

# Sensibilité de la vigne face aux maladies cryptogamiques : Utilisation croisée d'une cartographie des terroirs viticoles et d'une enquête parcellaire

## Grapevine sensitivity to fungal diseases: Use of a combination of terroir cartography and parcel survey

Étienne GOULET<sup>1\*</sup>, Eléonore CADY<sup>1,2,3</sup>, Philippe CHRÉTIEN<sup>2</sup> et Dominique RIOUX<sup>1</sup>

1 : Cellule « Terroirs Viticoles », Confédération des Vignerons du Val de Loire  
42 rue Georges Morel, 49071 Beaucozé cedex

2 : Station régionale Val de Loire- ITV France, 42 rue Georges Morel, 49071 Beaucozé cedex, France

3 : École Supérieure d'Agriculture d'Angers, 55 rue Rabelais, 49007 Angers cedex 01, France

\*Corresponding author: Tel/fax : +33 2 41 22 56 82, goulet@angers.inra.fr

**Abstract:** In front of the economic interest and seeking to respect their environment, the wine growers move gradually towards a policy of reasoning their plant health protection. This is why, starting from epidemiologic studies on grapevine pathogens, forecasting models of the risks are developed by research and experimentation bodies. These models propose only a general diagnosis at the scale of the « small area » based primarily on the climatic variables related to the climate of the vintage. In the event of important risks, the professionals are sensitized and can protect their whole vineyard. However, secondary factors are also known to intervene on the sensitivity of the vine. Those are related to the soil, the surrounding landscape or the planting material and are characteristic of a reduced area of land. The present study seeks to (1) evaluate the effect of the secondary factors on the sensitivity of the vine and (2) to create some sensitivity maps in order to better forecast the mildew and powdery risks at the plot level. The used method is based on the combination of terroir cartography, parcel survey and expertise. The influence of cartographic variables on parasitic development has been tested by using statistical methods. The results indicate that, in the Loire Valley, soil is the main influential secondary factor that affects the plot sensitivity to mildew. In this respect, the weathering model « Roche-Altération-Altérite », developed by the Grapevine and Wine Research Unit of INRA (Angers 49, France) constitutes a pertinent index. For powdery mildew, the surrounding landscape has a marked effect on the plot sensitivity.

**Key words:** Terroir, grapevine, fungal diseases, cartography, survey

### Introduction

Le raisonnement de la lutte chimique contre les pathogènes de la vigne est un programme majeur de la profession viticole, les intérêts économiques et environnementaux afférant à la réduction des intrants sont en effet capitaux dans la construction d'une viticulture durable de qualité. Parmi plusieurs outils, des systèmes alliant l'observation à la modélisation permettent de prévoir et d'estimer de façon temporelle et spatiale les risques parasitaires pour la vigne. Le climat étant reconnu comme le facteur principal du terroir influençant l'apparition et le développement des maladies parasitaires de la vigne (Dubos 2002 ; Gobbin *et al.*, 2003), la précision de ces outils de diagnostic est essentiellement liée à la densité de stations météorologiques sur la zone d'étude. Cependant des sensibilités parcellaires différentes sont souvent observées sous des conditions météorologiques pourtant identiques. L'origine de ces sensibilités différentes provient de facteurs du terroir dits secondaires comme le matériel végétal (Montigaud, 2000), les pratiques agro-viticoles (Bavaresco et Eibach, 1987), le paysage (Morlat, 2003) ou le facteur géo-pédologique (Hill *et al.*, 1997). Malgré la prise en compte par les différents programmes informatiques d'indices relatifs à ces facteurs secondaires, les variations de sensibilité parcellaire à l'intérieur d'une zone de risque donnée sont difficilement estimables. Si l'encépagement et les pratiques sont des facteurs fluctuant dans le temps, le paysage, traduisant le climat fixe de la parcelle, et le sol peuvent être considérés comme des facteurs pérennes intéressants pour élaborer un indice de sensibilité parcellaire de la vigne face aux maladies cryptogamiques.

Les références bibliographiques citées ci-dessus font mention d'une influence certaine du mésoclimat parcellaire ou des variables édaphiques sur le cycle de développement des pathogènes de la vigne. Cependant elles ne permettent pas réellement d'obtenir une hiérarchisation précise des variables influentes à l'échelle d'un vignoble et elles n'apportent pas non plus de renseignements sur la spatialisation de ces variables qui

pourrait conduire à affiner les résultats issus des outils de prévision des risques. L'identification et la hiérarchisation de ces variables ont été entreprises par la Cellule Terroirs Viticoles et la station régionale Val de Loire de l'I.T.V. sur le vignoble de l'Anjou reconnu pour ces travaux en matière de caractérisation et de spatialisation des terroirs viticoles. La méthode d'étude basée sur l'association d'une enquête parcellaire et d'une cartographie de terroirs sera présentée dans cette communication ainsi que les principaux résultats obtenus sur la caractérisation de la sensibilité parcellaire de la vigne face au mildiou et à l'oïdium. L'intérêt de la méthode d'étude sera ensuite discuté et l'utilisation des résultats sera évoquée.

## Matériels et méthodes

### Données exploitées

Les données disponibles proviennent de l'étude « Terroirs d'Anjou » réalisée entre 1994 et 1999 par l'Unité de Recherche sur la Vigne et le Vin du centre I.N.R.A. d'Angers (49, France). Elles sont constituées des résultats d'une enquête sur les caractéristiques agro-viticoles et sur la sensibilité parasitaire des parcelles en Anjou (380 viticulteurs interrogés et 8 108 enregistrements saisis) et d'une cartographie au 1/10 000<sup>e</sup> des facteurs environnementaux et des potentialités des terroirs viticoles (9 500 ha de vigne cartographiés pour 10 000 points de sondage). La méthode d'enquête et de cartographie est décrite en détail dans le rapport méthodologique de l'étude « Terroirs d'Anjou » (Morlat *et al.*, 1999).

Outres ces données concernant les caractéristiques parcellaires de la vigne et du terrain, une enquête auprès d'experts viticoles a été spécialement réalisée pour cette étude. Il a été demandé aux experts de classer quatre facteurs du terroir (paysage, sol, végétal et pratiques culturales) en fonction de leur influence sur la sensibilité de la vigne face au mildiou et à l'oïdium. Chaque facteur a ensuite été décliné en différentes variables indiquées comme sensibilisantes ou non par les enquêtés.

### Choix des variables explicatives

Une étude bibliographique préliminaire sur le mildiou et l'oïdium a été entreprise afin d'identifier les variables intervenant sur le cycle de développement de ces champignons et influençant leur prolifération. Les résultats couplés à ceux des enquêtes auprès des experts ont permis d'orienter le traitement des données disponibles vers certaines variables secondaires du terroir reconnues comme influentes :

- ⊙ **Facteur « paysage »** : Altitude, ouverture de paysage, orientation et inclinaison de la pente, ventilation, ensoleillement, température, brouillard.
- ⊙ **Facteur « sol »** : Texture, profondeur, réserve en eau, température, drainage, modèle de terrain (Roche-Altération-Altérite), charge en éléments grossiers, faciès géologique.
- ⊙ **Facteur « végétal »** : Précocité, vigueur, cépage, porte-greffe, âge.
- ⊙ **Facteur « pratiques culturales »** : Entretien du sol, ébourgeonnage, éclaircissage, densité de plantation, type de palissage, type de taille.

### Traitement des données

#### *Préparation des données :*

Les réponses des viticulteurs à l'enquête parcellaire permettent de classer les Unités Culturelles en fonction de l'absence ou de la présence régulière et marquée de symptômes traduisant l'activité des parasites étudiés. En ce qui concerne les facteurs du terroir, ces Unités Culturelles sont caractérisées d'une part grâce au savoir empirique du vigneron par l'intermédiaire de leurs réponses à l'enquête et d'autre part par les observations et les mesures effectuées lors de la cartographie. La liaison de ces données nécessite une mise en correspondance du plan surfacique des Unités Culturelles avec celui des Unités Terroir de Base cartographiées. Cette opération de croisement cartographique des plans réalisée par l'intermédiaire d'un S.I.G. conduit à produire un nouveau plan sur lequel une sélection parcellaire est effectuée en fonction de la représentativité de l'Unité Terroir de Base au sein de l'Unité Culturelle. Seules les parcelles présentant un terrain homogène (au moins 75 % de la surface représentés par une même U.T.B.) ont été sélectionnées pour l'étude, elles représentent 3 862 enregistrements d'enquêtes. Toutes les Unités Culturelles obtenues par cette sélection sont alors caractérisées par la modalité « absence » ou par la modalité « présence » du pathogène étudié à laquelle sont associées des variables mesurées sur le terrain ou obtenues par l'enquête et séparées en classes distinctes.

#### *Exploitation statistique des données :*

Pour le mildiou puis pour l'oïdium, les effectifs des modalités « présence » ou « absence » du parasite sont attribués par tris croisés à chacune des classes des variables explicatives à tester. Un test du Khi2 détermine ensuite l'incidence de chaque classe sur le développement du champignon.

La hiérarchisation des variables dites explicatives est ensuite réalisée en fonction de la valeur du test du Khi2 et également à partir d'arbres de segmentation.

## Résultats et discussion

Si les conditions météorologiques sont le facteur principal de développement des maladies cryptogamiques, l'objectif de cette étude reste d'établir les risques induits par des variables environnementales dites pérennes pour connaître le potentiel primaire du terrain en termes de développement du mildiou ou de l'oïdium. Les résultats des tris croisés concernant les variables explicatives observées, mesurées ou calculées lors de la cartographie des terroirs seront mis en avant et seront comparés aux résultats obtenus avec les variables explicatives issues des enquêtes réalisées auprès des viticulteurs et des experts. Ces résultats obtenus sur les variables mésoclimatiques et géo-pédologiques seront également confrontés aux données bibliographiques existantes.

### Le mildiou

Le mildiou est reconnu présent par les viticulteurs sur un peu moins de 10 % des Unités Culturelles sélectionnées (368 sur 3 862 enregistrements).

#### *Le facteur « paysage »*

Au niveau des variables mésoclimatiques cartographiées, un environnement parcellaire fermé et une orientation Est de la parcelle semblent influencer positivement le développement du champignon. Ces résultats sont confirmés par les viticulteurs et les experts qui pensent qu'une faible ventilation et un faible ensoleillement favorisent la présence de mildiou. Jacquet et Morlat (1997) ont également démontré qu'un paysage fermé, notamment par la présence proche de forêts, diminue la ventilation de la parcelle et le rayonnement global reçu par celle-ci et qu'il augmente l'hygrométrie favorisant ainsi l'apparition des parasites de la vigne. Les viticulteurs, les experts enquêtés et les données bibliographiques (Gobbin *et al.*, 2003) sont unanimes sur le rôle aggravant des brouillards dans le développement du mildiou, cette variable n'étant pas cartographiée, nous ne pouvons pas la tester. L'altitude est en revanche une variable cartographiée qui ne semble pas avoir d'influence sur la présence ou l'absence de mildiou.

#### *Le facteur « sol »*

Pour les variables cartographiées concernant le facteur « sol », une forte profondeur de sol, une réserve en eau importante (tableau 1) et un mauvais drainage naturel sont des caractéristiques statistiquement favorables au développement du mildiou. Ces résultats sont confirmés en réalisant le test sur le modèle de terrain développé par R. Morlat pendant l'étude « Terroirs d'Anjou » puisque la modalité intégrante Altérite caractérisée par des sols profonds, argilisés et humides est également reconnue comme significativement influente. Les tests effectués sur les résultats de l'enquête auprès des viticulteurs démontrent qu'un sol profond, humide et froid est significativement plus propice à l'apparition du mildiou. Les experts interrogés et les acquis bibliographiques (Hill *et al.*, 1997) confirment les résultats obtenus à partir du croisement de l'enquête et des données cartographiques.

**Tableau 1 - Résultats du test de croisement entre les modalités de Réservoir Utilisable Maximal en eau et l'indice de sensibilité de l'Unité Culturelle face au mildiou, de la base de données « Terroirs d'Anjou »**

RUM Données cartographiques	Absence de mildiou		Présence de mildiou	
	Effectifs	Résultat du test	Effectifs	Résultat du test
[0-100[	1753	(+) ***	150	(-) ***
[100-150[	997	(+) *	89	(-) *
[150-200[	744	(-) ***	129	(+) ***

Probabilité du test du Khi2 : 0,000001 %

(+) : effectif observé supérieur à l'effectif théorique  
(-) : effectif observé inférieur à l'effectif théorique

NS : test du khi<sup>2</sup> par case non significatif

\* : test du khi<sup>2</sup> par case significatif au seuil alpha=0.10

\*\* : test du khi<sup>2</sup> par case significatif au seuil alpha=0.05

\*\*\* : test du khi<sup>2</sup> par case significatif au seuil alpha=0.01

### Le facteur « végétal »

Les potentiels de précocité et de vigueur ont été calculés et cartographiés au niveau parcellaire lors de l'étude « Terroirs d'Anjou » et le croisement réalisé avec les enquêtes parcellaires démontre que des potentiels tardif et vigoureux induisent une présence significative de mildiou. Les traitements réalisés sur la base de données concernant les réponses des viticulteurs confirment que les parcelles tardives et/ou vigoureuses sont plus propices au développement du champignon, en revanche les experts interrogés ne confirment que l'hypothèse concernant la vigueur de la vigne. Au niveau bibliographique, il est démontré qu'une vigueur excessive conduit à un développement important du système foliaire et un confinement de la zone des grappes provoquant un microclimat humide propice aux contaminations par le mildiou (Dubos, 2002). En ce qui concerne la précocité de la vigne, l'interaction avec le facteur sol peut être à l'origine des résultats obtenus. En effet, les conditions de sol favorables au développement du mildiou (sol profond, humide et froid) sont également reconnues comme néfastes pour la précocité de la vigne (Morlat et Hardy, 1986). Dans ce cas, la présence de mildiou est probablement liée aux conditions édaphiques, le caractère tardif de la vigne n'est alors qu'une résultante de celles-ci et n'influence pas directement le développement du pathogène. D'autres variables comme le cépage, le clone ou le porte-greffe sont, bien entendu, reconnues comme sensibilisantes mais elles ne traduisent pas de caractères pérennes et n'ont donc pas été traitées au niveau des variables cartographiques.

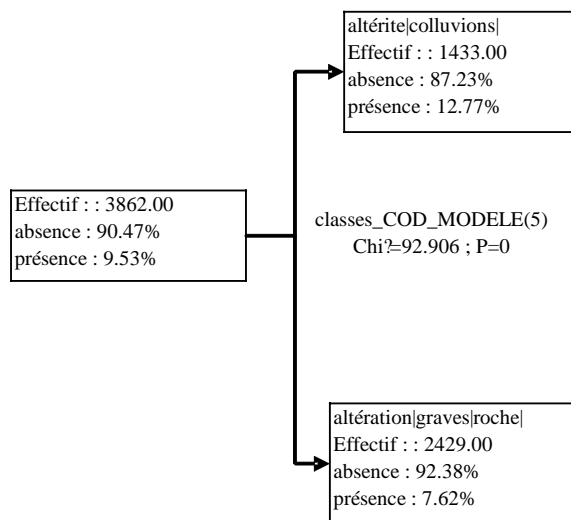
### Le facteur « pratiques culturales »

Les pratiques étant anthropiques, aucune variable ne sera sélectionnée pour déterminer le potentiel primaire du terrain en termes de développement du mildiou.

### Hierarchisation des variables explicatives

Les résultats obtenus par les tris croisés démontrent qu'un nombre important de variables du terroir influe sur la distribution du mildiou, mais certaines sont dépendantes les unes des autres et l'identification des variables les plus influentes s'avère alors difficile. La valeur du Khi2 obtenue pour chaque variable lors des tris croisés peut permettre une première approche de hiérarchisation, complétée par l'élaboration d'arbres de segmentation testant l'impact des variables sur la présence du mildiou les unes par rapport aux autres. Selon

Figure 1 : Arbre de segmentation, 1<sup>ère</sup> variable explicative sur le mildiou

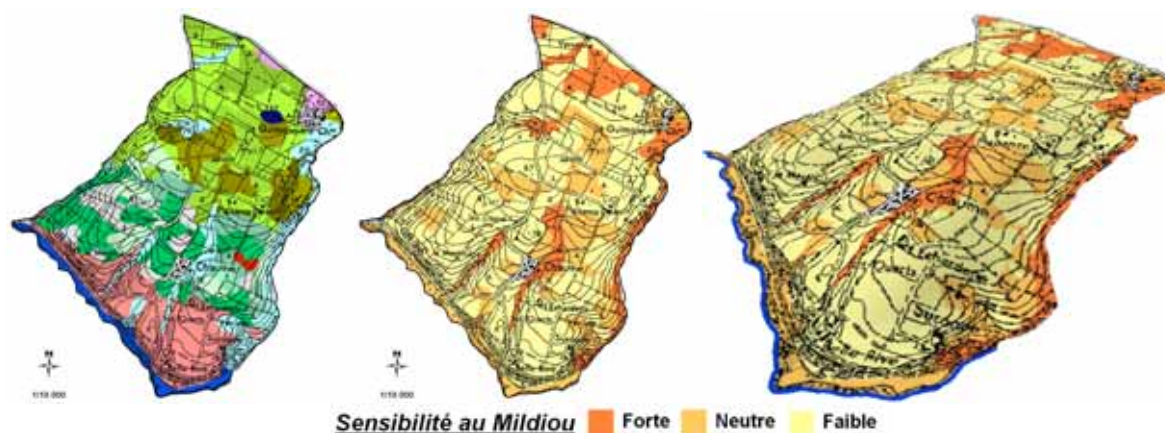


le test du Khi2 réalisé sur les tris croisés, le réservoir en eau du sol, le code modèle (Roche-Altération-Altérite) et la profondeur de sol possèdent les valeurs les plus faibles donc l'impact le plus important sur le développement du mildiou. Les résultats provenant des arbres de segmentation confirment que, pour les variables cartographiques testées, le facteur « sol » à une plus grande influence sur la présence du mildiou que le facteur « paysage » ou « végétal ». La variable expliquant le plus fortement la distribution du mildiou est le code modèle, les modalités « Altérite » et « Colluvionnement » étant les plus sensibilisantes (figure 1). Ces modalités intègrent les variables « profondeur de sol », « réservoir en eau » et « drainage » et sont donc parfaitement adaptées à une utilisation cartographique de par leur caractère intégrant.

### Cartographie de la sensibilité parcellaire de la vigne face au mildiou

En relation avec les résultats obtenus par le traitement des enquêtes, trois classes de sensibilité parcellaire face au mildiou ont été créées. La classe « sensibilité forte » regroupe les terrains présentant au minimum trois des modalités reconnues comme les plus influentes, il s'agit de zones en milieu Altérite, présentant un sol profond, un réservoir hydrique important et/ou un drainage naturel déficient. Pour des conditions météorologiques identiques, les parcelles situées dans ces zones présenteront un risque de développement du mildiou significativement plus élevé que les autres parcelles. *A contrario*, les espaces géographiques caractérisés par un milieu Roche, un sol superficiel, un réservoir hydrique faible et/ou un bon drainage

naturel sont affichés dans la classe « sensibilité faible ». D'après les tests statistiques, les parcelles possédant ces types de sol ont significativement moins de mildiou que la moyenne.



Fond cartographique de l'Institut Géographique National ©IGN – Paris – 2006 – Autorisation n°40-6005

**Figure 2 - Cartes des Unités Terroir de Base et de la sensibilité au mildiou, vues 2D, 3D  
(Zone de Chaume, Commune de Rochefort-sur-Loire, Anjou, France)**

Les variables cartographiques testées pour établir leur influence sur le développement du champignon n'étant que des variables secondaires par rapport aux conditions météorologiques, aucune autre classe intermédiaire n'a été établie et l'ensemble des zones restantes constitue la classe « sensibilité neutre » pour laquelle les variables édaphiques ou mésoclimatiques cartographiées n'ont pas d'effets significatifs sur la présence ou l'absence de mildiou.

Les requêtes cartographiques réalisées sous S.I.G. à partir de ces résultats ont permis la représentation géographique des trois classes de sensibilité parcellaire définies. La carte thématique ainsi créée (figure 2) permet de comparer les prédispositions du développement parasitaire de chaque parcelle, elle peut alors être utilisée pour affiner les prévisions de risques issues des diverses modélisations. Concrètement, lorsque le modèle annonce à partir des données météorologiques un risque de mildiou sur le parcellaire d'un viticulteur, ce dernier pourra alors échelonner ses traitements en fonction de la carte de sensibilité parcellaire en débutant son travail sur les parcelles situées en forte sensibilité.

### L'oïdium

L'oïdium est reconnu présent par les viticulteurs sur 13 % des Unités Culturelles sélectionnées (502 sur 3 862 enregistrements). Le traitement des données s'est effectué de façon identique à celui concernant le mildiou, seuls les résultats finaux seront donc présentés.

Les variables édaphiques cartographiées n'ont pas d'effet sur la présence de l'oïdium excepté le drainage naturel pour lequel les résultats sont surprenants puisque les parcelles présentant un mauvais drainage ont significativement moins d'oïdium que les parcelles bien drainées. Ces résultats ne sont pas partagés par les experts qui estiment qu'un sol argileux, humide et mal drainé est généralement plus propice au développement du champignon. Contrairement au mildiou, les variables cartographiées qui expliquent le plus fortement la présence d'oïdium sur les vignes enquêtées en Anjou appartiennent au facteur « paysage ». À partir de la valeur des tests du Khi2 et d'arbres de segmentation, il semble que les parcelles situées à basse altitude (< 40 m) ont significativement plus de risques de voir l'oïdium se développer. Parmi les autres variables cartographiées, l'orientation Est des parcelles et une faible ouverture du paysage environnant apparaissent également comme des modalités sensibilisantes. La bibliographie étudiée permet de confirmer l'importance du facteur paysage dans la contamination des vignes (Willoquet, 1995 ; Clerjeau, 1996) par l'oïdium. Si les experts sont généralement en accord sur le rôle certain du paysage au niveau du développement de l'oïdium, ils sont en revanche très partagés voir en opposition sur l'impact précis de certaines variables mésoclimatiques comme l'altitude qui est pourtant la variable la plus influente d'après les résultats obtenus à partir des tris croisés effectués sur les données cartographiques. Sur l'ouverture du paysage environnant la parcelle, seuls 57 % des experts confirment qu'un paysage fermé influence

positivement la présence d'oïdium. L'orientation Est des parcelles qui est reconnue comme variable influente d'après les tris croisés et les arbres de segmentation n'est pas non plus citée par les experts comme modalité discriminante.

Si l'analyse de l'ensemble des données permet d'affirmer que le facteur « paysage » est prédominant pour expliquer la distribution spatiale de l'oïdium, de nombreuses incertitudes demeurent sur les effets des variables mésoclimatiques influentes puisque les résultats obtenus à partir des données cartographiées ne sont que partiellement confirmés par les experts interrogés et la bibliographie étudiée. Pour le moment, aucune spatialisation de la sensibilité parcellaire de la vigne face à l'oïdium ne sera donc entreprise et la validation de l'hypothèse paysagère demeure à l'étude. Les techniques informatiques de modélisation du terrain et du paysage pourraient être utilisées pour obtenir d'autres indices paysagers à tester.

### **Intérêts et limites de la méthode utilisée**

Lorsqu'il s'agit de démontrer l'influence de variables environnementales secondaires sur la sensibilité de la vigne face aux maladies cryptogamiques, la mise en place d'un réseau de parcelles expérimentales serait conditionnée au regroupement de l'ensemble des variables secondaires à étudier au sein d'une unité météorologique homogène, ce qui semble difficilement réalisable à la vue des variations spatiales importantes de pluviométrie. La méthode associant la mesure de variables sur le terrain à des enquêtes précises réalisées au sein de la profession permet de traiter un nombre important de données et de valider statistiquement des hypothèses difficilement vérifiables au niveau expérimental. Cependant si cette méthode permet le traitement rapide d'un nombre important de données, sa réussite dépend de la justesse des réponses issues des enquêtes et de la pertinence des variables mesurées sur le terrain. Une attention particulière devra donc être portée sur l'élaboration du questionnaire et sur le choix des personnes interrogées, des questions simples concernant des sujets maîtrisés par les enquêtés devront être privilégiées.

## **Conclusions**

Cette étude avait pour objectif d'identifier et de hiérarchiser les variables pérennes du terroir influençant le développement de certaines maladies cryptogamiques. En s'affranchissant des conditions météorologiques et en s'intéressant principalement aux variables édaphiques et mésoclimatiques, il apparaît possible de définir les potentialités des terrains et de déterminer le risque parasitaire intrinsèque des parcelles viticoles. La méthode d'étude consistant à associer une cartographie fine des facteurs environnementaux du terroir et une enquête parcellaire auprès des viticulteurs a permis de confirmer le rôle important du facteur « sol » sur la sensibilité de la vigne face au mildiou. Le modèle de terrain « Roche-Altération-Altérite » qui intègre l'ensemble des variables édaphiques significativement influentes (profondeur de sol, réservoir hydrique, drainage) permet d'expliquer nettement la présence ou l'absence du champignon sur les parcelles. L'élaboration d'une carte thématique sur la sensibilité parcellaire de la vigne face au mildiou est alors possible, elle offre une localisation géographique des zones à risques et permet au viticulteur d'établir ses priorités de traitements lorsque les conditions météorologiques deviennent critiques. Des perspectives d'association avec des modèles prévisionnels basés essentiellement sur les conditions météorologiques peuvent donc être envisagées dans les vignobles bénéficiant d'une cartographie à grande échelle des terroirs. La sensibilité de la vigne face à l'oïdium semble en revanche plus influencée par le facteur « paysage » que par le facteur « sol », l'altitude et l'ouverture de paysage paraissent en effet avoir un rôle déterminant sur la présence du parasite. Contrairement au mildiou, ces conclusions ne font pas l'unanimité chez les experts interrogés et méritent d'être approfondies avant la création d'une carte de sensibilité parcellaire. La hiérarchisation des variables influençant le développement des maladies fongiques obtenue sur le vignoble de l'Anjou est valable uniquement sur la zone d'étude. Selon l'importance et l'amplitude des variables environnementales de chaque vignoble, les résultats peuvent différer, mais la méthode utilisée reste valable. Cette méthode d'étude permet de s'affranchir d'un réseau expérimental complexe et difficile à mettre en œuvre dans le cas d'études nécessitant une maîtrise des conditions météorologiques. Le croisement de différentes bases informatiques permet l'obtention rapide d'un nombre important de couple maladies cryptogamiques/facteurs environnementaux statistiquement exploitable.

## **Références bibliographiques**

BAVARESCO and EIBACH, 1987. Investigations on the influence of N fertilizer on resistance to powdery mildew (*oidium tuckery*) downy mildew (*Plasmopora viticola*) and on phytoalexin synthesis in different grapevine varieties. *Vitis*, **26**, 192-200.

- CLERJEAU, 1996. Données récentes sur la caractérisation des risques d'Oïdium chez la vigne. *Euroviti*, 105-109.
- DUBOS B., 2002. *Maladies cryptogamiques de la vigne*. 2<sup>e</sup> édition, Editions FERET.
- GOBBIN D., RAYNAL M. et GESSLER C., 2003. Mildiou de la vigne, des œufs à surprise. *Phytoma*, **563**, 37-41.
- HILL G.K., SPIES S. et LOHERNERTZ O., 1997. The impact of pedological factors on the incidence of unexpected severe primary infections by *Plasmopara viticola* in Rheinhessen (Germany). *Vitic. Enol. Sci.*, **52**, 3, 152-153.
- JACQUET A. et 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.
- MONTIGAUX I., 2000. Contre l'oïdium : la lutte s'organise. *Réussir Vigne*, 54, 22-27.
- MOREL R., 1996. *Les sols cultivés*. 2<sup>e</sup> édition. Lavoisier, 389 p.
- MORLAT ET HARDY, 1986. Résultats concernant les variations de précocité de la vigne dans le Val de Loire. Importance du pédoclimat thermique. *III<sup>e</sup> Symposium International de Physiologie de la Vigne. Bordeaux*. 332-338
- MORLAT R., GUILBAULT P. et RIOUX D., 1999. Une méthode opérationnelle d'étude des terroirs viticoles et de leurs effets sur la vigne et le vin : optimisation et valorisation par la viticulture. *Rapport méthodologique de fin de contrat du programme "Terroir d'Anjou" (1994-1999)*, 198 p.
- MORLAT R., 2003. La composante paysagère du terroir : Liens possibles avec la vigne et le vin et conséquences. *Communication au Symposium International Paysages Vignes et Vins, Fontevraud (France)*, 6 p + annexes.
- WILLOCQUET L., 1995. Influence des facteurs climatiques sur le développement épidémique de l'oïdium de la vigne. *Thèse de doctorat de l'Université de Paris 9*, 129 p.