



HAL
open science

Facteurs naturels et humains des terroirs viticoles français : méthode d'étude et valorisation

René Morlat, Gérard Barbeau, Christian Asselin

► To cite this version:

René Morlat, Gérard Barbeau, Christian Asselin. Facteurs naturels et humains des terroirs viticoles français : méthode d'étude et valorisation. Systèmes agro-alimentaires localisés : Terroirs, savoir-faire, innovations, 32, INRA, 216 p., 2001, Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, 2-7380-1015-6. hal-02833854

HAL Id: hal-02833854

<https://hal.inrae.fr/hal-02833854v1>

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Facteurs naturels et humains des terroirs viticoles français : méthode d'étude et valorisation

René MORLAT
Gérard BARBEAU
Christian ASSELIN

INRA - Unité de Recherches sur la Vigne et le vin
42, rue G. Morel - BP 57 - 49071 Beaucouzé Cedex
morlat@angers.inra.fr - Tél. 02 41 22 56 80 – Fax. 02 41 22 56 65

Résumé

La notion de terroir sur laquelle repose le système d'Appellation d'Origine Contrôlée, est aujourd'hui vue comme un atout majeur pour faire face à la mondialisation des échanges et à la standardisation des produits. Mais celle-ci reste à la fois à mieux objectiver et à conforter pour renforcer la typicité des produits et améliorer l'adaptation des itinéraires techniques. L'objectif de cette étude est double : d'une part de faire le point des connaissances scientifiques acquises sur l'effet « terroir » en viticulture ; d'autre part de proposer une méthode opérationnelle pour l'étude des terroirs associant le savoir empirique des vigneronns à ces connaissances scientifiques. Le concept développé en Anjou d'Unité Terroir de Base (UTB) a permis de mettre en évidence une relation forte entre les caractéristiques sensorielles d'un vin et son terroir d'origine. Trois grandes variables explicatives de l'effet terroir sur la vigne, ont été dégagées : la précocité, le potentiel de vigueur, et enfin le potentiel d'alimentation en eau. Sur ces bases, un modèle de terrain simple à utiliser, reposant sur la profondeur de sol et son degré d'argilisation, a été développé et testé pour identifier et cartographier chaque UTB. Des algorithmes experts, permettant une estimation chiffrée des variables explicatives de l'effet terroir pour chaque UTB, ont été mis au point. La confrontation de ces données aux connaissances des vigneronns montre que le modèle de terrain utilisé permet d'identifier des unités de terroir généralement pertinentes, vis-à-vis de la réponse de la vigne. L'ensemble de ces études est actuellement valorisé auprès de la filière viticole en Anjou sous la forme d'atlas cartographiques directement utilisables par les vigneronns à l'échelle parcellaire, pour une connaissance des terroirs et une adaptation des pratiques agro-viticoles.

Mots-clés : terroir - modèle de terrain - enquête - vin - valorisation.

Abstract

Environmental and human factors of French viticultural "Terroirs": a study method and its valorisation by winegrowers. The concept of "terroir" underpinning the "Appellation d'Origine Contrôlée" system is viewed as a major asset in the present context of trade globalisation and standardisation of food commodities. But it needs to be defined more precisely to consolidate the typicity of food commodities and develop more adapted grapevine management itineraries. The study had a twofold purpose: to review current scientific knowledge on "terroir" effects in viticulture and to propose an operational method for the study of "terroirs" which associates the empirical knowledge detained by the winegrowers with scientific knowledge.

The concept of "Unité Terroir de Base" (UTB or Basic Terroir Unit), developed in the Loire valley, enabled the authors to highlight the existence of a strong correlation between the sensorial features of a wine and the "terroir" on which it was grown. They identified three main explicative variables of the "terroir" effect on grapevines: grapevine earliness, vigour and yield potential of the vines and, last, the water supply potential. These variables enabled them to produce and test an easy-to-use field model based on the soil depth and its degree of argilisation to identify and map each UTB. Expert algorithms were developed which give an estimate of the explicative variables of the "terroir" effect for each UTB. Confronting this data with the winegrowers' knowledge showed that the field model can be used to identify "terroir" units that are on the whole relevant as regards grapevine response. The results of these studies are being currently experimented in the Anjou winegrowing sector in the form of map atlases that can be used directly by the winegrowers at the field parcel scale for better knowledge of the "terroirs" and adjustment of agro-viticultural practices.

Keywords: "terroir" - field model - viticultural survey - wine - valorisation.

1. Introduction

Le concept de terroir, depuis longtemps utilisé en viticulture, apparaît comme une notion vaste, dont la définition peut varier selon les disciplines (géographie, histoire, droit, sociologie, économie, science du sol et agronomie, etc.). Conscients de l'intérêt d'une approche comparative à ce sujet, nous limiterons toutefois notre objet d'étude à l'acception qui nous a servi à développer les travaux présentés dans cet article. Dans celle-ci, le terroir se rapporte, d'une part, « à une étendue de terre assez limitée, considérée du point de vue de ses qualités ou de ses aptitudes agricoles », et d'autre part, à la valorisation particulière qui en est faite par une communauté de viticulteurs sous l'angle d'un usage et d'un savoir-faire, capables d'exprimer les potentialités naturelles à travers le produit (Salette *et al.*, 1998). Selon les régions viticoles, la délimitation de l'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC), n'a pas privilégié les mêmes facteurs : historico-géographiques dans le cas des AOC communales du Médoc, géologiques dans celui du vignoble de Chablis ou de Champagne (Fanet, 1998, 2000), ou encore juridiques pour le lieu-dit « Coulée de Serrant » de l'AOC Savennières.

Le terroir peut être considéré comme un système complexe, constitué d'une chaîne de facteurs (facteurs naturels du milieu, climat du millésime, cépage, facteurs humains d'intervention) allant jusqu'au produit final.

Chaque région viticole française correspond à un territoire dans lequel s'exprime une plus ou moins grande variabilité des facteurs naturels (le climat et les sols au sens large) qui influencent le fonctionnement de la vigne et jouent un rôle sur les caractéristiques finales du vin. Les viticulteurs sont confrontés à cette diversité naturelle, notamment à travers certains choix cruciaux qu'ils doivent faire et qui les engagent pour plusieurs décennies (porte-greffes, cépages, entretien des sols, etc.). De ce fait, les travaux scientifiques sur les terroirs peuvent avoir des retombées importantes, en matière d'adaptation de l'itinéraire technique agroviticole au couple terroir / millésime. Il devrait en résulter non seulement une

amélioration de la qualité des vins, mais aussi une typicité renforcée du produit. Ces travaux permettront également de proposer des outils et critères renouvelés, pour le zonage des aires d'appellation d'origine.

Mieux utiliser le facteur terroir pour augmenter la qualité, améliorer la typicité du vin, et authentifier finement son origine (traçabilité), est un atout économique pour les vigneron, face à une mondialisation du marché. L'approche scientifique a permis de proposer le concept d'Unité Terroir de Base (UTB) comme pivot méthodologique. Il représente une entité territoriale de fonctionnement de la vigne, valorisable par la viticulture (Morlat, 1998).

2. Démontrer et expliquer le lien du vin à son terroir

2.1. Dispositif d'étude

En Val de Loire, cette démonstration s'est appuyée sur un réseau multilocal de parcelles expérimentales, permettant d'étudier 13 terroirs différents, répartis dans les vignobles de Chinon, Bourgueil et Saumur-Champigny.

Chaque unité de terroir a été définie, à l'échelle cartographique du 1/25.000, par : l'étage géologique auquel elle appartient, la nature précise de la roche mère du sol et par les caractéristiques du sol lui-même sur le plan pédogénétique et physico-chimique.

Pour toutes les parcelles, nous avons utilisé un même matériel végétal (sélection massale de Cabernet franc greffé sur SO4), une conduite de la vigne et du sol identiques, ainsi que la même vinification et élevage des vins.

Dans cet essai, huit parcelles implantées sur une même unité de terroir (sol calcaire sur craie sablo-glaucconieuse du Turonien moyen), ont permis d'étudier l'homogénéité de réponse de la vigne à une UTB donnée, à travers le vin.

Les divers résultats portent sur des années climatiques très différentes, entre 1979 et 1997, ce qui a permis d'aborder l'interaction millésime / terroir.

Entre 1990 et 1995, un autre réseau de parcelles a été installé en Alsace, en collaboration avec le Centre INRA de Colmar, afin de vérifier dans d'autres conditions que celles du Val de Loire (région viticole, climat, sols, cépage, conduite de la vigne, type de vin), l'existence de l'effet terroir.

2.2. Influence du terroir sur la vendange et le vin

En Val de Loire, l'effet du terroir a été étudié avec une large gamme de roches et de sols dont les principaux étaient les suivants : sols sur craie, sols sur grès et poudingues, sols gravelo-caillouteux de terrasse fluviatile, sables argileux sur argiles, limons d'apport éoliens, sables colluviaux épais sur argiles. Il s'est révélé très important sur la composition de la vendange comme le montrent, par exemple, les résultats de 1997, obtenus avec le cépage Cabernet franc (Tableau 1).

On peut observer, entre terroirs, des écarts atteignant : 15 % pour les teneurs en sucres réducteurs soit environ 2 degrés d'alcool potentiel, 63 % pour l'acide malique, 38 %

pour les anthocyanes et 35 % pour l'indice de polyphénols. Il faut souligner que les différences obtenues en 1997, entre terroirs, sont comparables à celles déjà notées en 1979 ou 1980, alors que la vigne n'était seulement âgée que de 5 ans.

En Alsace, avec le cépage blanc aromatique Guewurztraminer, les teneurs moyennes en sucres réducteurs vont de 193 g/l pour des alluvions caillouteuses fluviatiles, à 206 g/l pour un granite des Vosges et jusqu'à 234 g/l pour un calcaire marneux de l'Oligocène. Dans les mêmes conditions, l'acidité totale varie dans une gamme située entre 50 et 75 meq / l (Lebon *et al.*, 1996).

En Val de Loire, les dégustations des vins rouges issus des divers terroirs, ont été réalisées par un jury d'une trentaine de membres ayant été entraînés à utiliser une fiche d'évaluation sensorielle qui permettait de noter l'intensité de chaque descripteur sensoriel sur une échelle normée allant de 1 (très faible) à 5 (très fort). Les données ont été interprétées grâce à l'analyse factorielle multiple (Asselin *et al.*, 1992).

Parcelles (terroir)	Sucres réducteurs (g / litre de moût)	Acide malique (meq / litre de moût)	Anthocyanes (mg / 100g de baies)	Indice Polyphénols
1DAM Craie glauconieuse (Turonien moyen)	233	26	147	66
1CHA Sables caillouteux sur grès et poudingues (Eocène)	216	18	180	86
4EL Sables argileux sur argiles (Sénonien)	208	43	136	62
1TUR Limos des plateaux (Quaternaire)	184	49	137	58
1VAU Limos argileux à silex (Sénonien)	203	39	119	56
2ING Sables épais sur argiles (Colluvions)	197	44	112	56

Tableau 1. Principaux constituants du raisin à la date des vendanges dans divers terroirs, en 1997 (Cépage Cabernet franc sur SO4, en Val de Loire, prélèvement du 06/10/97)

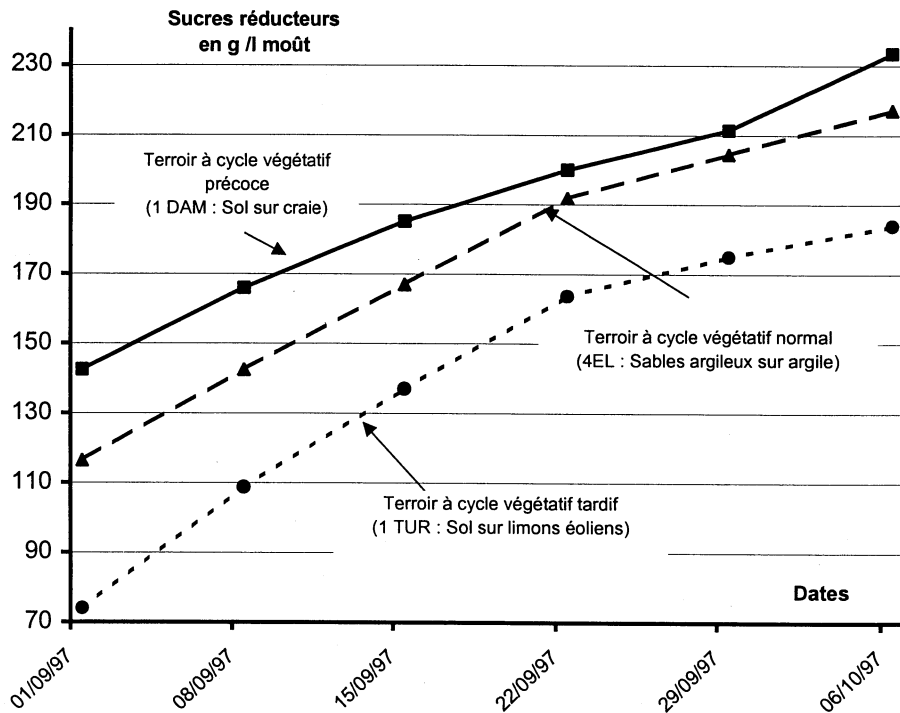
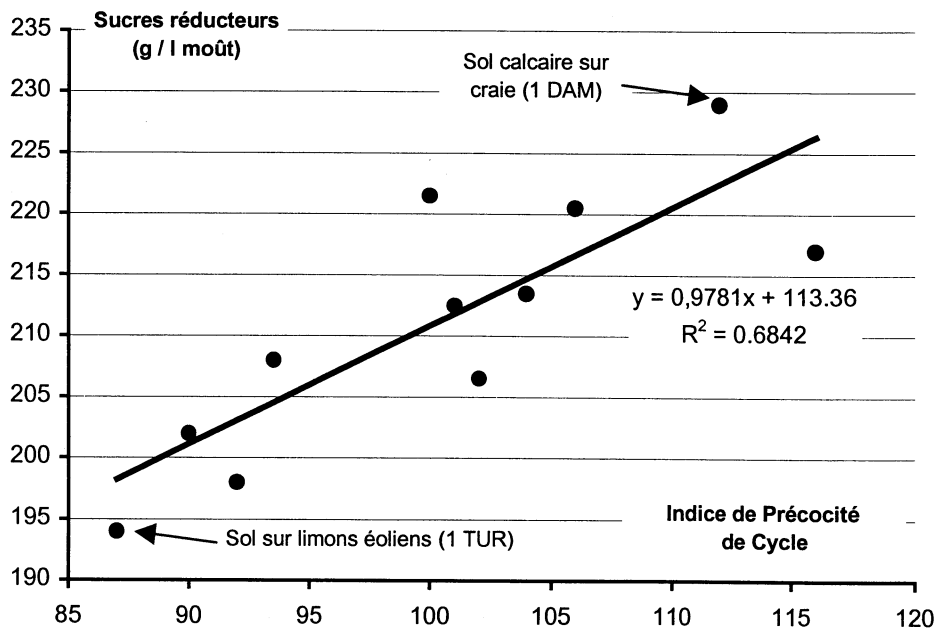


Figure 1. Effet de la précocité du cycle végétatif sur l'accumulation des sucres réducteurs dans les baies, dans divers terroirs (Cabernet franc / SO4, Val de Loire, année 1997)



où :

- IP cycle = IP flor + 100 [(Vm-Fm) - (Vi-Fi) / (Vm-Fm)]
- Vm = date mi-véraison moyenne des parcelles (date départ 1er janvier)
- Vi = date mi-véraison de la parcelle i
- Fm = date mi-floraison moyenne des parcelles
- Fi = date de mi-floraison de la parcelle i
- avec IP Cycle = Indice de Précocité de cycle végétatif de la vigne
- avec IP Floraison = 100 [1+ (Fm-Fi / Fm)]

Figure 2. Relation entre l'indice de précocité de cycle de la vigne (Barbeau *et al.*, 1998) et la teneur en sucres réducteurs des baies (Cabernet franc / SO4, Val de Loire, année 1997)

Les résultats ont permis de constituer trois grands groupes de vins :

- des vins qui ont été considérés, quel que soit le millésime, comme les plus intenses aux plans visuel, aromatique et gustatif ; avec un bon équilibre, une forte harmonie et même du velouté. Ils proviennent de terroirs divers comme des sables épais du Sénonien, des argiles épaisses de l'Eocène mais surtout des sols sur craie sablo-glaucouneuse du Turonien. A ce propos, il faut souligner que la plupart des parcelles répétitives (80 % d'entre elles) choisies sur ce terroir, ont donné des vins placés dans le même groupe, si bien que l'on peut dire qu'il y avait une bonne reproductibilité de l'effet terroir. On a pu relier ces types de vins aux vendanges les plus riches en composés nobles de la baie (Tableau 1).
- Des vins toujours caractérisés comme les moins intenses, sur le plan visuel et aromatique, avec un manque d'équilibre. Ils avaient aussi de faibles intensités d'attaque et de fin de bouche, et ont été souvent notés acides et parfois brûlants, sans beaucoup de velouté. Ils sont issus de terroirs variés comme des limons à silex du Sénonien, des limons d'apports éoliens, ou des colluvions sableuses épaisses sur argiles. Ces vins proviennent en général des vendanges les moins riches en composés comme les sucres, ou les anthocyanes.
- Enfin, des vins dont les caractéristiques sensorielles varient beaucoup avec le millésime, comme ceux produits par les sols sablo-caillouteux sur grès et poudingues de l'Eocène, les sols gravello-sableux de la basse terrasse de la Loire, ou les sables argileux sur argiles sableuses du Sénonien.

2.3. Les facteurs explicatifs de l'effet terroir mis en évidence

Il faut rappeler que chaque vignoble est d'abord soumis à l'influence d'une zone climatique qui dépend surtout de l'hémisphère, de la latitude et de l'altitude. De nombreuses recherches sur le zonage à cette

échelle (pays, continent) ont permis d'établir divers indices bioclimatiques.

A l'échelle de la région, les différences entre terroirs concernant la composition des vendanges et les caractéristiques sensorielles des vins, peuvent s'expliquer par un certain nombre de variables que nous avons pu dégager :

a) Précocité de cycle de la vigne

Les résultats obtenus, tant en Val de Loire qu'en Alsace, mettent en lumière le rôle essentiel de la précocité de cycle de la vigne dans l'explication du niveau de maturité atteint au moment des vendanges, particulièrement dans les vignobles septentrionaux où les conditions thermiques et lumineuses peuvent devenir limitantes dès le début de l'automne. En Val de Loire, des suivis phénologiques de la vigne, enregistrés sur de nombreux millésimes, ont mis en évidence de grandes différences de précocité, entre terroirs. Barbeau *et al.* (1998) ont élaboré un indice de précocité de cycle permettant de quantifier ces différences.

Ces variations de précocité entre terroirs, s'expriment bien sur les courbes de maturation, en créant des écarts importants dans les quantités initiales des composés nobles de la baie (Figure 1), et ceux-ci subsistent jusqu'aux vendanges. Des corrélations significatives ont été établies (Morlat *et al.*, 1997 ; Barbeau *et al.*, 1998) entre l'indice de précocité de cycle et les constituants de la vendange (sucres réducteurs, acides organiques, anthocyanes, polyphénols) (Figure 2).

En Alsace, les variations de précocité de la vigne entre divers terroirs, sont à relier principalement à la composante climatique aérienne (mésoclimat) de l'unité terroir de base. Les pentes exposées sud et sud-ouest, particulièrement sur granite et conglomérat calcaire, permettent un échauffement diurne des versants, lié au rayonnement global. Cet effet sur la température de l'air est renforcé par les capacités d'échauffement des sols en surface et l'atténuation de la ventilation.

En Val de Loire, ces différences climatiques entre terroirs, sont nettement plus faibles et n'expliquent pas majoritairement les variations de précocité de la vigne.

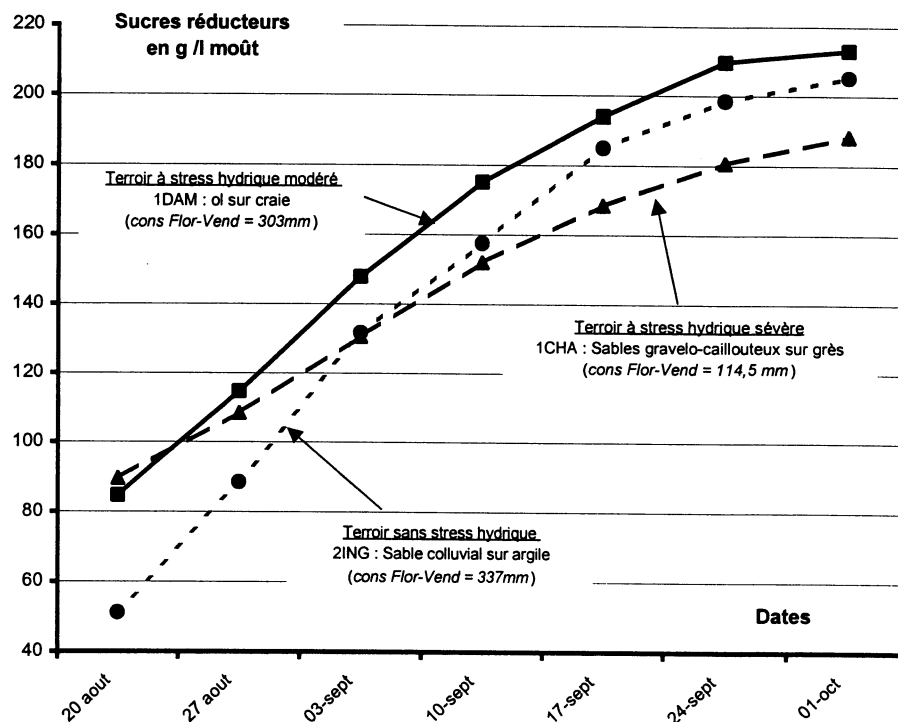


Figure 3. Effet des conditions d'alimentation en eau de la vigne sur l'accumulation des sucres réducteurs dans les baies, durant la maturation (Cabernet franc / SO4, année 1990)

Mais dans la phase de réchauffement du printemps, des différences de températures pouvant atteindre plusieurs °C ont pu être mesurées entre divers sols (Morlat, 1989; Cellier *et al.*, 1996). Le stade phénologique observé à une même date, dans chaque parcelle, est apparu en liaison positive étroite avec la somme des températures supérieures à 10°C (seuil végétatif admis pour la vigne) reçues par les horizons du sol les plus colonisés par l'enracinement. Si ces horizons sont proches de la surface, la précocité de la vigne est améliorée. La température de ces couches est liée aussi au comportement thermique global du sol : ce dernier dépend à la fois de la capacité calorifique volumique du milieu et de sa conductivité thermique (Cellier *et al.*, 1996). Ces deux caractéristiques sont à rapprocher des propriétés physiques du sol qui varient d'un terroir à l'autre (teneur en eau, texture, type d'agencement et de contact entre particules, couleur et état de surface, type de transition entre horizons).

b) Conditions d'alimentation en eau de la vigne

En Val de Loire, certains terroirs pouvant induire des contraintes hydriques fortes

pour la vigne (sols gravelo-sableux de terrasse de la Loire, sols sablo-caillouteux sur grès et poudingues) produisent des vins rouges dont l'expression sensorielle varie fortement selon les conditions hydriques des millésimes. En année pluvieuse, ces vins sont considérés comme assez intenses, toujours harmonieux, présentant une certaine structure et souvent crédités d'arômes floraux ou fruités. En année sèche, comme en 1982 ou 1990, l'effet du stress hydrique diminue l'accumulation des sucres (figure 3) et des anthocyanes, tandis que la combustion de l'acide malique est exacerbée, de même que la synthèse des polyphénols (Morlat *et al.*, 1992), d'où des vins considérés comme moins harmonieux et moins aptes au vieillissement.

Ce type de comportement est lié à des difficultés d'alimentation en eau entraînant des stress sévères de la vigne, en raison de réserves du sol trop faibles, parfois non reconstituées pendant l'hiver et trop vite épuisées par un enracinement limité en profondeur par une roche compacte (exemple en 1990 : 115 mm d'eau consommés entre la floraison et la vendange). Dans les terroirs sur craie tuffeau ou argiles de l'Eocène, les réserves en eau de la roche, tout

en étant assez liées à la phase solide, restent accessibles à des racines profondes. Il s'établit une contrainte hydrique modérée, favorable à la maturation (303 mm d'eau consommés). Enfin, dans les sables épais colluviaux sur argiles sableuses, la consommation en eau est proche de l'évapotranspiration maximale de la vigne, en raison de réserves profondes abondantes et facilement extractibles par un enracinement plongeant très ramifié (337 mm d'eau consommés) ; il en résulte une croissance végétative très forte pouvant encore être active pendant la maturation et venant concurrencer les baies dans la destination des assimilats, (Morlat *et al.*, 1992).

c) Potentiel de vigueur du terroir et autres facteurs

Il est admis en viticulture qu'il existe une liaison négative entre le rendement en raisin (en tonnes/ha), et la qualité de la vendange. Les caractéristiques du terroir définissent un potentiel de vigueur qui peut déterminer un potentiel de rendement. Cette relation s'est vérifiée dans nos expérimentations, sauf dans les cas de stress hydriques sévères qui limitent à la fois la production et la qualité du raisin. Le potentiel de vigueur et de rendement dépend beaucoup des conditions que rencontre le système racinaire pour se développer et fonctionner. En Val de Loire, plusieurs types de profils racinaires ont été mis en évidence en fonction des terroirs, pour le cépage Cabernet franc greffé sur SO4 (Morlat et Jacquet, 1993).

Le potentiel de vigueur du terroir qui influence, pour un même mode de conduite, l'entassement du feuillage, va modifier indirectement le microclimat thermique et lumineux de la zone des grappes dont le rôle important dans la maturation du raisin a été démontré (Carbonneau, 1980 ; Smart 1985). Bien qu'aucun effet véritable de la composition chimique du terroir (éléments majeurs et oligo-éléments), n'ait pu être mis en évidence dans le cadre des travaux présentés, il serait utile de mettre en place un essai dans lequel le protocole permettrait de découpler l'effet des facteurs chimiques de celui des facteurs physiques.

3. Une méthode opérationnelle pour l'étude des facteurs naturels et humains du terroir

Depuis plusieurs années, l'intérêt grandissant des vigneron pour la notion de terroir et ses perspectives sur le plan agro-viticole et commercial a engendré une forte demande pour des études dans divers vignobles. La méthodologie utilisée en recherche, indispensable sur le plan fondamental, s'est avérée trop lourde et complexe pour répondre à cette demande. Il était donc nécessaire de tenter d'élaborer une méthode opérationnelle et transférable à la profession. Celle-ci comporte trois volets principaux :

- élaboration d'un modèle simple et généralisable d'identification, caractérisation et zonage de l'Unité Terroir de Base,
- approche par enquête de la perception empirique du terroir par le vigneron pour alléger l'étude de l'effet terroir sur la vigne et le vin,
- valorisation des résultats auprès des viticulteurs.

Les travaux ont été conduits dans le cadre du programme « Terroirs d'Anjou » qui a débuté fin 1994 pour une période de 5 ans. L'étude a été réalisée sur 29 communes (soit environ 30.000 ha) situées au cœur du vignoble de l'Anjou, au Sud de la Loire, au contact entre le Bassin Parisien sédimentaire à l'Est, et le Massif Armoricaïn éruptif et métamorphique à l'Ouest. La zone est traversée par une importante faille géologique, de direction NW - SE, empruntée par le cours d'eau du Layon. Sur une surface relativement restreinte, la mise au point de la méthode a bénéficié d'une très grande diversité de terroirs, dans le contexte de nombreuses appellations d'origine contrôlée, allant de la zone A.O.C. générique jusqu'au Cru. Enfin, l'existence de nombreuses exploitations familiales, commercialisant directement leurs vins, était un élément favorable à la mise au point d'une méthode d'enquête viticole, qui requiert une

bonne connaissance empirique des relations terroir - vin.

3.1. Un modèle de terrain pour identifier et zoner l'Unité Terroir de Base

Dans une appellation d'origine contrôlée, en raison de la variabilité des facteurs naturels qui s'exprime à grande échelle, il existe, sur le plan des conditions écophysologiques rencontrées par la vigne, plusieurs UTB La cartographie classique, privilégiant une approche pédogénétique du sol, est insuffisante pour identifier ces territoires. Pour résoudre ce problème, un modèle de terrain a été développé (Morlat, 1996, 1997). Il propose plusieurs clefs pour connaître les UTB d'un vignoble. Une première double clef fait intervenir la composante géologique du terroir. Elle utilise, d'une part l'étage stratigraphique et, d'autre part la nature précise de la roche-mère du sol.

Ensuite, pour traiter le sol et sa variabilité, une seconde clef majeure permet de distinguer trois types de milieu nommés : roche, altération et altérite. Pour identifier un milieu, seuls sont utilisés l'épaisseur du sol et le degré d'altération de sa roche-mère. Cela se traduit en général par une teneur en argile du sol qui augmente dans le sens roche < altération < altérite. Plus précisément, pour un même étage géologique et un même type de roche, préalablement identifiés par la clef géologique, chaque milieu sera défini comme suit :

- milieu roche dans lequel le sol est le plus caillouteux et le moins argileux de la série et qui repose sur la roche-mère saine ou peu altérée, apparaissant au plus à 70 cm de profondeur ;
- milieu altération où le sol est moins caillouteux et plus argileux, tandis que le matériau géologique de la roche-mère, en cours de transformation mais identifiable, se rencontre entre 70 et 120 cm de profondeur ;
- milieu altérite qui présente le sol le moins caillouteux et le plus argileux de la série sans que la roche-mère, même en voie de transformation, n'apparaisse avant 120 cm.

Cette clef du modèle, relative au sol, s'applique à toutes sortes de roches-mères, meubles (marnes, molasses, argiles géologiques, etc.) ou de dureté variable (craie, calcaires, grès, schistes plus ou moins métamorphiques, granites, roches volcaniques, etc.). Par contre, elle ne peut s'appliquer aux terroirs sur matériaux d'apport, comme des limons éoliens, moraines glaciaires ou alluvions fluviales, qui n'ont pas de roche - mère. Mais les outils développés (profondeur de sol et degré d'argilisation) restent valables pour le zonage de ces terroirs.

Sur le terrain, la cartographie des UTB est faite à l'échelle du 1/ 12.500, par un semis de points de sondage à la tarière dont chacun est caractérisé par un ensemble de critères. En premier lieu, il s'agit de l'étage géologique et de la nature de la roche-mère du sol. L'altitude, la topographie, l'orientation de la pente, et l'Indice d'Ouverture de Paysage dont la méthode de mesure a été exposée par Morlat, (1996) sont déterminés à chaque point de sondage.

Pour le sol, sont retenues les variables que l'on peut aisément cartographier : couleur, épaisseur et type de chaque horizon, texture, drainage de l'eau dans le sol, réaction à l'acide. Des analyses physico-chimiques (granulométrie, composition chimique du sol) sont réalisées sur des échantillons prélevés à la tarière et sur des fosses pédologiques qui permettent aussi la détermination in situ de la masse volumique apparente, la structure, la résistance mécanique à la pénétration et les réserves en eau du sol, comme de l'enracinement de la vigne. La densité des points de sondage dépend de la complexité du milieu et se situe en moyenne entre 0,5 et 1 point/ha. Ils sont reportés sur photographies aériennes qui apportent aussi une aide précieuse pour la délimitation spatiale des UTB.

Ces données, de type géographique et alphanumérique, sont traitées par un Système d'Information Géographique, couplé à une base de données relationnelles.

Cette méthode privilégiant les composantes géologique et pédologique, pour identifier l'UTB, intègre la composante climatique aérienne du terroir, du fait des liens qui existent, à l'échelle de travail, entre les deux

types de variables (Jacquet et Morlat, 1997 ; Dumas *et al*, 1997). Mais, dans les rares cas où la pente est $\geq 10\%$, l'orientation de celle-ci sera une clé secondaire de zonage de l'UTB.

L'Unité Terroir de Base est ainsi définie par un étage géologique, un type de roche et un type de milieu sol (roche, altération ou altérite). La mise en œuvre de ce modèle permet de produire des cartes faciles à utiliser par le vigneron (Carte 1). Son application à une région viticole, fera apparaître, *a contrario*, les formations colluviales ou d'apport qui peuvent aussi exister.

D'après les travaux déjà réalisés (Morlat, 1998 ; Schwarz, 1997), ce modèle doit permettre de représenter correctement, les variations des diverses propriétés physiques du sol qui sont majoritairement à la base de l'effet terroir.

Le potentiel de précocité, les conditions d'alimentation en eau, ou le potentiel de vigueur du terroir, ne sont pas directement appréciables sur le terrain. Une première génération d'algorithmes experts, permettant d'en avoir une estimation chiffrée, a donc été élaborée (Guilbault *et al*, 1998). Ceux-ci utilisent les critères que l'on peut directement cartographier, après pondération de chacun d'eux. Le choix des critères et la pondération ont été validés sur parcelles expérimentales.

3.2. Etude de l'effet terroir par enquête auprès des vignerons

Afin de réduire le coût et la durée des travaux, nous avons exploré les possibilités qu'offre une enquête pour caractériser l'effet terroir sur la vigne et le vin. Cette enquête avait aussi pour but de tenter de valider le modèle d'étude des terroirs proposé. Dans une première approche, nous avons privilégié l'entretien individualisé chez le vigneron, afin que ce dernier soit, *a priori*, dans les meilleures conditions psychologiques pour répondre au questionnaire (absence de leaders et de stress lié à un groupe, etc.). L'enquête a eu lieu avec chaque vigneron sur 18 communes de la

zone étudiée. Le questionnaire utilisé aborde pour chaque parcelle et chaque cépage :

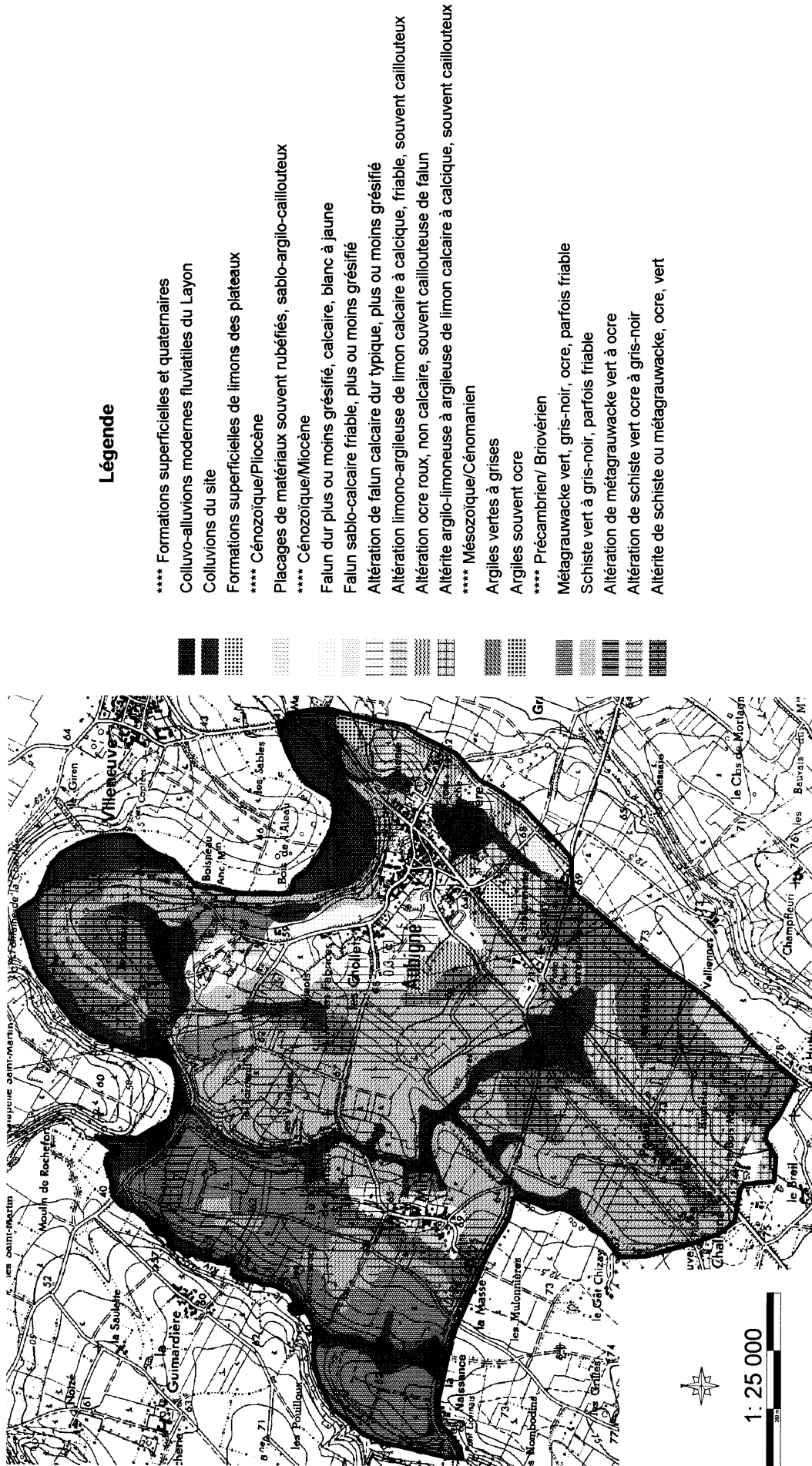
- les facteurs naturels du terroir (climat de la parcelle, comportement hydrique et thermique du sol) ;
- la vigne et son comportement (niveau de vigueur, niveau de précocité, comportement vis-à-vis de la contrainte hydrique) ;
- une estimation du potentiel de la parcelle pour la surmaturation du raisin,
- les pratiques de vendange et de vinification.

La plupart des questions comportait 3 modalités de réponse possibles soit : plus faible que la moyenne, dans la moyenne, plus fort que la moyenne. Bien entendu, la représentation de la moyenne pour chaque question, dépend sans doute du viticulteur, de la taille et de la situation géographique de son exploitation. Mais on peut penser que le nombre important de viticulteurs pris en compte, tamponne ces variations.

4. Exemple de résultats obtenus et discussion

Le tableau 2 compare les résultats de la caractérisation des terroirs par le modèle décrit précédemment (acquis à partir de 7547 sondages) avec ceux issus de l'enquête (obtenus sur 2579 parcelles). Il présente les variables qui, à la suite d'une Analyse en Composantes Multiples, sont apparues associées significativement (Valeur test >1.96) aux milieux roche, altération ou altérite.

Les milieux roche et altérite du modèle, quels que soient l'étage géologique et la roche-mère, sont bien définis par plusieurs variables du sol et du paysage viticole. Les écarts obtenus entre roche et altérite traduisent bien deux entités différentes de fonctionnement pour la vigne. Les réponses à l'enquête discriminent également ces deux milieux par des critères comme : température de l'air, risques de gel, épaisseur de sol, teneur en éléments grossiers, comportement thermique et hydrique du sol.



Fond thématique numérique à 1: 25 000 de l'Unité de Recherches sur la Vigne et le Vin ©INRA 1999
 Fond cartographique numérique à 1: 25 000 de l'Institut Géographique National ©IGN - Paris - 1998 - Autorisation n°40 - 8033

Carte 1. Carte des Unités Terroir de Base de la commune d'Aubigné / Layon (Anjou)

Milieux du « Modèle général »	Variables significatives (Caractérisation terrain, 7547 points)	Variables significatives (Enquête parcellaire, 2579 parcelles)
Roche	Altitude : entre 30 et 70m Paysage : moyenne ouverture Pente, sommet butte Epaisseur sol < 60cm Eléments grossiers : > 25 % Réserve eau : faible à moyenne Drainage : bon à très bon	Température air : +forte que la moyenne Risque gel : fort Epaisseur sol : < 50cm Teneur forte éléments grossiers Sol chaud, séchant Précocité débourrement : +forte que la moyenne Vigueur +faible
Altération	Pente faible, plateau Epaisseur sol : > 60cm Eléments grossiers : 0, 5 à 25% Epaisseur sol : < 60cm Réserve en eau : faible à forte Drainage : correct à faible	Gel faible Epaisseur sol : > 80cm Teneur faible en éléments grossiers Teneur forte éléments grossiers Précocité débourrement : + faible que la moyenne
Altérite	Altitude : > 70m Plateau, pente faible, thalweg léger Epaisseur sol : > 100cm Eléments grossiers : 0, 5 à 15 % Réserve en eau : moyenne à forte Drainage : faible à mauvais	Température air : +faible à moyenne Risque gel : faible Epaisseur sol : > 80cm Teneur faible éléments grossiers Sol froid, humide Précocité débourrement : +faible que la moyenne Vigueur : +forte que la moyenne

Tableau 2. Variables de caractérisation du terroir significatives en A.C.M. en relation avec les 3 milieux générés par un modèle de terrain en Anjou (Valeur test A.C.M.> 1.96)

Le milieu roche est significativement associé aux modalités température plus forte et gel fort, alors que l'altérite l'est aux modalités température moyenne ou plus faible et gel faible. Cette perception apparaît logique car ces différences peuvent s'expliquer par les écarts d'altitude et de type de relief : la roche se distingue par une modalité altitude faible (30 à 70 m), une pente moyenne et une ouverture de paysage moyenne (pouvant réduire la ventilation) ; tandis que l'altérite se caractérise par une altitude >70 m et une pente faible. Dans le cas de la roche, la forte précocité induite au débournement à la vigne, et liée à la nature du sol et au climat local, accentue encore le risque de gel de printemps, par rapport à l'altérite (Thelier-Huché & Morlat, 2000). Le milieu altération, phase intermédiaire dans l'évolution du complexe sol / roche, est moins bien caractérisé, surtout par l'enquête. Les critères significatifs le rapprocheraient plus de l'altérite, que de la roche.

A l'échelle de l'UTB, c'est-à-dire en comparant les trois milieux sols d'une même roche-mère appartenant à un étage géologique déterminé, on a pu affiner la caractérisation des terroirs les plus fréquents, d'une part sur métagrauwacke du Briovérien (6088 ha), et d'autre part sur schiste gréseux vert de l'Ordovicien-Dévonien (3526 ha). Les résultats montrent que les grandes tendances déjà évoquées sans tenir compte de la composante géologique, sont confirmées. Mais le milieu roche sur métagrauwacke est mieux défini par les viticulteurs que celui sur schiste gréseux, avec des sols plus caillouteux, chauds et des réserves en eau plus faibles. Sur le plan climatique, les réponses des vigneronnes traduisent des différences importantes entre les deux systèmes géologiques, pour l'intensité du vent, les risques de gel et la température de l'air (Tableau 3). Sur schiste gréseux de l'Ordovicien-Dévonien, la roche et l'altération ont une modalité significative « vent plus fort » qui ne se retrouve pas

<i>Milieux</i> →	<i>Modèle de terrain</i>		
	<i>Roche</i>	<i>Altération</i>	<i>Altérite</i>
Métagrauwacke du Briovérien	310 parcelles	176 parcelles	183 parcelles
- variables perçues par enquête :			
risque de gel	fort (7.48)		
vent			
température	forte (6.06)		moyenne (2.73)
- variables caractérisation INRA :			
altitude	[30 ; 70[(13)	[30 ; 70[(7)	[50 ; 70[(5)
pente			
ouverture de paysage		très ouvert (4)	
Schiste gréseux vert gris (o5-d2)	94 parcelles	73 parcelles	113 parcelles
- variables perçues par enquête :			
risque de gel	<u>fort (-4.14)</u>	<u>fort (-3.30)</u>	faible (3.24)
vent	fort (4.67)	fort (2.85)	
température		<u>forte (-2.83)</u>	<u>forte (-2.61)</u>
- variables caractérisation INRA :			
altitude	> 70 m (7)	> 90 m (11)	> 70 m (7)
pente	moyenne (4)		faible à nulle ((2)
ouverture de paysage		<u>très ouvert (-3)</u>	<u>très ouvert (-4)</u>

Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs-test issues des ACM réalisées ; le signe (-) signifie l'opposition à cette variable (la modalité est alors soulignée).

Tableau 3. Variables de caractérisation paysagères et mésoclimatiques, significativement associées (au seuil de 5 %, valeur test > 1.96) à une Unité Terroir de Base

Variables calculées		Milieux Sol		
		<i>Roche</i> (4404 sondages)	<i>Altération</i> (4350 sondages)	<i>Altérite</i> (2292 sondages)
Réserve en eau	Moyenne mm (Coeff Var %)	47,1 (44)	105,3 (28)	154,1 (11)
Potentiel de Vigueur *	Note moyenne (Coeff Var %)	6,1 (28)	9,7 (19.5)	11,7 (12)
Potentiel de Précocité **	Note moyenne (Coeff Var %)	49,3 (7)	39,8 (13)	33,7 (11)

* faible [4 à 7[; moyen [7 à 10[; fort [10 à 12], calculé par algorithme expert.

** plus faible < 32 ; normal à plus faible [32-40] ; normal à plus fort [40-48], > 48 plus fort, calculé par algorithme expert (Guilbault *et al.*, 1998).

Tableau 4. Moyennes et coefficients de variation calculés, pour les variables de fonctionnement, dans les trois types de milieux générés par le modèle de terrain sur l'ensemble de la zone étudiée en Anjou

pour la métagrauwacke du Briovérien. Ces terroirs sont aussi opposés à la modalité gel fort, alors que c'est l'inverse pour le milieu roche sur métagrauwacke. Les différences d'altitude et de position géographique des deux systèmes, par rapport à la faille du Layon (compartiment effondré pour la métagrauwacke et surélevé pour les schistes gréseux), peuvent en être l'explication.

A titre d'exemple, on peut également présenter les moyennes des variables de fonctionnement, calculées par algorithmes experts dans le cas de la métagrauwacke (Tableau 4). Des écarts importants existent entre milieux du modèle et permettent de prévoir un comportement différencié de la vigne. La réserve utile en eau passe de

40 mm pour la roche à 100 mm pour l'altération et à plus de 150 mm pour l'altérite. Le milieu roche a un potentiel de vigueur faible (6.1), mais un potentiel de précocité qui se situe dans les valeurs élevées (49.3), alors que le milieu altérite montre l'inverse, surtout pour la vigueur (11.7). L'altération est proche de la roche pour la précocité et intermédiaire pour la vigueur (Tableau 4).

On a pu aussi aborder la perception indirecte du terroir par le vigneron et les choix qui en découlent sur le plan des pratiques viticoles. Sur un plan général, la précocité de débourrement de la vigne est une variable très discriminante des divers milieux générés par le modèle (Tableau 5).

Modèle de terrain				
Milieux	→	Roche	Altération	Altérite
Tous systèmes géologiques		865 parcelles	974 parcelles	435 parcelles
- perception indirecte :				
précocité au débourrement		forte (9.01)	faible (2.83) à	faible (4.38)
développement végétatif :			moyenne (2.63)	
- en année normale		faible (4.29)	<u>faible (-3.68)</u>	
- en année sèche		faible (7.49)	fort (4.75)	<u>faible (-4.86)</u>
- valorisation :				
cépage		Chenin (5.80)		GR (3.93)
type de vin		BL (6.89)		1/2RS (2.99) ou R (2.95)
Métagrauwacke du Briovérien		310 parcelles	176 parcelles	183 parcelles
- perception indirecte :				
précocité au débourrement		forte (4.72)		faible (4.67)
développement végétatif :				
- en année normale		moyen (2.85)		fort (3.47)
- en année sèche		<u>fort (-4.54)</u>	fort (2.77)	fort (4.21)
- valorisation :				
cépage		Chenin (2.87)	Chenin (2.40)	
type de vin		BL(4.25)	BL (2.53)	<u>BL (-4.19)</u>
Schiste gréseux vert gris (o5-d2)		94 parcelles	73 parcelles	113 parcelles
- perception indirecte :				
précocité au débourrement		forte (3.41)		
développement végétatif :				
- en année normale		faible (3.15)		
- en année sèche		faible (2.76)		
- valorisation :				
cépage				GR (4.51) ou CF (2.46).
				<u>Chenin (-5.57)</u>
type de vin				R (3.42) ou 1/2RS (2.50).
				<u>BS (-2.38) ou BL (-5.57)</u>

Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs-test issues des ACM réalisées, le signe (-) signifie l'opposition à cette variable (la modalité est alors soulignée).

Abréviations utilisées pour les cépages: GR : grolleau, CF : cabernet franc ;
pour les types de vin : R : rouge, 1/2 RS : rosé demi-sec, BS : blanc sec, BL : blanc liquoreux.

Tableau 5. Perception indirecte et valorisation du terroir par le vigneron. Variables associées de façon significative au seuil de 5 %, valeur du test >1.96 pour un milieu ou une UTB donnés

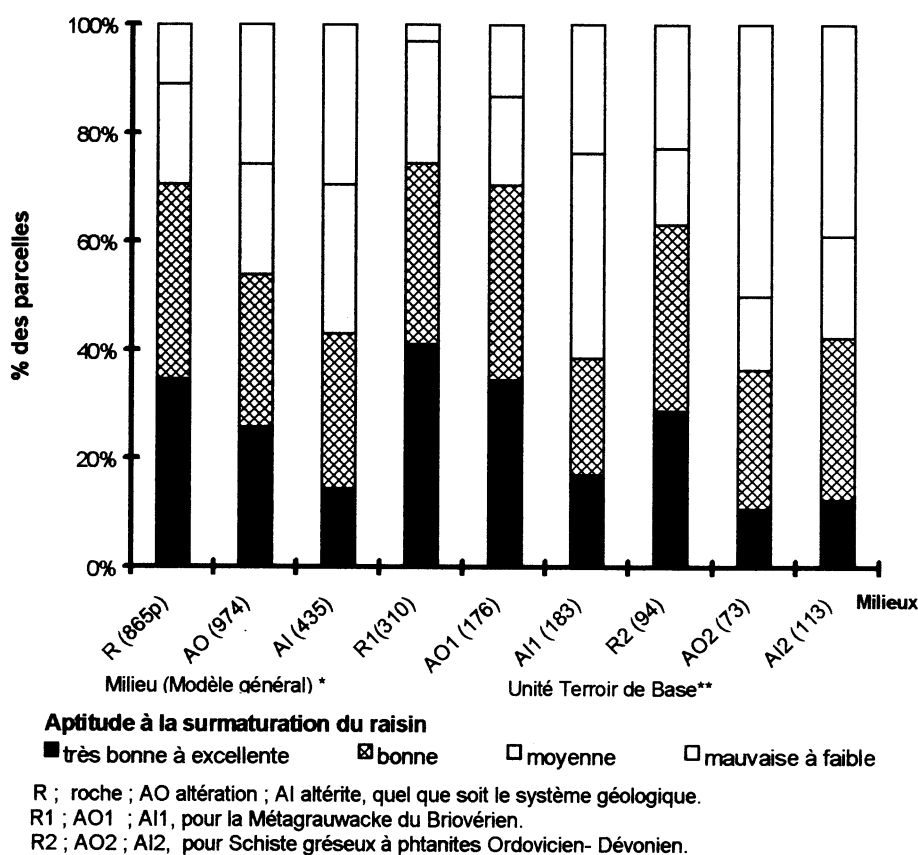


Figure 4. Appréciation par les vignerons de l'aptitude des parcelles à la surmaturation du raisin (Anjou, différents milieux)

Le milieu roche est associé à la modalité « plus forte que la moyenne », l'altération à la modalité « moyenne à plus faible » et enfin le milieu altérite à la modalité « plus faible ». Pour le développement végétatif qui peut renseigner sur les conditions d'alimentation en eau de la vigne, le milieu roche présente la modalité « plus faible que la moyenne », quelle que soit l'année climatique, alors que l'altération et l'altérite y sont opposées. Ces résultats sont bien en accord avec ceux concernant la réserve en eau calculée (Tableau 4).

A l'échelle de l'UTB, les grands types de comportements sont les mêmes, mais avec une perception du terroir par le vigneron qui semble plus nette pour la métagrauwaque du Briovérien, par rapport au schiste gréseux de l'Ordovicien-Dévonien où seul le milieu roche est caractérisé. Mais cela peut être lié à un nombre plus faible d'individus (280 parcelles au lieu de 669 dans le cas de la métagrauwaque).

En ce qui concerne le type de cépage cultivé et le type de vin produit, on retrouve, quels que soient l'étage géologique et la roche-mère, une forte opposition entre la roche et l'altérite (Tableau 5). Avec le milieu roche, on trouve le cépage Chenin blanc et la production de vins blancs liquoreux, tandis que l'altérite est caractérisée par le cépage Grolleau noir et les vins rosés demi-secs et rouges. Le milieu altération n'est pas caractérisé par ces variables. Ces résultats sont en accord avec l'aptitude à la surmaturation qui s'est révélée, d'après l'enquête, supérieure pour le milieu roche et plus faible pour l'altérite (figure 4). Au niveau du système géologique, la métagrauwaque semble très bien adaptée à l'encépagement en Chenin et la production de vins blancs liquoreux (association significative des milieux roche et altération, à ces modalités). Mais sur schiste gréseux de l'Ordovicien-Dévonien, la roche et l'altération ne sont pas caractérisées. Seule l'altérite est largement associée au cépage Grolleau et plus faiblement au Cabernet franc et à une

production de vins rouges et rosés demi-secs. Elle est opposée aux vins blancs secs et très opposée au cépage Chenin et aux vins blancs liquoreux.

Dans cette étude, les résultats obtenus, bien que devant être confortés, montrent que le modèle de terrain proposé semble bien générer les milieux de fonctionnement différents que l'on pouvait attendre, et donc des UTB pertinentes pour la vigne. Malgré tout, le milieu altération a besoin d'être mieux caractérisé, en particulier par l'enquête. Il apparaît que la population des vigneronnes a une certaine perception directe et indirecte des terroirs, qui peut être très nette dans le cas des milieux roche et altérite. Des travaux futurs devraient permettre une amélioration de l'outil enquête, en diminuant certains bruits de fond liés à la prise en compte de la population totale des vigneronnes, ou à une gamme de variation trop grande de certains critères, comme l'âge de la vigne. Pour le futur, il serait important d'essayer de réduire le nombre de viticulteurs participant à l'enquête, tout en les choisissant sur des bases qui permettent une amélioration de la pertinence de leurs réponses. De même, il serait intéressant de comparer d'autres protocoles d'enquête, comme les entretiens collectifs semi-dirigés, à l'entretien individuel tel que celui que nous avons utilisé.

Les divers résultats indiquent des perspectives encourageantes pour l'utilisation, en routine, d'une méthode d'étude des terroirs, combinant un modèle de terrain et une enquête auprès des vigneronnes pour étudier les terroirs viticoles.

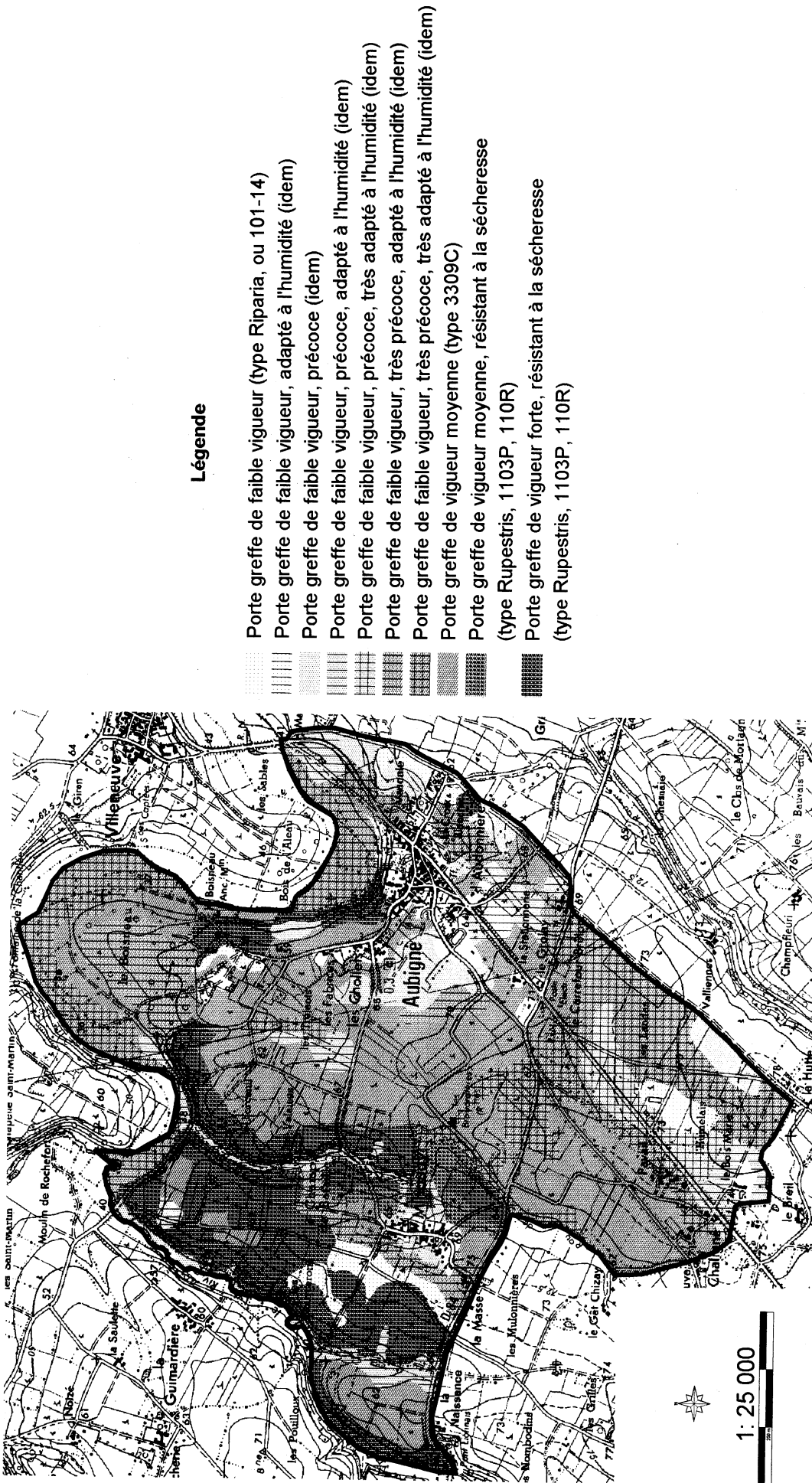
5. Valoriser et transférer vers la filière viticole les résultats d'une étude de terroirs

Les travaux présentés permettent d'envisager une véritable valorisation, par la viticulture, du patrimoine terroir d'un vignoble. En Anjou, par exemple, des atlas cartographiques revêtant un format de

classiers A3 et présentant des cartes tant à l'échelle du 1/25 000 que du 1/15 000, ont été réalisés pour chaque commune étudiée. Ils sont accessibles et utilisables à l'échelle de la parcelle, par tous les acteurs de la filière (vigneronnes, organismes, caves coopératives, négociants) et les décideurs. Ils présentent les Unités Terroir de Base et leurs composantes, les cartes calculées par algorithmes experts du potentiel de précocité du terroir et du réservoir hydrique utilisable par la vigne, ainsi que trois cartes conseil. Ces dernières (choix du porte-greffe, choix des pratiques agro-viticoles, aide au choix des cépages) ont été obtenues en mettant en œuvre et en combinant, grâce aux outils informatiques (base de données et S.I.G.) les divers algorithmes experts qui ont été élaborés. La carte 2 donne un exemple de cette réalisation pour le choix du porte-greffe.

Avec ces atlas, l'Anjou possède un outil pérenne pour la connaissance des terroirs de chaque exploitation. L'utilisation des cartes conseil contribuera à optimiser les pratiques agronomiques, viticoles, voire œnologiques afin de valoriser au mieux les potentialités du terroir. Cela devrait entraîner, à terme, une amélioration sensible de la qualité, typicité et authenticité des vins, qui sont un grand atout commercial. Ce véritable référentiel sur les terroirs viticoles de l'Anjou peut aider à l'implantation géographique des essais viticoles des divers organismes, et rationaliser l'extrapolation des résultats. La gestion informatique des données permettra un enrichissement du travail au cours des années.

La vulgarisation de cet outil issu de la recherche est actuellement prise en charge par la Chambre d'Agriculture du Maine et Loire, en liaison avec l'INRA. La création d'une cellule transfert/valorisation en Pays de Loire, permettra d'étendre progressivement cette approche à l'ensemble de la région pour une utilisation accrue du facteur terroir. Enfin, les résultats d'une telle étude vont alimenter la réflexion et pouvoir contribuer à la création de zones de grands crus pour les vins liquoreux d'Anjou, dont la dynamique vient d'être initiée entre les syndicats viticoles et l'Institut National des Appellations d'Origine (INAO).



Fond thématique numérique à 1:25 000 de l'Unité de Recherches sur la Vigne et le Vin ©INRA 1999
 Fond cartographique numérique à 1:25 000 de l'Institut Géographique National ©IGN - Paris - 1998 - Autorisation n°40 - 8033

Carte 2. Carte conseil pour le choix du porte-greffe adapté, sur la commune d'Aubigné / Layon (Anjou)

Bibliographie

- Asselin C., Pagès J., Morlat R., 1992. Typologie sensorielle du Cabernet franc et influence du terroir. Utilisation de méthodes statistiques multidimensionnelles. *J. Int. Sci. Vigne et Vin*, (26) 3 : 129-154.
- Barbeau G., Morlat R., Asselin C., Jacquet A., Pinard C., 1998. Comportement du cépage Cabernet franc dans différents terroirs du Val de Loire. Incidence de la précocité sur la composition de la vendange en année climatique normale (exemple de 1988). *J. Int. Sci. Vigne. Vin*, 32 (2) : 69-81.
- Carboneau A., 1980. *Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne. Essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité*. Thèse Docteur-Ingénieur. Université de Bordeaux II.
- Cellier P., Jacquet A., Bautreis P., Morlat R., Delanchy P., 1996. Modélisation du régime thermique des sols de vignoble du Val de Loire : relations avec des variables utilisables pour la caractérisation des terroirs. *Actes du 1er Colloque international « Les terroirs viticoles »*, Angers, France : 107-112.
- Dumas V., Lebon E., Morlat R., 1997. Différenciations mésoclimatiques au sein du vignoble alsacien. *J. Int. Sci. Vigne et Vin*, 31 (3) : 129-154.
- Fanet J., 1998. Analyse du rôle du terroir dans la définition d'une appellation d'origine. *Actes du Symposium international : Territorio & Vino (Sienne, Italie)*. 545-555.
- Fanet J., 2000. *La variabilité des critères de délimitation dans les A.O.C. françaises*. Communication au 3^e Symposium international : *Zonificación vitivinícola*, 9 au 12 mai 2000, (Puerto de la Cruz, Espagne).
- Guilbault P., Morlat R., Rioux D., 1998. *Elaboration de cartes conseil pour une gestion du terroir à l'échelle parcellaire. Utilisation d'algorithmes basés sur des paramètres physiques du milieu naturel*. Communication au Forum international « Territoire - Vin », Sienne, Italie, 19-24 mai.
- Jacquet A., Morlat R., 1997. Caractérisation de la variabilité climatique des terroirs viticoles en Val de Loire. Influence du paysage et des facteurs physiques du milieu. *Agronomie*, 17 : 465-480.
- Lebon E., Dumas V., Morlat R., 1996. Réponses de la vigne à différentes situations pédoclimatiques du vignoble d'Alsace. *Revue Française d'œnologie*, 156 : 22-25.
- Morlat R., 1989. *Le terroir viticole : contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Applications aux vignobles rouges de Moyenne Vallée de la Loire*. Thèse Doctorat d'Etat. Université de Bordeaux, 289 p. et annexes.
- Morlat R., 1996. Eléments importants d'une méthodologie de caractérisation des facteurs naturels du terroir, en relation avec la réponse de la vigne à travers le vin. *Actes du 1^{er} colloque international « Les terroirs viticoles »*, Angers, France : 17-31.
- Morlat R., 1997. Terroirs d'Anjou : objectifs et premiers résultats d'une étude spatialisée à l'échelle régionale. *Bull O.I.V.*, 70 : 797-798, 567-591.
- Morlat R., 1998. *Les relations entre le terroir, la vigne et le vin*. Communication à la séance du 4 février 1998 de l'Académie d'Agriculture de France « Le lien du terroir au produit », Paris.
- Morlat R., Penavayre M., Jacquet A., Asselin C., Lemaître C., 1992. Influence des terroirs sur le fonctionnement hydrique et la photosynthèse de la vigne, en millésime exceptionnellement sec (1990). Conséquence sur la maturation du raisin. *Journ Int. Sci. Vigne et Vin*, 26 (4) : 197-220.
- Morlat R., Jacquet A., 1993. The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire Valley (France). *Vitis*, 32 : 35-42.
- Morlat R., Jacquet A., Asselin C., 1997. Variabilité de la précocité de la vigne en Val de Loire : rôle du terroir et du millésime, conséquences sur la composition de la baie. *Revue Française d'Oenologie*, 165 : 11-22.
- Salette J., Asselin C., Morlat R., 1998. Le lien du terroir au produit : analyse du système terroir-vigne-vin ; possibilité d'application à d'autres produits. *Sciences des Aliments*, 18 : 251-265.
- Schwarz R., 1997. Predicting wine quality from terrain characteristics by regression trees. *Cybergeo*, 35, 8 p.
- Smart R.E., 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and Quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.*, 36 (3) : 231-239.
- Thélier-Huché L., Morlat R., 2000. Perception et valorisation des facteurs naturels du terroir par les vigneron d'Anjou. *J. Int. Sci. Vigne et Vin*, 34 (1) : 1-13.

