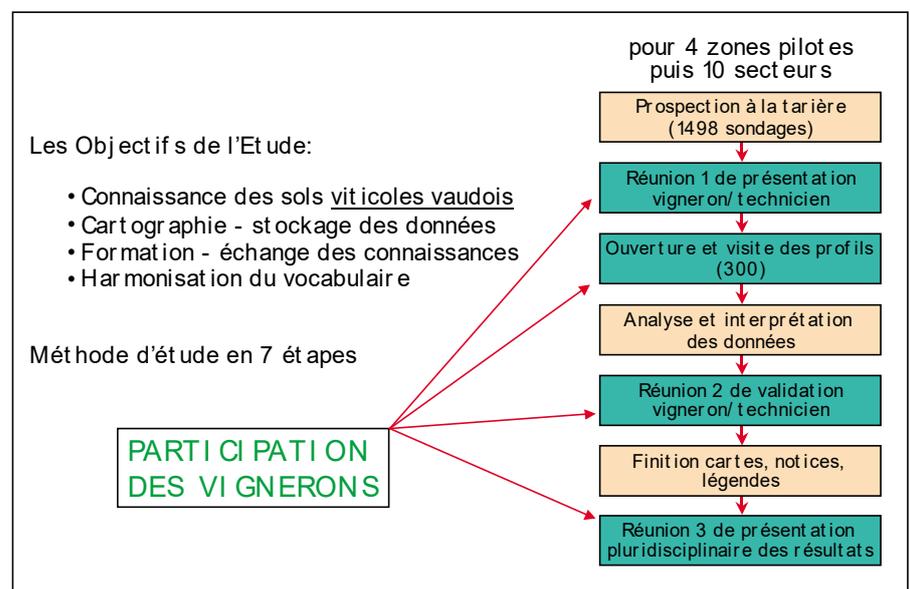


Fig. 1. Les sept grandes étapes des différentes phases d'acquisition et de traitement de l'information.

Terroirs viticoles vaudois

Étapes 2, 3 et 4: acquisition et mise en ordre des observations

Première réunion avec les viticulteurs: présentation et choix des emplacements des profils à creuser après étude de la première minute de carte.

Ouverture des profils par les vigneron, description et analyse des profils, prélèvements pour analyse.

Visites de terrain sur les profils les plus représentatifs, avec les viticulteurs et des conseillers. Apprentissage de la lecture d'un profil, évaluation du réservoir, comparaison de sols différents représentatifs de l'appellation.

Numérisation de la carte provisoire, rédaction de la légende, renseignement de la base de données: saisie des observations, édition des fiches de profils, des fiches d'unités, des schémas et des graphiques hydriques et racinaires.

Étape 5: validation et corrections

Séance de validation: explications, présentations, puis validation ou correction des unités de sols et des limites des unités avec les viticulteurs (trois à quatre heures).

Étapes 6 et 7: saisie, stockage et synthèse

Prise en compte des modifications et remarques dans l'élaboration de la carte, édition définitive des fiches de profils et des cartes, rédaction du rapport d'accompagnement.

Pour les quatorze secteurs, une présentation finale plus formelle de l'étude pluridisciplinaire complète a conclu provisoirement l'aventure.

Investigations et outils utilisés

Prospection

L'étude pédologique a été réalisée sur la base de 1400 sondages à la tarière, 300 profils et plus de 60 réunions de travail autour des cartes ou des profils. Les profils et analyses réalisés antérieurement ont été intégrés lors de la synthèse.

Base de données

La base de données a été conçue et progressivement mise au point par la chaire de SIRS de l'EPFL pour stocker les observations, mais aussi restituer les informations sous forme de fiches illustrées. Elle peut être mise en relation avec les étiquettes présentes sur les cartes. Cet outil ainsi que les fiches de saisie manuelles utilisées sur le terrain sont d'usage et d'adaptation faciles après une prise en main rapide. La base de données contient ainsi beaucoup plus d'informations sous forme codifiée que les fiches de restitution proprement dites. Les normes de codification ont été reprises en grande partie du Guide de description des sols (BAIZE et JABIOL, 1995), les listes de choix étant adaptées au contexte cantonal sans rechercher l'exhaustivité.

Cartographie et légende

Lorsque l'on parle de sols viticoles, il est indispensable d'ajouter à la description traditionnelle de type agronomique une brève caractérisation de la roche-mère à l'origine du sol, puisque les racines de la vigne plongent très souvent dans ces horizons de roche-mère.

Un type de légende original a été conçu qui contient l'essentiel des informations que l'on désire visualiser sur la carte, soit:

- L'origine géologique des sols, simple, ou parfois rendue complexe par la superposition de matériaux différents (= «sur autre roche-mère», < = «sous autre roche-mère»).
- Le degré d'évolution du sol dans ce contexte de roches initialement toujours calcaires (de 0, pour les REGOSOLS de roche brute à peine transformée, à 6, pour les LUVISOLS les plus évolués qui sont acides et lessivés, c'est-à-dire sensiblement plus argileux en profondeur qu'en surface).
- La profondeur moyenne d'enracinement, paramètre essentiel mais certainement le plus délicat à estimer (six classes).
- Et enfin, le degré éventuel d'excès d'eau (quatre classes de gravité croissante).

Chaque combinaison (étiquette de la carte) permet de prévoir un profil modal de l'unité de sol, mais aussi de comprendre les causes et l'amplitude de la variabilité des différents paramètres sensibles, comme ceux qui permettent de calculer par exemple la réserve hydrique (pierrosité et profondeur en particulier). Les nombreux phénomènes difficilement généralisables, très locaux, de transition progressive ou de recouvrement, sont traités par une palette de «variantes» juxtaposées au code.

Ainsi l'étiquette «2135,1 X+» peut-elle se lire comme suit: *sol issu de moraine rhodanienne caillouteuse de type latéral (21), calcique (3 = pH neutre et non calcaire sur 60 à 80 cm au moins, accompagné d'un affinage de la texture*

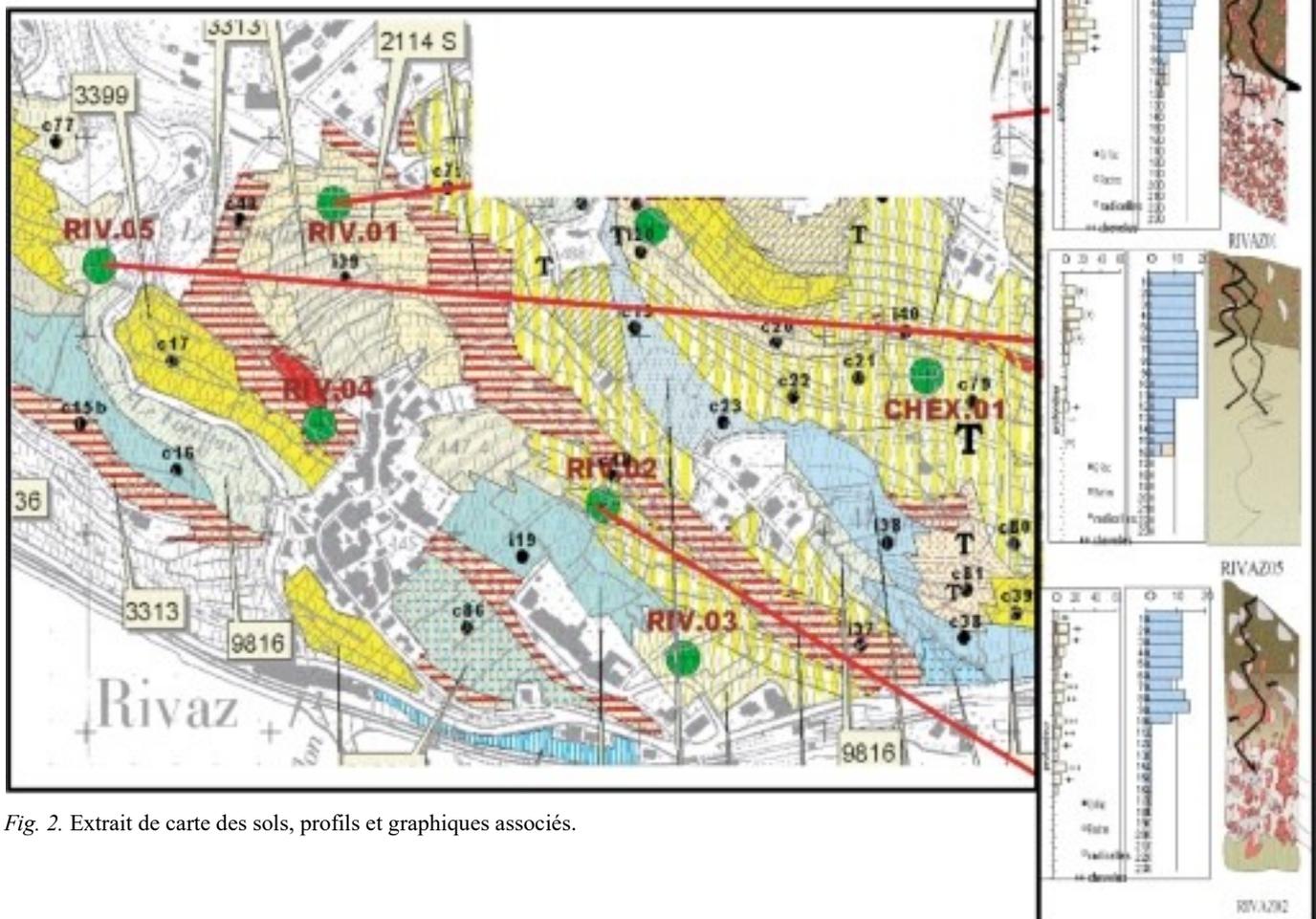


Fig. 2. Extrait de carte des sols, profils et graphiques associés.

Terroirs viticoles vaudois

Paramètres du sol			Paramètres racinaires					Zone de calcul				
Profondeur	Texture	Pierrosité	Gr Ra	Raci-nes	Radi-celles	ch	coef RacI	Coeff. Text.	Réserve utilisable par les racines	Réserve non utilisée	R totale	Cumuls (50 cm)
0-10	lsa	25%					1,00	1,6	12,00	-	12,00	12
10-20	lsa	25%					1,00	1,6	12,00	-	12,00	24
20-30	lsa	25%	8				1,00	1,6	12,00	-	12,00	36
30-40	lsa	20%	6				1,00	1,6	12,80	-	12,80	48,8
40-50	lsa	20%		18			1,00	1,6	12,80	-	12,80	62
50-60	lsa	15%		18	8		1,00	1,6	13,60	-	13,60	13,60
60-70	las	15%		2	8		1,00	1,75	14,88	-	14,88	28,475
70-80	las	15%			2		1,00	1,75	14,88	-	14,88	43,35
80-90	las	15%		2	++		1,00	1,75	14,88	-	14,88	58,225
90-100	ls	15%		4	++		1,00	1,2	10,20	-	10,20	68
100-110	s	15%			6	++	1,00	1	8,50	-	8,50	8,5
110-120	ls	50%			7	++	1,00	1,2	6,00	-	6,00	14,5
120-130	s	30%			7	++	1,00	1	7,00	-	7,00	21,5
130-140	sl	50%			7	++	1,00	1,1	5,50	-	5,50	27
140-150	sg	70%			4	+	1,00	0,5	1,50	-	1,50	29
150-160	ls	30%			4	+	1,00	1,2	8,40	-	8,40	8,4
160-170	l	50%			2	(+)	0,50	1,75	4,38	4,38	8,75	12,775
170-180	ls	50%			2	(+)	0,50	1,2	3,00	3,00	6,00	15,775
180-190	Sg	40%					0,10	0,5	0,30	2,70	3,00	16,075
190-200	Sg	10%					-	0,5	-	4,50	-	16
200-210							-	0	-	-	-	-
210-220							-	0	-	-	-	-
220-230							-	0	-	-	-	-

Fig. 3. Feuille de calcul des réserves estimées.

ture dans cet horizon) à enracinement profond (5 = 100 à 180 cm), à circulations d'eau temporaire profondes (-,1), les variantes X et + précisant dans ce cas: X un peu plus caillouteux que l'unité 2135, soit de 25 à 40% de cailloux arrondis de moraine, et + recarbonatation de l'horizon de surface, sur roche-mère de moraine calcaire et caillouteuse, à matrice en général variable (sableuse à silteuse). Pour cet exemple, l'incidence viticole est la suivante: si la réserve hydrique modale de l'unité 2135 est de 180 à 200 mm, celle de cette variante, un peu plus caillouteuse, est de 150 mm seulement.

La carte est numérisée en trois couches d'information (unités de sol, sondages et profils), la couche «unités de sol» étant assortie d'une table qui sépare pour chaque unité cartographique le code d'unité en quatre chiffres, l'hydromorphie et les variantes, le tout étant synthétisé dans une étiquette unique (fig. 2).

Estimation du réservoir hydrique

Dès que l'importance de la notion de réserve hydrique a été confirmée par l'étude de la plante dans le contexte climatique vaudois (ZUFFEREY et MURISIER, 2004), la méthode de représentation imagée des réservoirs hydriques a été automatisée pour pouvoir être facilement et rapidement appliquée aux très nombreux profils ouverts.

Rappels

La variabilité des réserves hydriques des sols viticoles peut s'échelonner entre 40 et 300 mm. Pour prendre en compte cette variabilité, il est préférable de choisir une méthode qui permette de réaliser rapidement un nombre élevé d'observations. Souvent profonds, caillouteux ou rocheux, ces sols se prêtent d'ailleurs mal à des caractérisations précises, qui ne sont évidemment pas exclues. Un outil de calcul et de représentation rapide a donc été mis au point. Utilisée depuis 1999 dans le cadre des études de terroirs, cette méthode permet une bonne représentation de la notion de réserve hydrique, fon-

damentale dans la compréhension des terroirs viticoles. Accompagnée d'un schéma de description du sol, cette représentation permet de mémoriser facilement des grandes caractéristiques des sols et leur interprétation. Cet outil permet par ailleurs de visualiser rapidement la répartition et la quantité d'eau utile dans le sol.

Le préalable est bien évidemment l'ouverture d'un profil pédologique «en situation», étape dont l'intérêt global en matière d'explication et de raisonnement ne peut être compensé par aucune mesure indirecte.

Principes

Le calcul se fait par tranche fixe de 10 cm pour s'affranchir de la notion d'horizon d'épaisseurs variables et permettre d'intégrer des variations rapides de texture, de pierrosité, etc. (fig. 3).

Pour chaque tranche de sol, il faut noter de façon normalisée la texture, puis le pour-

centage de cailloux et graviers, puis les comptages racinaires et enfin un coefficient de colonisation racinaire.

Le calcul des réserves et la représentation instantanée des graphes racinaires et hydriques se font ensuite automatiquement. La zone orangée du profil hydrique correspond donc à un volume pouvant s'humidifier mais pas colonisé par les racines (fig. 4). Le bleu plus clair peut être affecté aux zones très sableuses (moindres déplacements capillaires). Des figurés peuvent être ajoutés sur la figure pour signaler une difficulté d'interprétation (arrivée d'eau, rocher en plaque, etc.) ou une forte probabilité de poursuite au-delà de la tranche observée.

Remarques

Les causes d'erreurs proviennent plus de l'estimation de la profondeur effectivement utilisée et de l'estimation de la pierrosité que de la précision des coefficients texturaux

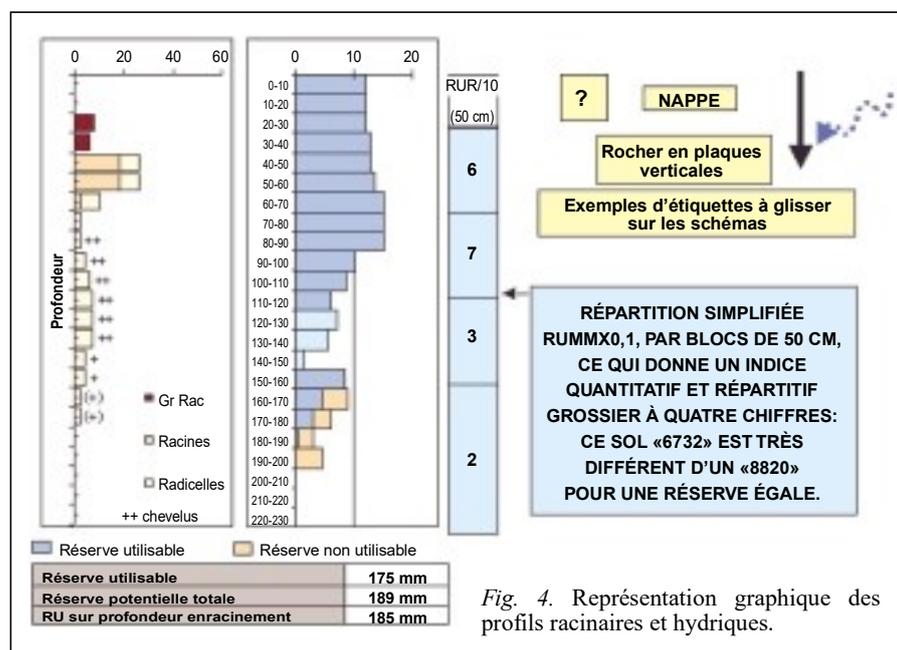


Fig. 4. Représentation graphique des profils racinaires et hydriques.

Terroirs viticoles vaudois

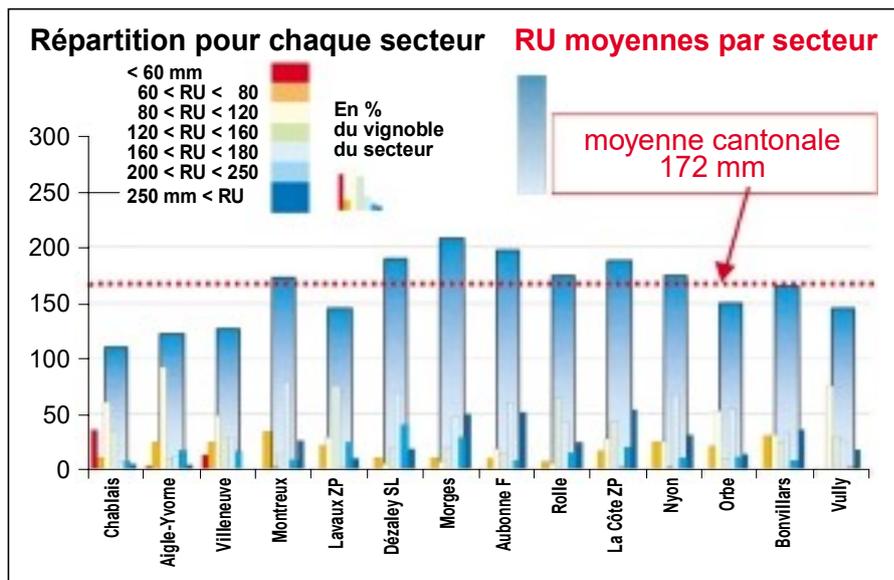


Fig. 5. Moyennes et répartitions en classes de réservoirs par secteur d'étude.

choisis, surtout dans les horizons de forte pierrosité, fréquents dans les sols viticoles. Par exemple: passer de 70 à 90% de cailloux, c'est passer de 30 à 10% de terre fine et diminuer par trois la réserve hydrique!

Le choix est fait de ne pas «arranger» les calculs, mais de se limiter à l'observation et aux calculs standard, sans introduire de coefficients correctifs plus ou moins validés, bien que l'on puisse en imaginer de nombreux. Cette simplicité voulue n'empêche pas de formuler des commentaires et des hypothèses.

Par exemple, la pierrosité peut être poreuse, altérée, ou encore arrangée selon une architecture serrée qui permet un certain stockage de l'eau. Ainsi, le «bulbe» de consommation que l'on peut dessiner autour d'une racine de profondeur est de taille très variable selon la texture et la qualité des enrobages colloïdaux autour des sables ou des éléments grossiers.

Pour les très fortes pierrosités en profondeur à matrice non sableuse, on observe une sous-estimation systématique de la réserve lors des validations par les mesures de potentiel hydrique (ZUFFEREY et MURIER, 2004) ou plus simplement lors de discussions avec les vignerons. Il est probable que les remontées capillaires à partir de la profondeur s'effectuent sur plusieurs décimètres. La figure 5 donne la moyenne et la répartition en classe des réservoirs pour chaque secteur de l'étude réalisée dans le vignoble vaudois.

Gestion de la réserve et millésime

La représentation simplifiée de la réserve hydrique peut induire un ensemble de raisonnements sur le comportement particulier au cours d'un millésime en termes de stockage hivernal, de recharge par les pluies d'été, de consommation, de contrainte modérée puis forte de façon plus ou moins précoce et sur des durées plus ou moins longues. Ce travail de réflexion est mené de façon bien plus poussée par l'étude de la plante, mais peut être amorcé en réunion de travail et sur le terrain.

Principaux résultats

Unité, originalité, diversité sont les trois mots qui viennent à l'esprit pour caractériser les sols viticoles vaudois. Il est paradoxal mais pas contradictoire de les associer, selon l'échelle de représentation utilisée. L'exercice du changement d'échelle nécessite un apprentissage et une grande modestie. C'est aussi cela qui va restituer sans démagogie au vigneron son rôle central.

Unité: l'origine géologique d'un vignoble modelé par le glacier du Rhône

La toute dernière glaciation du quaternaire, celle de «Würm», voit s'installer sur le canton une langue de glace d'un kilomètre d'épaisseur qui ne s'est retirée que depuis 12 000 ans. Le rôle du glacier du Rhône est fondamental par son empreinte – il a modelé l'ensemble du vignoble vaudois – et bien sûr par ses dépôts, les moraines (plus de 60% des surfaces en vigne dérivent directement de dépôts glaciaires). Selon les roches et les reliefs qu'il a chevauchés, le glacier a déterminé:

■ soit un dépôt assez épais de moraines: dans ce cas, l'influence du sous-sol ancien disparaît et les nuances de la composition morainique prennent toute leur importance;

■ soit un rabotage complet: c'est alors la roche ancienne qui est directement à l'origine des séries de sols. Cette roche est très souvent la molasse tertiaire du bassin vaudois.

Entre ces deux extrêmes se rencontrent les cas de dépôts morainiques d'épais-

seur modeste où la surface est semblable à celle des dépôts morainiques, mais où les racines atteignent soit la molasse, marneuse ou dure, soit les calcaires jurassiens, triasiques ou gypseux, qui peuvent être massifs ou affectés d'une nette schistosité. Enfin, les dépôts glaciaires peuvent être eux-mêmes recouverts par des éboulis gravitaires encore plus récents, voire des colluvions de bas de pente ou des alluvions.

Originalité: les terroirs des formations glaciaires, les moraines

Les paysages et les sols des vignobles de montagne qui ont vécu une histoire glaciaire présentent bon nombre de singularités.

■ **Une conjoncture particulière:** les moraines latérales permettent une combinaison très favorable à la viticulture; elles associent des sols très caillouteux et profonds à des pentes fortes (souvent aménagées en terrasses) qui optimisent l'interception du rayonnement énergétique au printemps et en automne.

■ **Une minéralité des sols:** jeunes (moins de 10 000 ans) et en pente, les sols de moraines sont encore peu évolués. Les niveaux organiques n'excèdent souvent pas 60 cm, ce qui donne aux racines une ambiance minérale conditionnée par la rochemère. La liaison entre le degré d'évolution du sol et le pourcentage de pente est très forte.

■ **Un équilibre minéralogique des sols:** les éléments constitutifs de la moraine proviennent de l'érosion des roches encaissantes de tout le bassin versant du Rhône depuis le haut cirque glaciaire. On retrouve des éléments granitiques, schisteux, gneissiques, calcaires, etc. noyés dans une farine glaciaire silteuse et calcaire. Cette cohabitation d'éléments siliceux et calcaires ne peut se rencontrer, en situation de coteaux, que dans un tel contexte glaciaire récent (notamment dans les vignobles de montagne). Les moraines rhodaniennes contiennent la majeure partie des éléments qui constituent la surface de la terre. L'altération lente de ces minéraux très variés doit conférer un équilibre particulier à l'alimentation minérale de la vigne.

■ **Des moraines récentes mais parfois très compactes:** le glacier du Rhône fut, au cours des dernières glaciations, l'un des plus puissants glaciers

Terroirs viticoles vaudois

Fig. 6. Réservoir, état de la réserve, établissement des contraintes hydriques.

des Alpes. Il a pétri et compacté les dépôts qui se trouvaient sous la glace et qu'on appelle alors «moraines de fond». Le silt de fond a subi 800 t/m² de pression dans un état d'humidité sub-saturé, qui a permis l'ajustage parfait de ses particules et la disparition de la porosité. La moraine de fond brute est presque impénétrable par les eaux et par les racines de vigne qui n'en altèrent que très lentement la masse. De telles compacités ne sont jamais rencontrées dans les autres formations superficielles récentes.

Ces moraines sont stratigraphiquement intercalées entre deux autres familles de roche-mère, plus anciennes ou plus récentes qu'elles.

- **Les terroirs de roches anciennes: les molasses et les calcaires**

Le terme de molasse désigne des roches mises en place à l'ère tertiaire à la périphérie des jeunes reliefs alpins. Les molasses contiennent toujours du calcaire, mais selon leur mode de dépôt, elles seront des roches de grain et de consolidation très

Fig. 7. Histogramme de fréquence: taille des unités cartographiques.

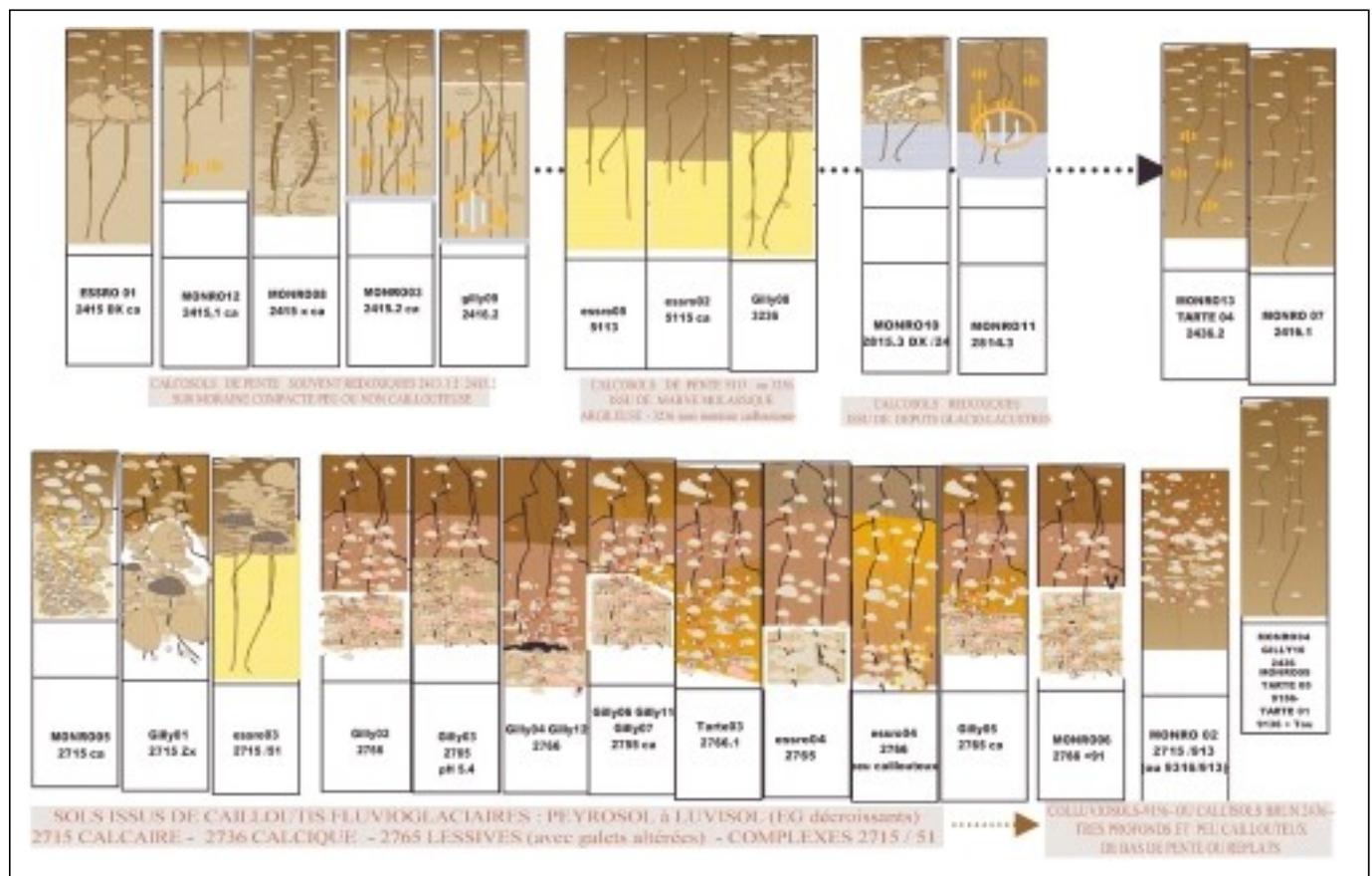
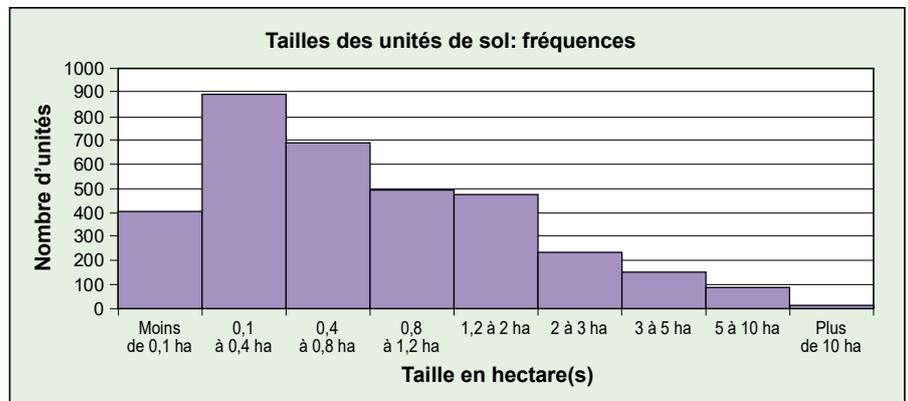
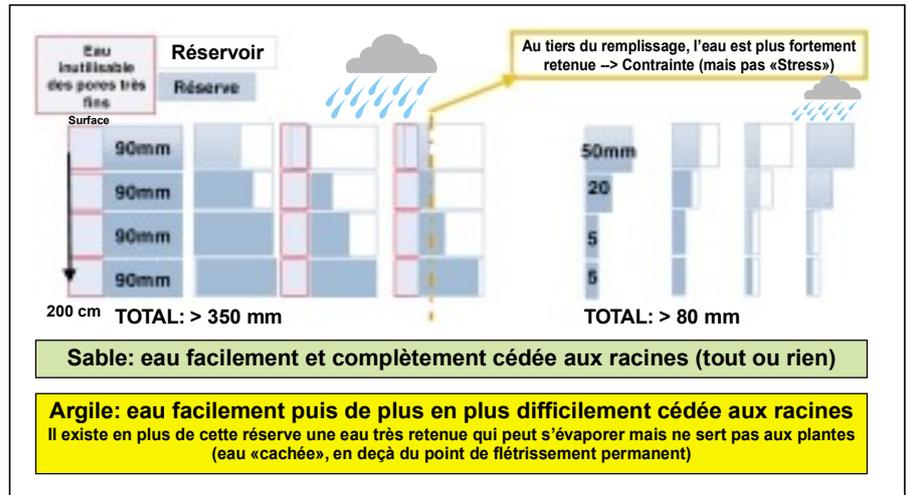


Fig. 8. Schémas de sols, familles, variantes et nuances sur une appellation.

Terroirs viticoles vaudois

différents: dans le vignoble vaudois, on trouve toute la palette des molasses périalpines: marnes (bariolées, argileuses, sableuses...), marnes gréseuses, grès en bancs massifs, poulingues ou sables gréseux. Ces roches, vieilles de 15 à 35 millions d'années, supportent 14% des sols viticoles du canton pratiquement sans couverture morainique. Selon les faciès, les sols seront argileux, sableux ou caillouteux, très profonds ou rendus superficiels par la présence d'un banc rocheux ou de la marne brute compacte. D'autres roches calcaires, beaucoup plus anciennes, interviennent à l'ouest du lac de Neuchâtel et dans le Chablais.

- **Les terroirs de couverture: les éboulis, les alluvions et colluvions récentes**

Les cailloutis blancs et anguleux du Chablais proviennent des falaises calcaires dominantes dont les roches se fragmentent depuis la fin des glaciations (12 000 ans), permettant l'alimentation de tabliers d'éboulis réguliers ou de larges cônes caillouteux à l'histoire parfois brutale. Les colluvions – l'acceptation de COLLUVIOSOL est dans notre démarche très restrictive et appliquée uniquement aux dépôts fins, épaissis et

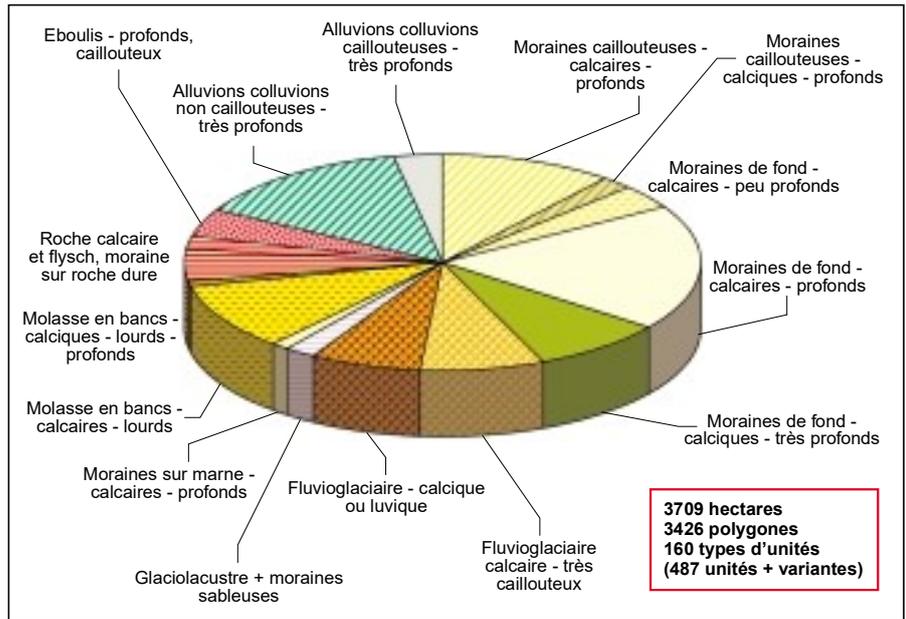


Fig. 9. Répartition des unités de sol au niveau du canton (regroupements).

peu caillouteux de bas de pente – et les alluvions récentes représentent 17% des sols du canton.

Diversité (fig. 6, 7, 8, 9 et 10)

La taille moyenne des unités de sol dessinées est de 1,05 ha environ, mais la médiane n'est qu'à 0,62 ha. Ce dé-

coupage est issu du croisement des unités de sol avec le découpage matériel créé par les chemins et routes dont le contour a été respecté. Ce chiffre indique que la moitié des 3426 unités dessinées ne fait pas plus de 60 ares, confirmant ainsi la grande sensibilité de l'épaississement et de l'évolution des sols, deux paramètres majeurs du

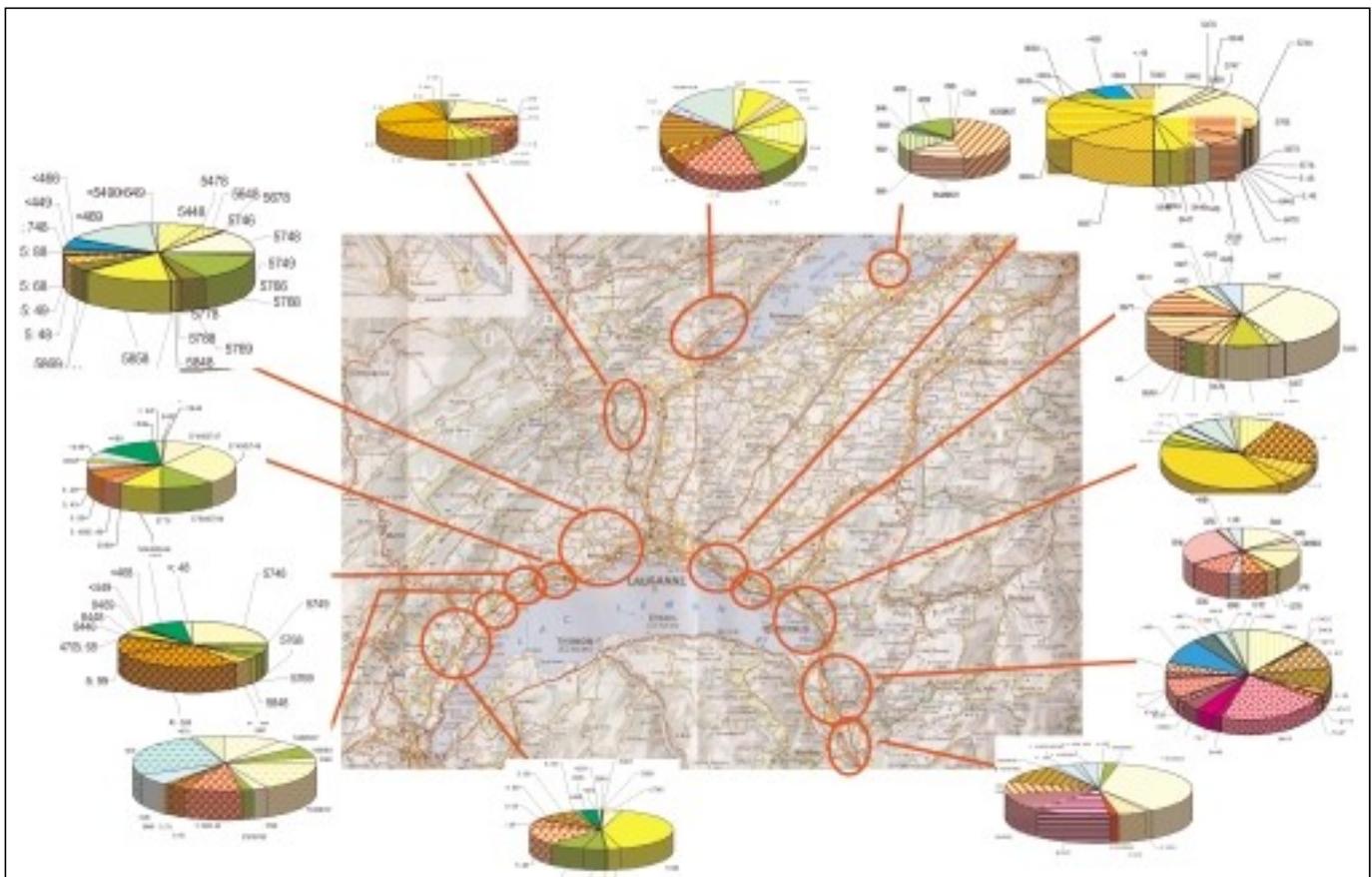


Fig. 10. Répartition des unités de sol par secteur (aperçu).

Terroirs viticoles vaudois

fonctionnement viticole, aux moindres variations de topographie. Le découpage parcellaire est calqué sur cette réalité qui ne propose que très exceptionnellement des zones homogènes de plus de deux hectares traitables en une seule unité culturale: les terroirs-sols existent, mais sous une forme irrédûctiblement émiétée.

Structurer cette diversité tout en respectant la réalité fut donc l'un des objectifs de la cartographie. Quelques exemples graphiques illustrent la dualité entre synthèse et réalité.

Bibliographie

BAIZE D., JABIOL B., 1995. Guide pour la description des sols. Ed. INRA, 000 p.

ZUFFEREY V., MURISIER F., 2004. Etude des terroirs viticoles vaudois: comportement physiologique et agronomique de la vigne. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 36 (4), 14-20.

Conclusions

Dans des domaines différents, les applications pratiques de la cartographie des sols viticoles vaudois peuvent se résumer comme suit:

- ❑ Contribution aux interprétations des essais viticoles existants et à leur généralisation à la diversité des sols.
- ❑ Meilleure formulation des spécificités du canton par rapport aux autres régions viticoles (en liaison très forte avec les résultats de l'étude climatique).
- ❑ Aide à la compréhension de phénomènes physiologiques et œnologiques propres à certains cépages ou millésimes et irrégulièrement répartis dans le vignoble.
- ❑ Mise en place de réseaux de suivi parcellaires (essais de cépages, pratiques culturales) dans le but de rationaliser les choix avant la plantation.
- ❑ Sélections des apports, production de cuvées «Terroirs» argumentées.

Le rôle central dévolu aux viticulteurs et la formation continue des viticulteurs sont mis à jour et dynamisé. Le travail en groupe et les présentations permettent une **communication interne** (entre vigneron d'une même appellation et d'appellations différentes, mais aussi entre les vigneron et leurs organismes et représentants professionnels) et d'enrichir progressivement la **communication externe** (autres collègues, consommateurs).

L'accueil fait par les vigneron aux présentations pluridisciplinaires finales nous a confortés dans la philosophie respectée tout au long du travail.

Etude des terroirs viticoles vaudois

3. Modélisation des paramètres climatiques

Karine PYTHOUD, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Laboratoire de systèmes d'information géographique (LASIG), CH-1015 Lausanne



E-mail: Karine.Pythoud@epfl.ch
Tél. (+41) 21 69 35 785.

Summary

Study of wine-growing land («terroirs») characteristics in the canton of Vaud (Switzerland): modelization of the climatological parameters

As part of a study on the viticultural terroirs of «canton de Vaud», a climatic model integrating temperature, relief, radiation and pluviometry was built.

The climate is defined by pluviometry and the thermal gradient. For standard needs, climatic parameters are determined at small scale ($\pm 1/300\ 000$), which is not accurate for the study of the mesoclimate. The adopted approach uses a digital elevation model with a resolution of 25 meters, the DEM25 of the Swiss Federal Office of Topography, at 1/25 000 scale.

The thermal gradient is deduced from solar radiation, wind effect estimations and an empirical model of thermal altitudinal distribution. The radiation is calculated with a model that integrates the effects of the surrounding relief (slope, exposition and casted shadow) and the sun height above the horizon during a specific period. The relief shape and the principal wind directions based on a regional cartography allowed to estimate wind effect.

Then climatic parameters are calculated for critical periods in the vineyard's vegetative cycle. A comparison with the map of thermal levels of «canton de Vaud», determined on the basis of a phenological survey, allows to adjust the microclimate model.

The rainfall distribution is the result of a data regionalization coming from Meteoswiss stations network. The calculation was based on the monthly rainfall values collected in the stations near or inside the vineyard during the last 30 years.

The final climatic zoning is a weighting of the previous mentioned variables. Its value is more qualitative than quantitative. It offers however a comparison basis between the different regions concerned by the study.

Key words: modelization, climate, terroirs, thermal gradient, pluviometry.

Terroirs viticoles vaudois

Introduction

L'étude des terroirs viticoles vaudois a pour but de caractériser le vignoble notamment au niveau géopédologique et mésoclimatique. L'échelle de perception mésoclimatique est adaptée à l'appréciation de l'«effet terroir» induit par la configuration spécifique de chaque portion du vignoble.

L'appréciation des conditions topographiques et géologiques de l'ensemble du vignoble et l'étude pédologique, sur la base de sondages à la tarière et de profils, ont permis de caractériser les sols viticoles du canton. Vu l'importance de la surface considérée, la caractérisation du mésoclimat n'a pas été réalisée sur la base de mesures réelles, mais au moyen de modèles permettant d'intégrer les particularités géomorphologiques du vignoble vaudois.

L'étude du comportement de la plante conduite sur un réseau d'une cinquantaine de parcelles a permis, en plus de la validation de la cartographie des sols, de mener des premiers essais de validation du mésoclimat.

La définition d'unités climatiques homogènes du point de vue de la culture viticole est relativement complexe. Chaque situation du territoire est soumise à des échanges thermiques qui déterminent son mésoclimat. Ces échanges dépendent directement de paramètres tels que la radiation solaire, la pente, l'exposition, l'altitude et l'exposition aux vents.

L'indice climatique est perçu à travers le gradient thermique altitudinal théorique, la radiation solaire potentielle et l'effet du vent. Tous ces paramètres sont mesurés et enregistrés régulièrement dans des stations météorologiques du canton, mais peuvent difficilement être extrapolés à l'ensemble du territoire. L'utilisation de modèles a permis de pallier l'impossibilité de les mesurer en chaque point du vignoble. Cette démarche a débouché sur l'élaboration d'une cartographie intégrant les variations locales recherchées.

Les variations ressenties à l'échelle des unités de terroirs relèvent cependant d'effets relatifs conjoints. L'aspect climatique ne peut expliquer à lui seul les différences de comportement de la plante. Il s'insère dans la problématique globale des terroirs, intégrant les particularités physiologiques de la vigne, les conditions pédologiques et les spécificités climatiques. Par ailleurs, cette approche par modélisation ne tient pas compte d'effets climatiques localisés tels que vents locaux, effet du fœhn ou du lac. C'est une caractérisation globale à l'échelle cantonale.

Tous les paramètres théoriques et constitutifs du mésoclimat sont dérivés du modèle numérique d'altitude de 25 m de résolution (MNA25), distribué par l'Office fédéral de topographie.

Le mésoclimat et ses composantes

Gradient thermique théorique

Théoriquement, le gradient de température est une fonction affine du gradient altitudinal. Dans nos régions, la température relative diminue en moyenne de 0,65 °C par 100 m d'élévation. L'altitude est donc un très bon indicateur de la tendance générale de la température, sauf dans les situations en cuvette qui sont, à altitude égale, plus froides. Le gradient thermique théorique est modélisé à l'aide du MNA25. Du fait que le modèle mésoclimatique fonctionne avec des grandeurs normalisées, le gradient thermique théorique dépend donc uniquement de l'altitude de chaque point. Chaque maille est ainsi affectée d'une température relative directement proportionnelle à son altitude.

Ce modèle a cependant des limites. Les effets microclimatiques liés entre autres aux pratiques culturales ne sont pas intégrés, tout comme les mouvements thermiques, le brassage des masses d'air par le vent et le réchauffement des rangs à proximité des grands murs dans les zones de terrasses.

Rayonnement ou énergie solaire reçue

Du point de vue des potentialités climatiques, le rayonnement est un des paramètres importants pour la définition d'entités mésoclimatiques homogènes.

Sa quantification indicative sera déduite indirectement de la radiation globale potentielle. A l'échelle du globe, le gradient latitudinal de l'insolation provient de la géométrie de la rotation de la Terre autour du Soleil. A l'échelle du paysage, la topographie est le facteur déterminant dans la distribution de l'ensoleillement. La variabilité altitudinale, l'exposition des surfaces (pente et orientation) et l'ombre projetée par le relief proche ou lointain engendrent des variabilités locales du rayonnement. Selon la saison et l'heure, le rayonnement solaire direct est maximal à une pente et une exposition données.

Le territoire suisse comporte plusieurs stations de mesure du rayonnement solaire, la plupart du temps couplées à des stations météorologiques. Le canton de Vaud en comporte quatre: Changins, Pully, Aigle et Payerne. Les données de rayonnement, représentatives des conditions locales des stations, sont fournies depuis 1978. L'extrapolation des valeurs à l'ensemble du territoire n'est pas envisageable sans tenir compte des conditions topographiques et géomorphologiques locales. Les modèles de calcul du rayonnement solaire potentiel représentent les seules solutions susceptibles d'intégrer plus précisément sa variation temporelle et spatiale à l'échelle du paysage.

Le modèle utilisé, exploité par le logiciel Solar Analyst, calcule l'ensoleillement pour une région donnée à partir d'un modèle numérique de terrain. Il fournit les cartes de la radiation globale, directe et diffuse, exprimée en joules/m² (ou watt-heure/m²) pour n'importe quelle durée (instantanée, journalière, mensuelle, etc.). Le seul paramètre nécessaire à connaître, outre le modèle numérique de terrain, est la latitude moyenne de la zone géographique. Les périodes d'intégration de l'énergie ont été choisies en fonction de la phénologie de la vigne. Elles devaient être suffisamment restreintes pour que les comparaisons soient pertinentes. On est parti du principe que le rayonnement potentiel aux alentours des dates critiques était déterminant dans le développement physiologique de la vigne. Les périodes définies sont:

- 5 au 25 avril: débourrement
- 5 au 25 juin: floraison
- 1^{er} au 20 août: véraison
- 1^{er} au 30 septembre: maturation.

La radiation a également été calculée sur l'ensemble de la période de végétation.

La figure 1 donne une représentation graphique résultant du modèle Solar Analyst, sur un extrait du MNA25 dans la région de Bex (Chablais vaudois). L'image correspond aux valeurs de radiation potentielle journalière.

Les calculs réalisés ont permis de connaître pour chaque période considérée le rayonnement global potentiel indicatif pour l'ensemble des zones viticoles du canton de Vaud en Wh/m², sans tenir compte de la couverture nuageuse. Les cartes établies fournissent donc des indications quant à l'énergie potentielle maximale que peut recevoir une parcelle ou un groupe de parcelles, compte tenu de la période considérée et de leur situation (pente, orientation).

Terroirs viticoles vaudois

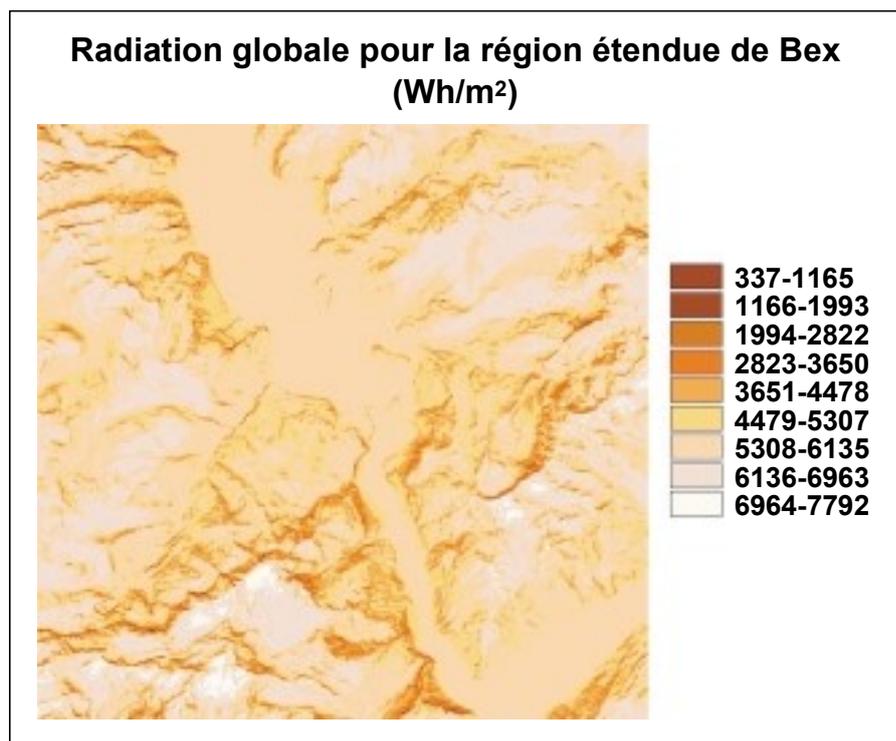


Fig. 1. Extrait du modèle de rayonnement (radiation potentielle journalière).

Indice de protection par rapport aux courants dominants

L'effet du vent sur les variables mésoclimatiques des parcelles est indéniable. Les zones abritées du vent démontrent l'effet favorable de cette situation sur la température. Bien connus la plupart du temps des viticulteurs, ces phénomènes mésoclimatiques restent des paramètres complexes à quantifier. L'exposition au vent influence les échanges thermiques au voisinage des pieds de vignes, la sensibilité aux maladies fongiques et aux dangers de gel printanier.

Les cartes de Haerberli, établies de 1966 à 1970 en relevant la déformation de la couronne des arbres, donnent une grandeur indicative des courants locaux dominants (direction et intensité) (HAE-BERLI, 1971). L'échelle de restitution de ce document (environ 1:3 000 000) n'est toutefois pas adaptée aux besoins du projet; elle a cependant l'avantage de définir les directions préférentielles des courants présents dans les vignes.

L'approche suivie pour la modélisation de l'exposition aux courants est celle de l'ombrage. Connaissant les directions préférentielles de courants données par la carte de Haerberli, les zones soumises à l'action du vent sont modélisées grâce aux fonctions d'ombrages intégrées dans la plupart des logiciels d'analyse spatiale. Elles créent l'ombre d'un rayonnement solaire fictif qui agit

sur le relief pour en faciliter sa représentation. Dans notre cas, il ne s'agit pas de rayonnement solaire mais bien d'un courant défini par une direction horizontale (azimut) et un angle vertical. Un vent d'ouest sera représenté par l'azimut 270° et une inclinaison de 30° environ. Les résultats de deux tests effectués sur la région de Lavaux sont présentés à la figure 2a et 2b. Plus une zone est protégée par rapport aux courants dominants, plus elle apparaît foncée.

Sur la base de la carte empirique de déformation de la couronne des arbres, les zones viticoles sont découpées en zones d'exposition homogènes. Les directions préférentielles de chacune ont été transformées en paramètres caractérisant l'ombrage correspondant.

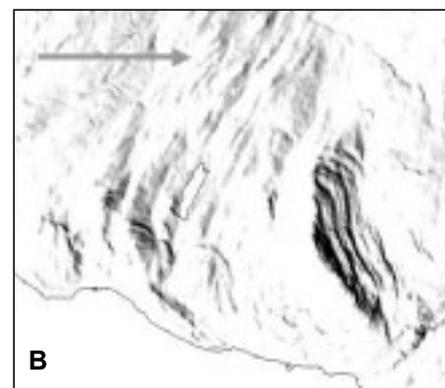
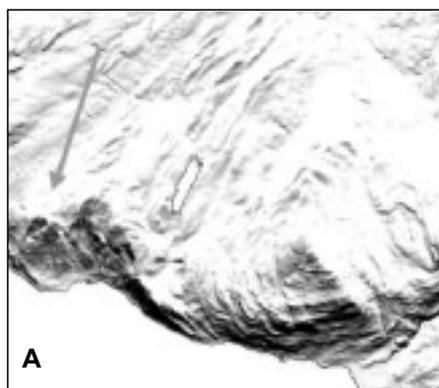


Fig. 2a et 2b. Résultats de l'ombrage du MNA dans deux directions de vents connus (bise et vent d'ouest).

Niveaux thermiques de Schreiber

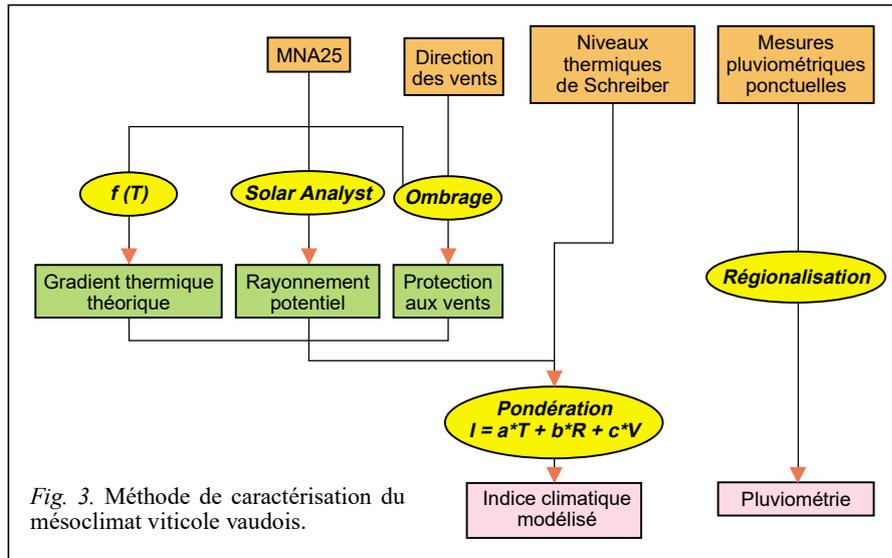
Les relevés des stades phénologiques effectués par Schreiber entre 1962 et 1964 ont abouti à la création de la carte des niveaux thermiques au printemps du canton de Vaud (SCHREIBER, 1968). Basée sur la floraison de différentes espèces végétales, elle fournit les niveaux thermiques relatifs et les possibilités d'exploitation agricole. Elle a été établie à l'échelle 1:100 000. Pour l'étagage de la vigne, le découpage est fait en trois zones (assez chaud, chaud, très chaud). Bien que l'échelle de restitution au 1:100 000 soit peu adaptée à l'étude du mésoclimat, cette cartographie reste intéressante et sert de référence dans la modélisation des paramètres mésoclimatiques à plus grande échelle.

Indice climatique modélisé

Le modèle du mésoclimat utilisé se réfère à un indice climatique résultant d'une combinaison du gradient thermique altitudinal théorique, de l'effet du vent (protection par rapport aux courants dominants) et de l'ensoleillement (rayonnement solaire). La graduation thermique de l'ensemble du canton présentée par Schreiber est sans doute significative du point de vue temporel mais trop générale pour évaluer le mésoclimat à l'échelle de quelques parcelles. Il est donc nécessaire de prendre en compte des informations à plus grande échelle. La carte des niveaux thermiques de Schreiber intervient alors dans notre démarche pour estimer le poids respectif des trois facteurs retenus. La pluviométrie qui joue un rôle parallèle et complémentaire n'est pas intégrée à l'indice.

Chacun des paramètres précédemment modélisés est réduit à la zone du vignoble, à l'aide d'une extraction de

Terroirs viticoles vaudois



grille sur la base de la délimitation des zones de vignes (données numériques cantonales), puis normalisé. Les valeurs extrêmes se retrouvent en effet fréquemment en dehors des zones viticoles et cachent ainsi les écarts localisés plus intéressants du point de vue de la caractérisation du vignoble. Sur la base de ces trois paramètres modélisés, un indice climatique a été défini de la manière suivante:

$$I_{climatique} = a * \text{Température théorique} + b * \text{Rayonnement} + c * \text{Vents}$$

La carte des niveaux thermiques de Schreiber est ensuite utilisée pour estimer les facteurs de pondération a, b et c de l'équation ci-dessus et permet d'établir ainsi la carte résultante qui s'ajuste au mieux à la cartographie existante. Le modèle suivant a été retenu:

$$I_{climatique} = 0,5 * \text{Température théorique} + 0,35 * \text{Rayonnement} + 0,15 * \text{Vents}$$

La méthode utilisée pour caractériser le mésoclimat du vignoble du canton de Vaud est synthétisée à la figure 3.

Pluviométrie

La pluviométrie est le dernier paramètre important du point de vue climatique dans la définition d'unités de terroir homogènes. Les données pluviométriques proviennent des stations de mesures du réseau Météosuisse, dont une trentaine sont disponibles aux environs du vignoble vaudois. Le réseau fournit des données météorologiques depuis plus d'un siècle pour certaines d'entre elles. La Station fédérale de recherches agronomiques Agroscope RAC Changins a synthétisé les données mensuelles moyennes sur trente ans pour chaque station de la Suisse romande. Les stations de mesures ont été référen-

cées de manière à spatialiser l'information mensuelle. Dans le cadre de l'étude, les stations d'intérêt, représentatives du vignoble, sont situées dans des zones climatiques comparables à faible altitude, la modélisation de la pluviométrie sur les reliefs environnants n'apportant rien dans ce contexte. L'interpolation des valeurs des stations pluviométriques à l'ensemble du vignoble peut, dans ce cas, se faire au moyen de modèles relativement simples. Les stations pluviométriques trop éloignées géographiquement ou situées à des altitudes trop élevées ont été exclues du réseau pour le calcul. L'interpolation entre les valeurs ponctuelles (précipitations mensuelles moyennes sur trente ans) a été réalisée à l'aide de la méthode du plus proche voisin. Compte tenu du cycle végétatif de la vigne, la procédure a été appliquée mensuellement entre avril et septembre. Quatre cartes d'intérêt du point de vue du cycle végétatif ont été retenues et insérées dans le document.

La cartographie de la pluviométrie montre des différences régionales marquées, mais ne peut être utilisée comme élément comparatif à l'échelle parcellaire. Les données pluviométriques sont des

variables indépendantes au même titre que les résultats de synthèse de l'indice climatique. Ces résultats sont utilisés dans l'étude du comportement de la plante lors de l'établissement des bilans hydriques.

Discussion et synthèse

Les variations mésoclimatiques, en grande partie responsables des conditions de culture particulières, restent difficiles à modéliser. L'approche utilisée ne permet pas d'intégrer les variations mésoclimatiques à l'échelle de la parcelle, mais apporte cependant un découpage relativement précis à l'échelle du vignoble. Le résultat obtenu reste relatif et très lié à la précision du modèle numérique MNA25. On sait d'avance que, dans les zones escarpées ou topographiquement marginales, un point tous les 25 m ne suffit pas à décrire correctement le relief réel. C'est le cas en particulier des zones de terrasses (Lavaux, Aigle-Yverne). Dans ces régions, une correction de la pente naturelle des coteaux a été nécessaire de manière à prendre en compte l'effet positif de la pente artificielle créée par les terrasses sur l'ensoleillement réel des parcelles de vignes. Cette correction n'a pu être réalisée sur la totalité des vignes en terrasses ou en terrain accidenté, en particulier lorsqu'elle concernait des surfaces relativement marginales. Bien que le calcul du rayonnement potentiel reste basé sur des modèles de calcul, les résultats obtenus sont prometteurs et jugés corrects pour le calcul de l'indice climatique.

La combinaison des différents paramètres normalisés aboutit à un zonage climatique apportant une meilleure connaissance des terroirs. Différents essais de validation avec des mesures sur la plante ont mis en évidence des corrélations entre les paramètres mésoclimatiques et le comportement agronomique de la vigne (débourrement, maturation). Le principe de validation de l'indice est présenté dans la figure 4.

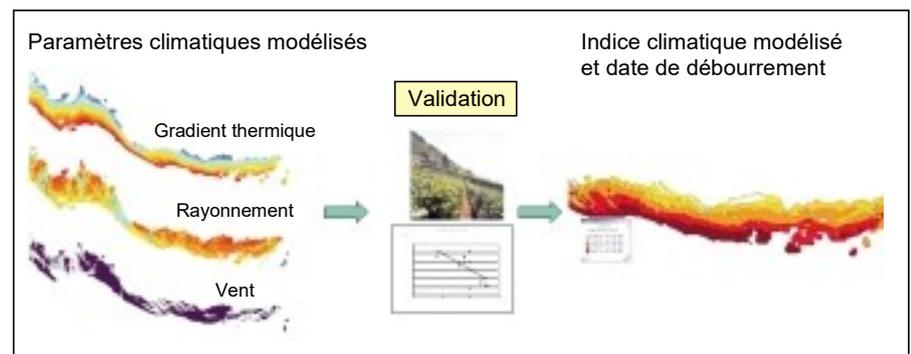


Fig. 4. Principe de validation de l'indice climatique à l'aide de mesures sur la plante.

Terroirs viticoles vaudois

La figure 5 illustre le concept de validation par une carte superposant l'indice climatique et les dates de débournement de la vigne sur une des zones-tests du projet.

Concernant la répartition pluviométrique, le zonage montre une variabilité assez forte en particulier dans les zones proches du relief préalpin.

Le stress hydrique de la vigne est lié au sol et au climat. Concernant le climat, l'évapotranspiration de la vigne, qui conditionne le facteur de stress, dépend de la radiation solaire, de la température et de la ventilation. La méthodologie retenue pour l'étude des terroirs viticoles du canton de Vaud est par conséquent bien adaptée à la caractérisation des conditions générales régulant le comportement de la plante.

Bibliographie

- SCHREIBER K.-F., 1968. Les conditions thermiques du canton de Vaud. Cahier n° 5 de l'aménagement régional du canton de Vaud.
- HAEBERLI R., 1971. Carte des dangers de gel tardif printanier dans le canton de Vaud. Cahier n° 11 de l'aménagement régional du canton de Vaud.

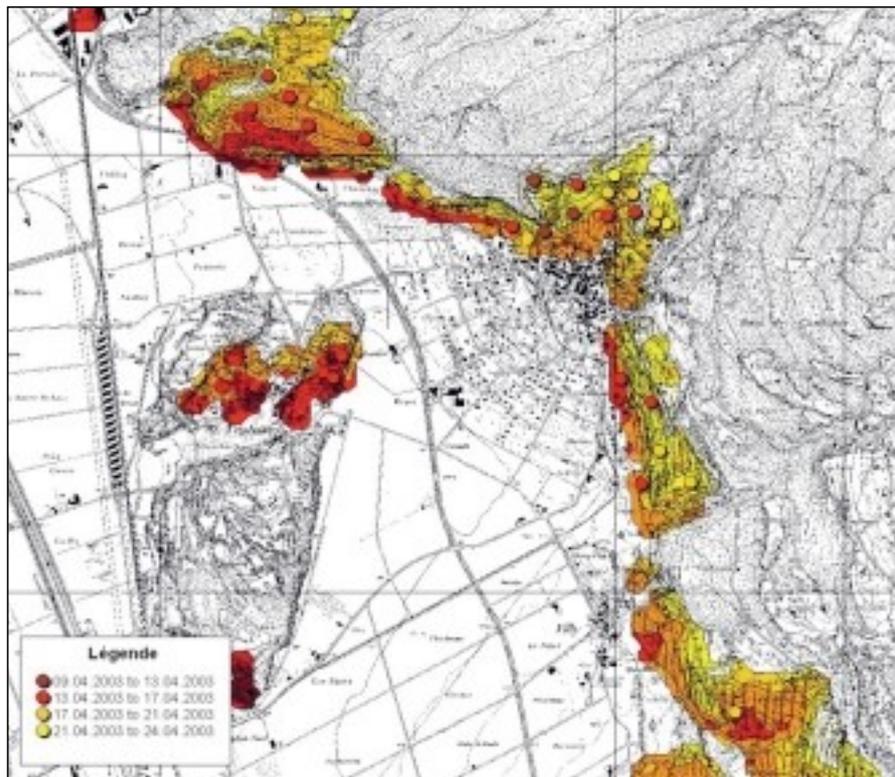


Fig. 5. Superposition de l'indice climatique printanier et des dates de débournement de la vigne dans la zone pilote du Chablais.

Etude des terroirs viticoles vaudois

4. Comportement physiologique et agronomique de la vigne

V. ZUFFEREY et F. MURISIER, Agroscope RAC Changins, Centre viticole du Caudoz, CH-1009 Pully

@ E-mail: francois.murisier@rac.admin.ch
Tél. (+41) 21 72 11 560.

Summary

Study of wine-growing land («terroirs») characteristics in the Canton of Vaud (Switzerland): physiological and agronomical behaviour of the vine

A study of the physiological and agronomical behaviour of the vine (cv. Chasselas) was conducted between 2001 and 2003 by the Swiss Federal Research Station for Plant Production at Changins (Agroscope RAC Changins) on various wine-growing farms in the Canton of Vaud (Switzerland).

Conditions of water supply to the vine were closely linked to soil water reserves (useful reserve, RU) and to summer rainfall during the 2001-2003 growing seasons. The study of water supplies to the vine, measured by means of Ψ_{base} , showed that the level of water stress was low in 2001, moderate in 2002 during the period of grape development on sites with low RU and high in 2003 due to severe water stress in summer period.

Results from measurements of minimum stem potential (Ψ_{TMIN}) have also demonstrated that temporary water stress on a daily basis is possible. Our observations indicate that there is a close correlation between the carbon isotope discrimination technique ($\Delta C13$) in grape sugars and the water supply observed in grapevines during ripening.

Plant outgrowth of vines, as an expression of leaf biomass together with rootstock strength (weight of pruned wood), were largely dependant on soil water reservoirs and conditions of plant water stress during the growing season.

The water supply system to plants, which was observed during grape development, had an important influence on the final berry size and the accumulation of their reduced sugars. Higher levels of sugar in berries were obtained from vines which had suffered from moderate water stress than from vines without any water stress. However, situations of increased water restriction (high stress) penalised sugar concentration in must, more especially as the water stress was early.

Key words: wine-growing land, «terroirs», ecophysiology, water supply, water potential, grape quality.

Terroirs viticoles vaudois

Introduction

L'incidence du milieu naturel sur la qualité et la typicité du raisin et des vins est largement reconnue (SEGUIN, 1983; MORLAT, 1989; LEBON, 1993; VAN LEEUWEN, 1991). Néanmoins, l'étude des terroirs s'avère complexe car les facteurs susceptibles d'influencer la qualité des vins sont multiples et le rôle exercé par chacun d'eux n'est pas encore clairement établi. Une chose est toutefois certaine: un facteur isolé ne suffit pas à expliquer la valeur d'un terroir.

De nombreuses approches de caractérisation des terroirs viticoles ont été entreprises à ce jour (MORLAT, 2001). Parmi celles-ci, l'approche éco-physiologique, orientée sur l'étude des fonctions entre les différentes parties du système terroir-vigne (MORLAT, 1989), semble très judicieuse quand il s'agit d'intégrer et de caractériser, dans le milieu édaphique et climatique, les facteurs pertinents pour le fonctionnement de la plante et la qualité de la production (LEBON, 1993). En effet, l'influence du terroir sur la vigne se traduit par des différences dans le comportement physiologique et agronomique de la plante. Diverses études ont montré que les effets les plus importants concernaient la régulation de l'alimentation en eau de la vigne et la précocité des terroirs (MORLAT, 1989; VAN LEEUWEN, 1991).

L'influence des facteurs pédologiques (réserve hydrique, types de sols) et climatiques sur les principaux aspects physiologiques de la vigne (expression et cycle végétatifs, régime hydrique et évolution de la maturation) et sur les potentialités de la vendange a été ainsi analysée dans cette étude sur un réseau d'une cinquantaine de parcelles, réparties dans les principales zones viticoles du canton de Vaud (environ 1000 ha).

Matériel et méthodes

Caractéristiques pédologiques et climatiques des sites

Types de sols

L'étude des sols a permis d'opérer des regroupements par types et d'élaborer une première cartographie des entités pédologiques (LETESSIER et FERMOND, 2004). La grande majorité des sols, soit environ 80% de la superficie des zones pilotes, sont issus de la moraine alpine, mélange de débris indifférenciés et de toutes tailles transportés par le glacier du Rhône. Les moraines peuvent être classées en trois types de roches-mères (LETESSIER et FERMOND, 2004):

- **Les moraines latérales caillouteuses** rhodaniennes sont formées de cailloutis mixte (30-60% d'éléments grossiers siliceux et calcaires) et de terre fine moyenne à légère. Les moraines dites «locales» (Chablais) sont beaucoup plus riches en graviers et en cailloux calcaires.
- **Les moraines de fond** sont peu caillouteuses (0-30% d'éléments grossiers) et limoneuses: déposées sous les glaces, soumises à de fortes pressions, elles sont non poreuses, massives, parfois fissurées selon des faces de compression et très compactes.
- **Les moraines de retrait et/ou formations fluvi-glaciaires** (Peyrosols) sont beaucoup plus gravelo-caillouteuses et/ou sableuses, toujours meubles. Ce sont des sols à horizon pierreuse ou caillouteux (> 60% d'éléments grossiers) qui sont très perméables.

On observe, à certains endroits, une moraine peu épaisse sur la molasse gréseuse ou marnée, d'âge oligocène (La Côte et Lavaux), ou sur le calcaire gréseux du Jura (Bonvillars), parfois de moins de 60 cm d'épaisseur. La moraine recouvre sur plusieurs coteaux du Chablais, en couche parfois très mince (≤ 60 cm), une formation gypso-calcaire (*gysses*, carbonates et sulfates de calcium) du Trias. Les sols de la colline de Chiètres (Bex, Chablais) se différencient nettement des précédents par l'absence totale d'éléments morainiques même épars en surface. La roche-mère est directement le *flysch lité* sombre, schisto-argilo-gréseux et faiblement carbonaté.

Les *colluvions* se retrouvent en général en bas de pente et sont issues de l'érosion progressive des pentes dominantes. Elles sont généralement peu ou pas caillouteuses, profondes, et présentent quelquefois des tendances hydromorphes.

Réserve hydrique des sols (RU)

La réserve en eau du sol (RU) a été estimée par tranches de 10 cm de sol (réserve décimétrique) dans les profils pédologiques en tenant compte de la texture, de la quantité d'éléments grossiers (BAIZE et JABIOL, 1995) et de la colonisation racinaire. Les estimations de RU ont été effectuées par LETESSIER et FERMOND (2004), qui ont ainsi évalué le profil hydrique ou la quantité d'eau directement utilisable par la vigne dans les différents sites de l'étude.

Caractéristiques climatiques des années 2001-2003

L'année 2001 a été caractérisée par une pluviométrie importante (1248 mm à Changins, pour une moyenne pluriannuelle de 945 mm, et 1565 mm à Pully, pour une moyenne de 1100 mm). Du mois de janvier à la fin de juin, les précipitations ont été particulièrement abondantes et les orages estivaux très réguliers. Sur le plan des températures, les mois de mai et d'août ont été particulièrement chauds avec des températures supérieures de 2,5 à 3 °C à la moyenne des 30 ans.

En 2002, la pluviométrie a été légèrement supérieure à la moyenne pluriannuelle, principalement durant la période végétative à

Lavaux et dans le Chablais. Des précipitations faibles, mais fréquentes, ont été observées pendant la maturation du raisin dans ces deux régions également. Les vignobles à La Côte et à Bonvillars ont bénéficié d'un temps plus sec durant le mois de septembre. Les températures annuelles ont partout dépassé de 2 à 2,5 °C la moyenne des 30 ans. Le mois de juin a été exceptionnellement chaud. Le bilan des températures mensuelles a présenté un solde positif durant la période de végétation.

En 2003, les températures estivales ont été largement supérieures à la normale de 4 à 6,5 °C durant les mois de juin à août. La période estivale a également été caractérisée par de faibles précipitations et par un déficit hydrique important sur l'ensemble du réseau.

Dispositif expérimental

Compte tenu de sa prépondérance dans le vignoble vaudois (70% des surfaces), le cépage étudié est le Chasselas, greffé sur 3309C. Les parcelles d'étude sont conduites en espalier (Guyot simple avec un plan de palissage vertical). Les vignes suivies dans le réseau sont âgées en moyenne d'une quinzaine d'années. La hauteur de feuillage et le rendement ont également été pris en compte dans le choix des parcelles afin d'avoir des rapports feuille/fruit les plus homogènes possible (≥ 1 m² SFE/kg de raisin).

Deux réseaux d'étude ont été mis en place. Un **réseau élargi de parcelles** (50 parcelles) a servi à examiner quelques critères clés du comportement viticole: suivi des stades phénologiques, analyses foliaires, suivi de la maturation du raisin. Un **réseau restreint de parcelles de référence** a été mis en place dans les entités particulièrement importantes et caractéristiques du vignoble dans chacune des zones pilotes (soit 32 parcelles au total). Dans ce réseau, outre les observations de paramètres agronomiques, nous avons étudié plus en détail le comportement physiologique de la vigne, notamment les conditions d'alimentation hydrique de la plante.

Mesures expérimentales

Régime hydrique de la vigne

La mesure des potentiels hydriques (Ψ) de la vigne a été effectuée au moyen de la chambre à pression ou bombe de Scholander (SCHOLANDER *et al.*, 1965). Le Ψ_{base} a été mesuré en fin de nuit (2 h à 6 h) à l'obscurité complète, sur des feuilles insérées dans la partie médiane du feuillage. L'échantillonnage a été constitué de huit feuilles par microparcelle, issues de souches différentes. Le potentiel tige (Ψ_T) a été déterminé sur des feuilles ensachées (dans une feuille plastique doublée d'une feuille d'aluminium) au moins une à deux heures avant la mesure. Les mesures du $\Psi_{T \text{ MIN}}$ (potentiel de tige minimum) ont été réalisées sur des feuilles adultes de rameaux principaux, insérées dans la partie médiane du feuillage, en milieu de journée (midi solaire), période pen-

Terroirs viticoles vaudois

dant laquelle la demande d'évaporation est la plus importante. Neuf feuilles par micro-parcelle ont formé l'échantillonnage. Des détails supplémentaires de mesures sont indiqués chez ZUFFEREY et MURISIER (2004).

Discrimination isotopique du carbone

La discrimination isotopique du carbone dans les sucres des raisins, appelée $\Delta C13$ ($^{13}C/^{12}C$) et exprimée en ‰, a été dosée sur un échantillon de moût obtenu à partir d'un prélèvement de 300 baies à maturité par parcelle. L'échantillon (quelques millilitres) a été autoclavé, puis converti en CO_2 par combustion à l'aide d'oxygène pur. Le contenu isotopique a été ensuite déterminé à l'aide d'un spectromètre de masse à flux continu (Europe Scientific Ltd., Crewe, UK, AVICE *et al.*, 1996).

Suivis végétatifs et maturation du raisin

Les principaux stades phénologiques (débourrement, floraison, véraison) ont été notés sur l'ensemble des parcelles suivant l'échelle de BAGGIOLINI (1952), complétée par celle de BBCH (HACK *et al.*, 1992). La vigueur de la vigne a été estimée par le poids individuel des sarments à la taille. L'arrêt de la croissance végétative a été mesuré chaque semaine depuis la mi-août sur les apex des entreceurs.

A partir de la mi-août, 300 baies par semaine ont été analysées sur l'ensemble des parcelles d'étude pour suivre l'évolution des facteurs suivants: poids de 300 baies (g), acidité totale (g/l), acide malique (g/l), acide tartrique (g/l), sucres réducteurs (g/l), pH, composés azotés: mesure de l'indice de formol (azote directement assimilable par les levures).

Les résultats complets de l'étude des terroirs sont consignés dans un rapport (ZUFFEREY et MURISIER, 2004). La présente publication en montre uniquement les résultats principaux.

Résultats et discussion

Suivis du régime hydrique de la vigne

Le suivi du Ψ_{base} des différentes micro-parcelles à La Côte, regroupées selon leur réservoir en eau (RU), est illustré à la figure 1.

Il ressort de cette étude que les sites à forte RU (RU > 150 mm) n'ont présenté aucune contrainte hydrique durant les saisons 2001 et 2002, quel que soit le déficit hydrique cumulé pendant l'année. Les parcelles à faible RU (RU < 100 mm) ont par contre subi en fin de cycle végétatif des contraintes hydriques modérées, principalement en 2002, saison durant laquelle le déficit hydrique cumulé atteignait 220 mm à la fin de septembre. Si la réserve en eau

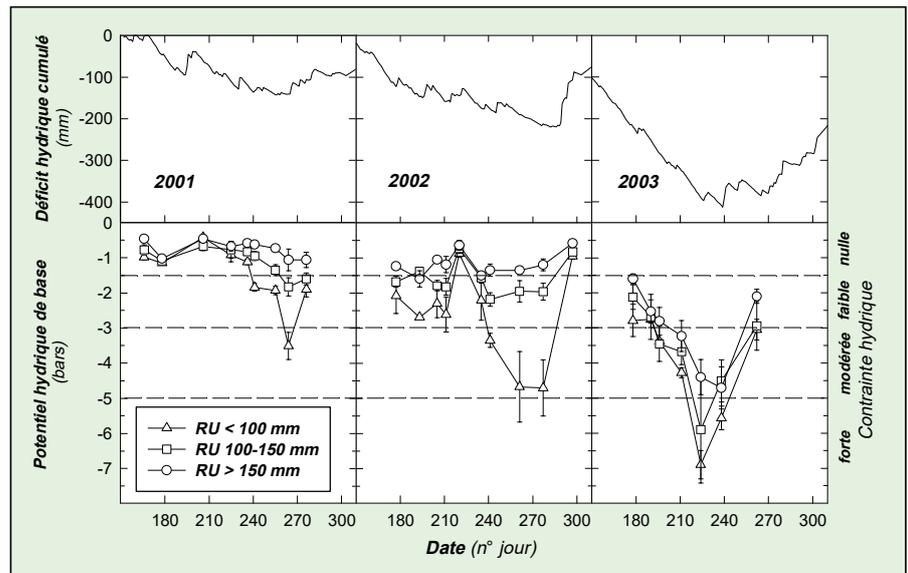


Fig. 1. Evolution du déficit hydrique potentiel (précipitations-ETP) et du potentiel hydrique de base (Ψ_{base}) en relation avec la réserve utile en eau (RU) des sols. Barres verticales: erreur standard. Chasselas, La Côte (CH), 2001-2003.

des sols est limitée, l'évolution du Ψ_{base} est largement dépendante du déficit hydrique cumulé en cours de saison, c'est-à-dire du cumul des précipitations estivales et de l'évapotranspiration de la végétation et du sol. Les vignes dont la réserve en eau des sols se situe entre 100 et 150 mm se sont trouvées dans une situation intermédiaire, affichant une contrainte hydrique faible durant les périodes de végétation 2001 et 2002.

La saison 2003 a été marquée par un déficit hydrique cumulé très élevé durant la période estivale, atteignant 400 mm à la fin d'août (fig. 1). Les vignes à forte RU (>150 mm) ont subi un niveau modéré de contrainte hydrique au cours des mois de juillet et d'août. Les parcelles dont la RU se situe entre 100 et 150 mm se sont montrées un peu plus sensibles au déficit hydrique que les vignes à grand réservoir. La contrainte a été importante à la mi-août puis modérée durant la maturation du raisin. Enfin, pour les vignes à faibles réservoirs en eau (RU < 100 mm), les niveaux de contrainte ont été modérés très tôt dans la saison (début juin) et importants pendant les mois de juillet et d'août. La chute des feuilles, dans la zone des grappes, a été manifeste sur les sites à réservoir hydrique très restreint.

De manière générale, on observe une relation étroite entre la RU des différentes micro-parcelles et l'état hydrique moyen des vignes enregistré durant la saison sur l'ensemble des zones pilotes à l'étude (ZUFFEREY et MURISIER, 2004), qui résulte des mesures du potentiel hydrique de base effectuées chaque semaine de la floraison à la vendange.

Nos résultats ont aussi mis en évidence que la mesure du potentiel de tige minimum ($\Psi_{T MIN}$) pouvait rendre compte d'une contrainte hydrique diurne momentanée. La mesure du $\Psi_{T MIN}$ donne l'estimation de la tension de sève qui existe dans les vaisseaux conducteurs en situation de transpiration de la plante entière et de forte demande climatique. De ce fait, le $\Psi_{T MIN}$ s'avère un bon indicateur pour étudier l'émergence de déficits hydriques ou la persistance d'une contrainte après une pluie dans les terroirs viticoles.

Réalisée en l'absence de contrainte hydrique ou à des faibles niveaux de stress, la mesure du $\Psi_{T MIN}$ a permis d'identifier de manière plus fine et plus prompte un début de restriction hy-

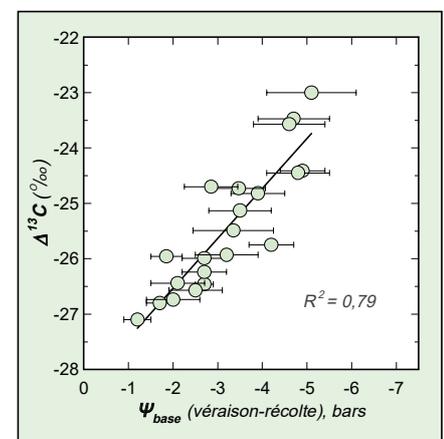


Fig. 2. Relation établie entre le rapport isotopique du carbone ($\Delta C13$) dans les sucres des moûts à la vendange et les valeurs du Ψ_{base} , mesuré durant la période de la maturation à la récolte sur un réseau de 21 parcelles. Barres horizontales: erreur standard. Chasselas, canton de Vaud (CH), 2003.

Terroirs viticoles vaudois

drique ou des états d'alimentation en eau de la plante différents de ceux obtenus par la mesure du Ψ_{base} (résultats non présentés). Les mesures du $\Psi_{\text{T MIN}}$ effectuées en 2003 ont confirmé l'émergence progressive au cours de la saison d'un stress hydrique élevé chez la vigne durant la période la plus chaude de la journée. Des symptômes de sécheresse (décoloration des feuilles de la base, chute de feuilles) ont été observés sur les sites dont les $\Psi_{\text{T MIN}}$ indiquaient des valeurs inférieures à -11 bars. Les températures extrêmes enregistrées durant le mois d'août ont de surcroît accentué la demande évaporatoire en milieu de journée: les valeurs très négatives du $\Psi_{\text{T MIN}}$ ont reflété la double contrainte thermique et hydrique.

Les résultats de notre étude ont par ailleurs montré que la discrimination isotopique du carbone ($\Delta C13$) dans les sucres des raisins était étroitement corrélée au régime hydrique observé chez la vigne durant la maturation (phase d'accumulation des sucres dans les baies). La corrélation obtenue entre le rapport $\Delta C13$ et les valeurs du Ψ_{base} moyen, mesurés à plusieurs reprises en

cours de maturation du raisin, a été très significative en 2003 (fig. 2). Les valeurs de plus en plus négatives du $\Delta C13$ correspondent à une absence de contrainte hydrique. A l'inverse, les valeurs faiblement négatives traduisent une restriction en eau subie par la plante. Les valeurs du $\Delta C13$ varient entre -20 et -30% dans la majorité des études réalisées sur la vigne (GAUDILLERE et VAN LEEUWEN, 2000). Divers auteurs (GAUDILLÈRE *et al.*, 1999; CHONÉ, 2001; VAN LEEUWEN *et al.*, 2001; TRÉGOAT, 2003) ont déjà montré que la discrimination isotopique du carbone dans les sucres des raisins était étroitement corrélée au régime hydrique observé sur la vigne durant la maturation. Nos observations corroborent en tous points ces différentes études. L'intérêt évident de cet indicateur ($\Delta C13$) réside dans sa grande accessibilité, par rapport aux indicateurs classiques du régime hydrique de la vigne que sont les potentiels hydriques foliaires (ou l'humidimètre à neutrons). Cette technique pourrait constituer un outil de choix à l'avenir pour l'étude des terroirs viticoles.

Phénologie et cycle végétatif

Les facteurs qui semblent susceptibles d'influer sur la précocité des stades de développement de la vigne se rattachent principalement au mésoclimat thermique (très localement au microclimat), au pédoclimat thermique et hydrique ainsi qu'au niveau de la vigueur de la plante.

L'élaboration d'un indice climatique modélisé (PYTHOUD et CALOZ, 2003) a permis de dégager les paramètres-clés qui influencent la précocité d'un stade phénologique (notamment le débourrement; fig. 3) dans des situations géographiques plus ou moins favorisées sur le plan climatique (zones plus ou moins chaudes). Cet indice climatique prend en compte l'influence de l'altitude (gradient thermique), du rayonnement potentiel reçu par une surface de sol (en fonction de sa déclivité, de son orientation et des effets d'ombrage projeté par le paysage environnant) ainsi que de l'exposition aux vents dominants. Les observations réalisées sur la vigne ont clairement indiqué que des

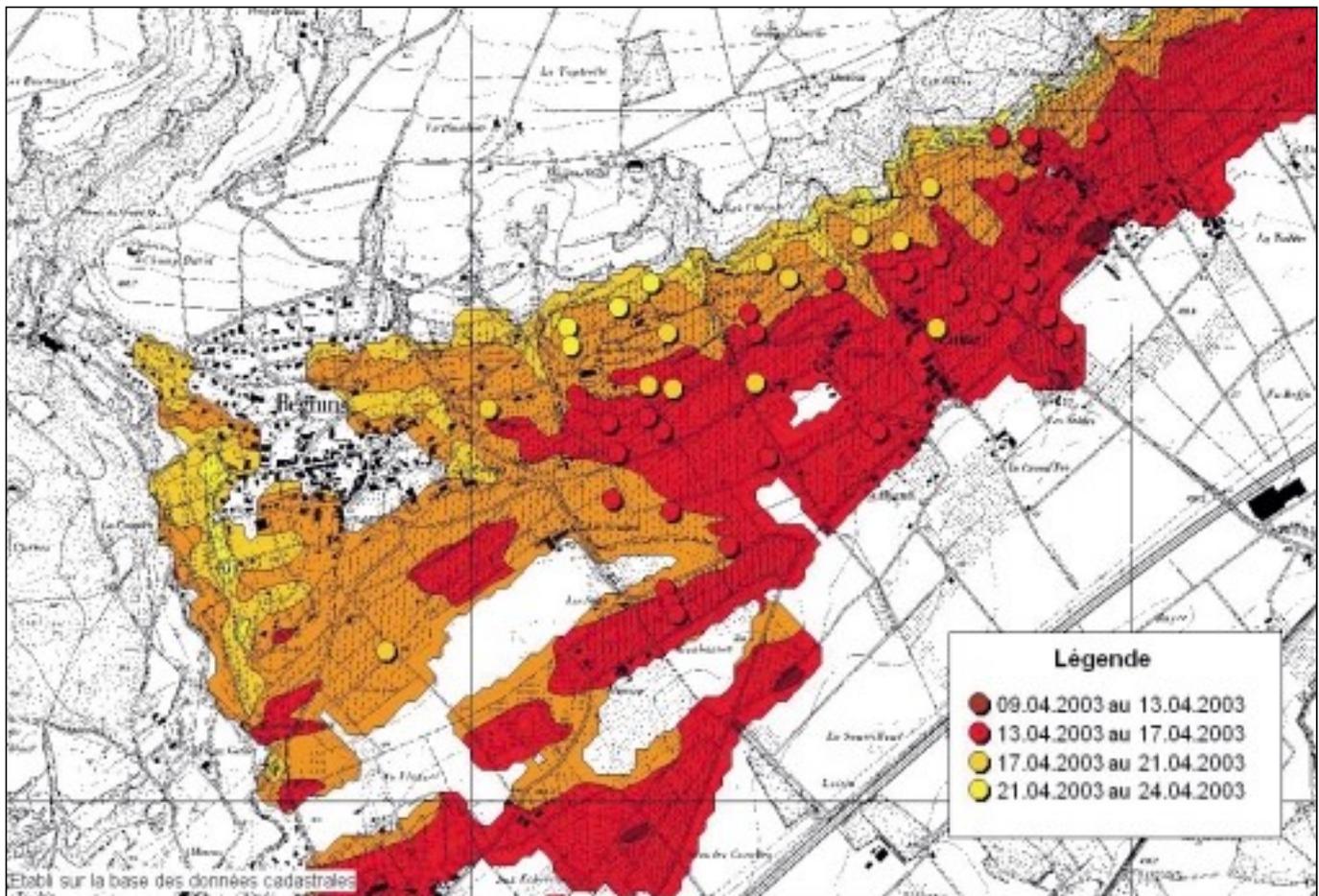


Fig. 3. Dates de débourrement de la vigne (stade C) sur un réseau élargi de parcelles et indice climatique modélisé au printemps (mois d'avril) selon PYTHOUD et CALOZ (2003). L'intensité des couleurs rouge, orange et jaune sur fond de carte correspond à des indices climatiques relatifs (rouge: zone chaude, jaune: zone plus fraîche). Chasselas, La Côte (CH), 2003. © Données propriété de l'Etat de Vaud.

Terroirs viticoles vaudois

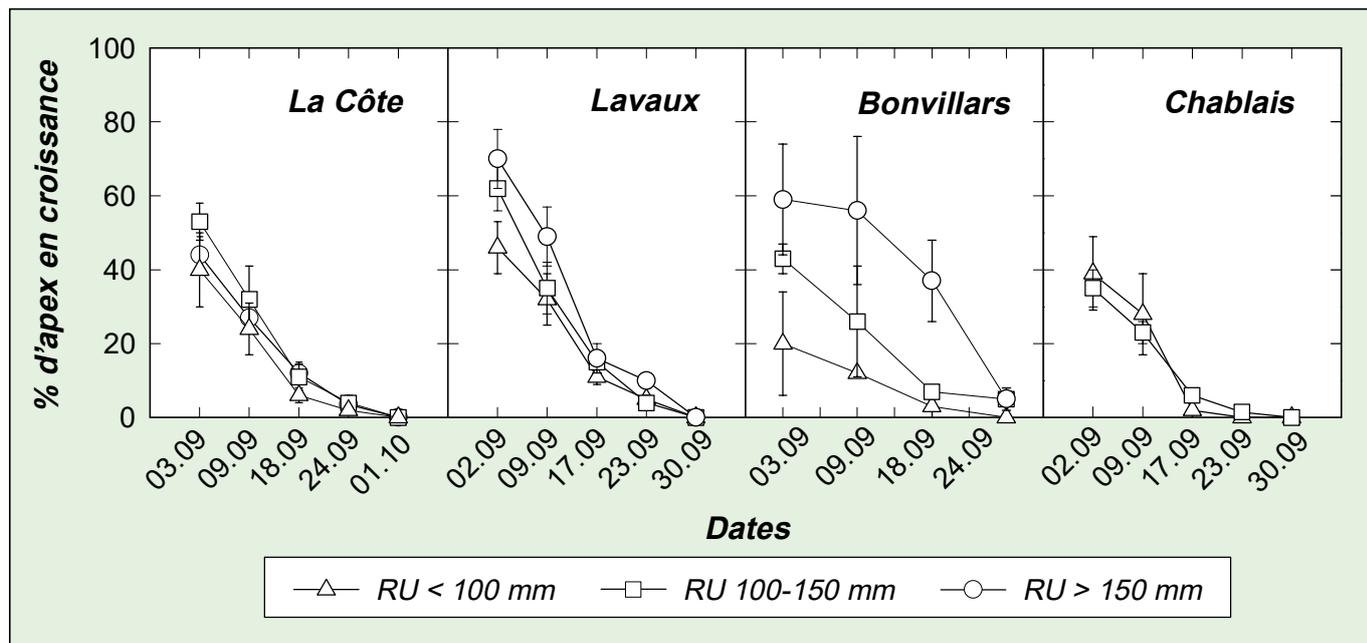


Fig. 4. Evolution du pourcentage d'apex de rameaux secondaires en croissance en fin de saison en relation avec la RU des sols. Barres verticales: erreur standard. Chasselas, zones pilotes dans le canton de Vaud (CH), 2002.

effets liés à des courants locaux (descente d'air froid ou chaud provenant de vallons ou de combes, foehn printanier ou automnal) et à des situations micro-climatiques particulières (effets des murs, terrasses, réflexion lumineuse d'un plan d'eau) étaient également déterminants. Enfin, les facteurs se rapportant au sol tels que le pédoclimat thermique (qui n'a pas fait l'objet d'une étude spécifique) et hydrique sont autant d'éléments qui interagissent avec le comportement de la plante.

La nécessité d'affiner et de valider cet indice climatique par le comportement de la vigne est évidente; néanmoins, les résultats préliminaires obtenus dans l'étude et les possibilités offertes par les systèmes d'informations géographiques (SIG) laissent présager des applications intéressantes dans le domaine de la climatologie, très peu exploré jusqu'à présent dans les études de terroirs viticoles.

Expression végétative et vigueur de la vigne

Les mesures de l'expression végétative de la vigne ont porté sur la vitesse et l'arrêt de la croissance des rameaux, sur l'estimation des surfaces foliaires et des poids frais des rognages exportés par écimage, sur les analyses foliaires ainsi que sur le poids des bois de taille. Dans cet article, seuls les résultats sur l'arrêt de la croissance végétative et le poids des bois de taille sont présentés. En fin de saison, l'arrêt de la croissance végétative est influencé de façon pré-

pondérante par les conditions de température (vignobles septentrionaux) permettant plus ou moins la croissance des apex et par l'équilibre hormonal de la plante. Le vieillissement de la végétation annuelle, accentué par des conditions du milieu peu favorables (contrainte hydrique, photopériode réduite, etc.), entraîne l'arrêt de la croissance végétative.

L'arrêt de la croissance végétative a été évalué en fin de saison 2002, en estimant le pourcentage d'apex de rameaux secondaires encore en croissance (fig. 4). Un fort ralentissement de la croissance a été constaté sur l'ensemble des quatre zones pilotes, autour de la mi-septembre, dû aux températures fraîches observées à cette période de la saison. De manière générale, l'interruption de la croissance ne s'est manifestée que tardivement dans la saison sur l'ensemble des terroirs. Les conditions peu contraignantes pour l'alimentation en eau observées sur la majorité des sites en 2002 permettent d'expliquer l'arrêt tardif de la croissance végétative. Le ralentissement de la croissance a été néanmoins constaté dès le début de septembre, notamment sur les sites à faible RU (inférieure à 100 mm).

L'arrêt de la croissance a été de manière générale plus précoce en 2003 que durant les millésimes précédents en raison des fortes contraintes hydriques et thermiques observées au cours de la période estivale (résultats non présentés).

Le poids individuel d'un sarment à la taille a été corrélé à la réserve en eau des sols et à l'alimentation hydrique de la vigne (fig. 5). Les situations de forte

restriction en eau ont entraîné la diminution du poids des bois de taille par rapport à des situations sans contrainte hydrique, où le poids des bois de taille était élevé.

Production et maturation du raisin

Poids des baies

Dans notre étude, l'alimentation hydrique, estimée soit par la RU des sols, soit par le régime hydrique de la vigne, a exercé une influence prépondérante sur le poids final des baies à la vendange (fig. 6). Les vignes ayant subi une restriction en eau modérée à forte en cours de saison ont affiché des poids de baies relativement faibles, se situant autour de 2 à 2,5 g. A l'inverse, les sites à forte disponibilité en eau (état proche de la turgescence) ont présenté les baies les plus lourdes, pesant jusqu'à 4 g. Le poids final des baies à la vendange observé en 2003 a été nettement inférieur (-25% environ) à celui des millésimes précédents, en relation avec la contrainte hydrique subie par la vigne cette année-là.

Maturation du raisin

Le régime hydrique de la vigne, observé durant la maturation du raisin, a influé fortement sur la concentration en sucres réducteurs des moûts (fig. 7 et 8). Les vignes soumises à une contrainte modérée ont montré des teneurs plus élevées en sucres des baies que les

Terroirs viticoles vaudois

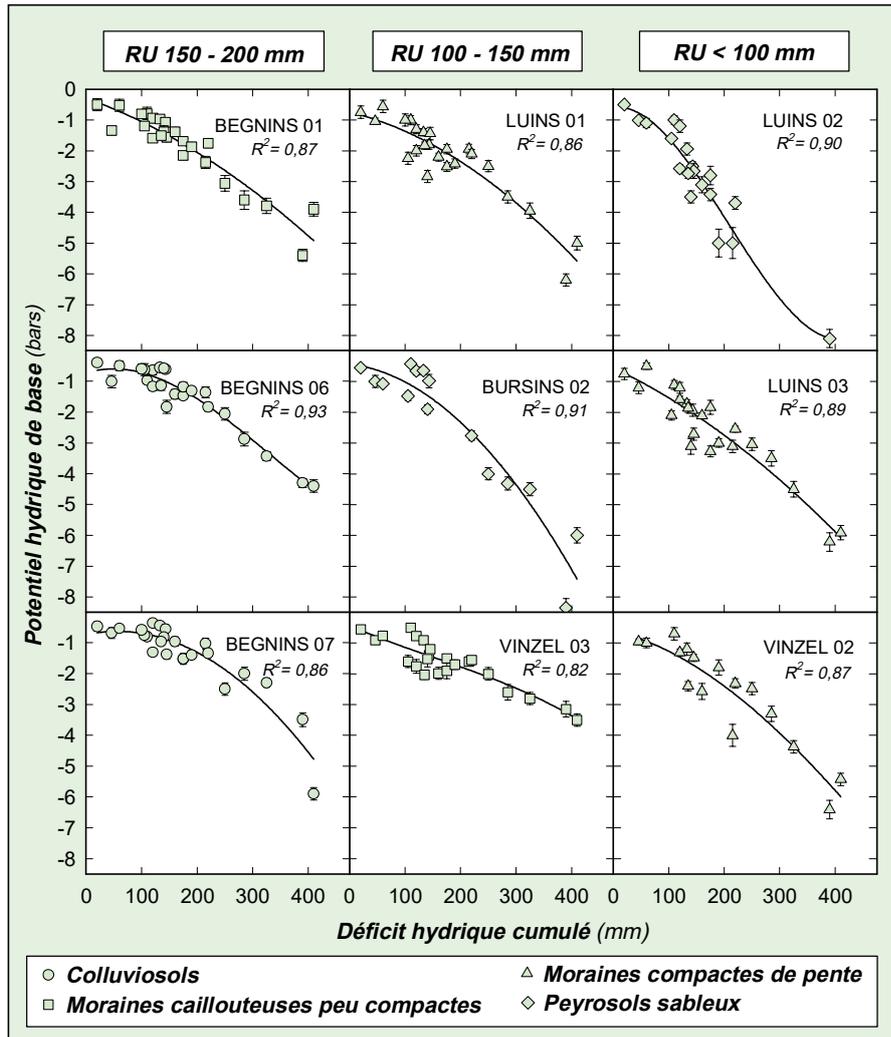


Fig. 5. Relation entre le Ψ_{base} moyen, mesuré durant la saison, et le poids des bois de taille sur l'ensemble du réseau de parcelles. Chasselas, quatre zones pilotes du canton de Vaud (CH), 2001-2002.

vignes n'ayant subi aucun stress hydrique. Ce résultat témoigne du rôle bénéfique d'une contrainte hydrique modérée pendant la maturation du rai-

sin dans l'accumulation des sucres (VAN LEEUWEN et SEGUIN, 1994; TRÉGOAT *et al.*, 2002; SPRING, 2004; SPRING et MURISIER, 2004) et dans l'arrêt pré-

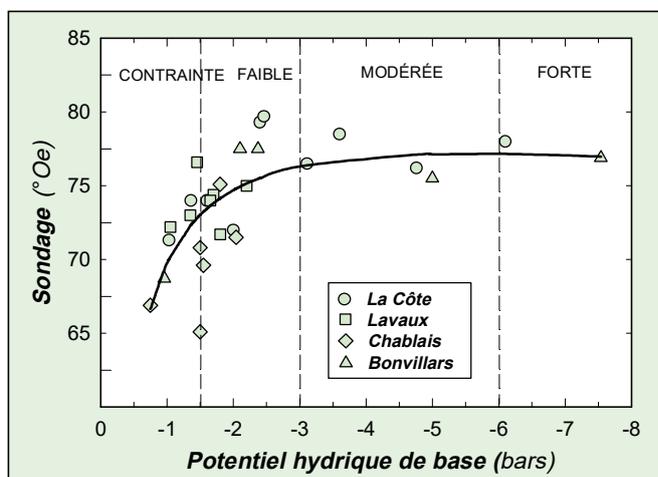


Fig. 7. Relation établie entre le Ψ_{base} durant la maturation et la teneur en sucres des raisins ($^{\circ}\text{Oe}$) à la vendange sur différentes parcelles du réseau à La Côte, Lavaux, Bonvillars et au Chablais. Chasselas, canton de Vaud (CH), 2002.

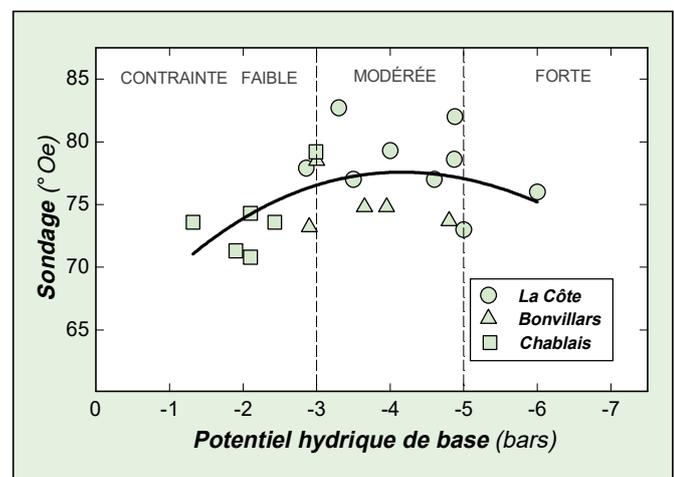


Fig. 8. Relation établie entre le Ψ_{base} durant la maturation et la teneur en sucres des raisins ($^{\circ}\text{Oe}$) à la vendange sur différentes parcelles du réseau à La Côte, Bonvillars et au Chablais. Chasselas, canton de Vaud (CH), 2003.

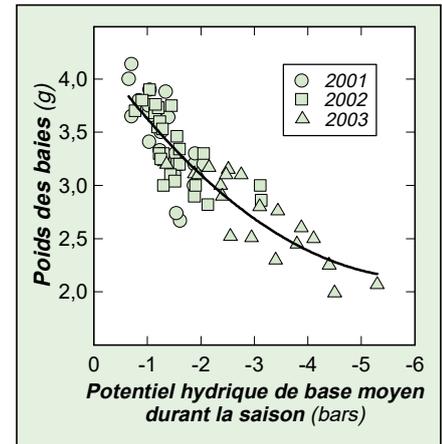


Fig. 6. Relation établie entre le Ψ_{base} moyen, mesuré durant la saison, et le poids final des baies à la vendange dans les quatre zones pilotes (La Côte, Lavaux, Bonvillars, Chablais). Chasselas, canton de Vaud (CH), 2001-2003.

coce de la croissance végétative (autour de la véraison). Des situations de trop forte restriction en eau ont par contre pénalisé la concentration des sucres dans les moûts d'autant plus nettement que la contrainte hydrique était précoce. La chute prématurée des feuilles dans la zone des grappes a entraîné une diminution de la surface foliaire, et donc de l'activité photosynthétique. Une alimentation trop généreuse en eau a conduit à des raisins moins riches en sucres et à des arrêts tardifs de la croissance végétative.

L'acidité totale des moûts ainsi que les teneurs en acide malique et tartrique des raisins ont été globalement comparables sur les différents sites (résultats non présentés). Dans les situations propices à la vigueur excessive de la vigne (forte RU), les moûts ont eu tendance à être un peu plus acides que dans les

Terroirs viticoles vaudois

sites à faible vigueur. Néanmoins, les différences ont été modestes au cours des millésimes 2001-2002. Les températures caniculaires enregistrées durant l'été et la maturation du raisin en 2003 ont fait chuter les teneurs en acidité totale et en acide malique des moûts sur l'ensemble du réseau. L'acide malique a été fortement dégradé en raison des températures extrêmes et du fort éclaircissement régnant dans la zone des grappes après la chute des feuilles due au stress hydrique.

Les valeurs de l'indice de formol en cours de maturation du raisin et à la vendange indiquent si les moûts ont été carencés ou non en azote assimilable par les levures. De manière générale, les sites étudiés n'ont pas présenté de carence élevée en azote durant les trois années d'observation (résultats non présentés).

Bibliographie

AVICE J., OURRY A., LEMAIRE G., BOUCAUD J., 1996. Nitrogen and carbon flows estimated by ^{15}N and ^{13}C pulse-chase labeling regrowth of alfalfa. *Plant physiol.* **112**, 281-290.

BAGGIOLINI M., 1952. Les stades de repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Rev. romande Agric., Vitic.* **8**, 4-6.

BAIZE D., JABIOL B., 1995. Guide pour la description des sols. INRA, 375 p.

CHONÉ X., 2001. Contribution à l'étude des terroirs de Bordeaux: Etude 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 de l'Université de Bordeaux 2, 188 p.

GAUDILLÈRE J.-P., VAN LEEUWEN C., 2000. Mieux évaluer la contrainte hydrique. Agronomie et écophysologie: discrimination isotopique du carbone du sucre et des moûts. *VITI* **249**, 20-22.

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

HACK H., BLEIHOLDER H., BUHR L., MEIER U., SCHNOCK-FRICKE U., WEBER E., WITZENBERGER A., 1992. Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyledoner Pflanzen. Erweiterte BBCH-Skala, Allgemeine. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **44** (12), 265-270.

LEBON E., 1993. De l'influence des facteurs pédo- et mésoclimatiques sur le comportement de la vigne et les caractéristiques du raisin. Application à l'établissement de zonage des potentialités qualitatives en vignoble à climat semi-continental (Alsace). Thèse de doctorat, Centre des sciences de la terre, Université de Bourgogne, 165 p. + annexes.

LETESSIER I., FERMOND C., 2004. Etude des terroirs viticoles vaudois (Suisse), Géo-pédologie. Zone pilote de La Côte: Appellations Bursinel, Vinzel, Luins et Begnins. Rapports SIGALES, Etudes de sols et de terroirs, 38410 Saint-Martin d'Uriage, 70 p.

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 doct. Etat, Bordeaux II, 289 p. + annexes.

Conclusions

- La méthode de travail retenue pour la caractérisation des terroirs viticoles vaudois tente d'intégrer l'ensemble des paramètres susceptibles d'expliquer le fonctionnement d'un terroir: d'une part, les facteurs naturels (géologie, pédologie et climat) et, d'autre part, le comportement de la vigne qui est le principal révélateur de la valeur d'un terroir.
- L'étude du comportement de la vigne a indiqué une très bonne corrélation entre la physiologie de la plante (état hydrique, développement végétatif, poids des baies, accumulation des sucres) et la réserve en eau des sols. Cette observation permet d'affirmer que la méthode utilisée pour la caractérisation des sols est pertinente.
- L'étude de la plante a mis en évidence le rôle bénéfique d'une contrainte hydrique modérée durant la maturation du raisin pour l'accumulation des sucres et pour un arrêt précoce de la végétation.
- Le principal facteur qualitatif d'un terroir paraît être son aptitude à réguler l'alimentation en eau.
- Les résultats de l'étude peuvent être utilisés pour la gestion des techniques culturales (couverture des sols, choix des porte-greffes, etc.) dans le vignoble en relation avec la réserve hydrique des sols.
- La caractérisation des terroirs effectuée à ce jour ouvre des perspectives passionnantes dans l'optique d'étudier l'adaptation des cépages aux différents terroirs du vignoble vaudois.

MORLAT R., 2001. Terroirs viticoles: Etude et valorisation. Editions Oenoplurimédia, collection Avenir (Enologie), 120 p.

PYTHOUD K., CALOZ R., 2003. Base de données, SIG et modélisation du mésoclimat. Rapport du laboratoire de SIG, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), CH-1015 Lausanne, 216 p.

SCHOLANDER P. F., HAMMEL H. T., BRADSTREET E. D., HEMMINGZEN E. A., 1965. Sap Pressure in Vascular Plants. *Science* **148**, 339-346.

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

SPRING J.-L., 2004. Influence de l'alimentation hydrique sur le comportement de la vigne et la qualité des vins de cépages rouges. Les conférences d'Agrovina, Journée d'information viticole, Martigny, 28 janvier 2004, 26-33.

SPRING J.-L., MURISIER F., 2004. Comportement viticole et influence sur la qualité des moûts et des vins. Rapport sur le réseau de parcelles de Chamoson: VITI 2000 - Chamoson (CH). Résultats 1997-2000. Rapport Agroscope RAC Changins, Centre viticole du Caudoz, CH-1009 Pully, 78 p.

TRÉGOAT O., 2003. Caractérisation du régime hydrique et du statut azoté de la vigne par des indicateurs physiologiques dans une étude terroir au sein de huit grands crus de Bordeaux. Influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux II, 285 p.

TRÉGOAT O., VAN LEEUWEN C., CHONÉ X., GAUDILLÈRE J.-P., 2002. Etude du régime hydrique et de la nutrition azotée de la vigne par des indicateurs physiologiques. Influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* L. cv. Merlot, 2000, Bordeaux). *J. int. Sci. Vigne Vin* **36** (3), 133-142.

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 doct. nouveau régime, Bordeaux II, 154 p.

VAN LEEUWEN C., SEGUIN G., 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement végétatif et la maturation du raisin. *J. int. Sci. Vigne Vin* **28**, 81-110.

VAN LEEUWEN C., GAUDILLÈRE J.-P., TRÉGOAT O., 2001. L'évaluation du régime hydrique de la vigne à partir du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. L'intérêt de sa mesure sur les sucres du moût à maturité. *J. int. Sci. Vigne Vin* **35** (4), 195-205.

ZUFFEREY V., MURISIER F., 2004. Etude des terroirs viticoles vaudois (Suisse). Comportement de la vigne en fonction des conditions pédo-climatiques. Rapport final. Agroscope RAC Changins, Centre viticole du Caudoz, CH-1009 Pully, 221 p.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) pour son aide financière et la direction d'Agroscope RAC Changins, station fédérale de recherches agronomiques, qui nous a permis de réaliser ce travail de recherche viticole.

Nos remerciements chaleureux s'adressent également aux membres du comité du projet, à l'Office de la viticulture du canton de Vaud et à l'Association pour l'étude des terroirs viticoles vaudois, en particulier à son président Louis-Philippe Bovard, pour la confiance témoignée. Nous sommes profondément reconnaissants à Conrad Briguet (chef du projet) pour son soutien précieux et sa disponibilité renouvelée tout au long de la réalisation de cette étude.

Notre gratitude s'adresse finalement à tous les vigneron(s) qui ont partagé ce projet et nous ont fait part de leur savoir et de leur passion pour la culture de la vigne et du vin.