

N° d'ordre :

# THESE

Présentée pour obtenir

## LE TITRE DE DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE

Spécialité : Sciences Agronomiques

Par Mlle CADET Alexandra

### LE CEPAGE *VITIS VINIFERA* L. CV. FER SERVADOU : ETUDE DE LA NUTRITION MINERALE ET DES RELATIONS CEPAGE, TERROIR, QUALITE DU VIN

Soutenue le 21 Janvier 2005 devant le jury composé de :

Mr. Ambid Christian Professeur à l'INP~ENSA de Toulouse	Président
Mr. Lamaze Thierry Professeur à l'Université Paul Sabatier	Rapporteur
Mme Nadal Montserrat Professeur à l'Université de Tarragone	Rapporteur
Mr. Asselin Christian Ingénieur de recherche à l'INRA d'Angers	Membre
Mr. Brossard Michel Chercheur à l'IRD de Montpellier	Membre
Mr. Garcia Marc Maître de conférence à l'INP~ENSA de Toulouse	Directeur de thèse
Mr. Favarel Jean-Luc Directeur de l'ITV de Midi-Pyrénées	Invité
Mlle Besnard Elisabeth Chargée d'étude à la ferme expérimentale d'Anglars Juillac	Invitée

## REMERCIEMENTS

Il est d'usage de remercier en premier lieu son directeur de thèse, je remercie donc Monsieur Garcia de m'avoir accueilli dans son équipe et permis de suivre les cours en vue de l'obtention du Diplôme National d'Oenologues.

Je remercie également tous les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail mais aussi pour leurs remarques pertinentes et constructives. Je tiens à remercier plus particulièrement Jean-Luc Favarel, directeur de l'ITV de Midi-Pyrénées, pour son aide et son soutien mais aussi toute son équipe qui a largement contribué à la réalisation de ce travail. Un grand merci à Michel Brossard de l'IRD de Montpellier pour ses bons conseils mais aussi à toute son équipe qui m'a chaleureusement accueillie et initiée à l'utilisation de la base de données Valsol. Mes remerciements vont également à Elisabeth Besnard qui m'a enseigné la méthode de description des profils pédologiques.

Bien sur, je remercie tous les viticulteurs qui ont accepté de participer à cette étude et qui nous ont chaleureusement reçu dans leur vignoble et au téléphone.

J'adresse mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et l'aboutissement de ce travail : tous les stagiaires que j'ai accueillie au laboratoire et plus particulièrement Blandine et Thomas ; Javier Scheiner pour les dosages du phosphore ; Jérôme Sylvestre pour les cultures hydroponiques ; Georges Merlina pour l'assistance technique ; Annick Corrège et Carine Balon pour l'orthographe ; Patricia Nichols et Nathalie Pacout pour les traductions ; Maritxu Guiesse pour les données météo ; Jean-Pierre Maçou pour les fournitures de bureau ; Christiane Saint-Luc et Patricia Mirabelle pour les bons de commande ; François Dedieu, Marie-Carmen Monje, Boris et Anne pour la préparation orale ; Carine Crauland pour ses cours de DNO ; Hamdy Ibrahim pour les protocoles. Je présente toutes mes excuses aux personnes que j'ai oubliées de citer.

Un grand remerciement à toute les personnes que j'ai pu rencontrer à l'ENSAT (surtout les adeptes de la laverie et des apéros) pour tout les bons moments que j'ai partagé avec eux.

Enfin merci de tout mon cœur à ma famille, ma moitié et sa famille, mes amis et toutes les personnes qui m'ont soutenue, encouragée et surtout supportée au cours de ces quatre années de doctorat.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1       SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>1. La viticulture dans la région Midi-Pyrénées.....</b>	<b>3</b>
<b>2. La notion de terroir .....</b>	<b>10</b>
<b>3. La nutrition minérale de la vigne.....</b>	<b>15</b>
<b>4. La qualité des vins .....</b>	<b>23</b>
<b>5. Les relations cépage-terroir-qualité du vin.....</b>	<b>28</b>
<b>6. Présentation du cépage <i>Vitis vinifera</i> L. cv. Fer servadou .....</b>	<b>34</b>
<b>CHAPITRE 2       MATERIELS ET METHODES</b>	
<b>1. Etude en culture hydroponique.....</b>	<b>39</b>
<b>2. Etude en plein champ .....</b>	<b>43</b>
<b>3. Validation de la méthode Mehlich-3 pour la détermination des teneurs en     phosphore assimilable et en bases échangeables de divers types de sols viticoles du     Sud-Ouest de la France .....</b>	<b>54</b>
<b>CHAPITRE 3       ETUDE DE LA NUTRITION CATIONIQUE EN CULTURE                       HORS-SOL</b>	
<b>1. Objectifs de l'étude.....</b>	<b>60</b>
<b>2. Résultats (article).....</b>	<b>62</b>
<b>3. Discussion .....</b>	<b>78</b>
<b>4. Effet du porte greffe .....</b>	<b>84</b>
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>86</b>

**CHAPITRE 4            ETUDE DES COMPOSANTES AGRO-PEDO-CLIMATIQUES  
DU RESEAU FER SERVADOU**

<b>1. Introduction .....</b>	<b>86</b>
<b>2. Appellation Marcillac.....</b>	<b>92</b>
<b>3. Appellation Coteaux du Bruhlois.....</b>	<b>129</b>
<b>4. Appellation Fronton .....</b>	<b>137</b>
<b>5. Appellation Gaillac .....</b>	<b>145</b>
<b>6. Appellation Madiran .....</b>	<b>180</b>
<b>7. Conclusion .....</b>	<b>200</b>

**CHAPITRE 5            DETERMINATION DU POTENTIEL VITICOLE ET  
ŒNOLOGIQUE DES DIFFERENTS TERROIRS**

<b>1. Objectifs de l'étude.....</b>	<b>202</b>
<b>2. L'analyse en composantes principales et son interprétation .....</b>	<b>203</b>
<b>3. Détermination du potentiel viticole et œnologique des différents terroirs.....</b>	<b>204</b>
<b>4. Synthèse des résultats.....</b>	<b>267</b>
<b>5. Discussion .....</b>	<b>280</b>

<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>202</b>
----------------------------------	------------

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>202</b>
---	------------

**ANNEXES**

# **INTRODUCTION**

---

Le sud-ouest de la France comporte une mosaïque de petits vignobles composés de terroirs très variés, et l'implantation du Fer Servadou (syno. Braurol) dans cette région est assez importante et en constante augmentation. Ce cépage donne des vins vifs, colorés et tanniques, aux arômes fruités rappelant ceux du Cabernet Sauvignon. D'ailleurs, ces deux cépages, issus de la même famille (Carmenets), développent parfois des arômes herbacés de type poivron vert, et ce, en liaison à de fortes teneurs en 2-méthoxy-3-isobutyl-pyrazine 1 ou IBMP. Ainsi, la connaissance et la maîtrise des caractéristiques et des besoins du Fer Servadou représentent un enjeu important pour la qualité des vins régionaux. A ce jour, ce cépage reste peu étudié, c'est pourquoi nous avons mis en place, en collaboration avec l'Institut Technique de la Vigne et du Vin de Gaillac, plusieurs expérimentations visant à étudier les caractéristiques de ce cépage.

De nombreux auteurs ont déjà montré le rôle déterminant du terroir et de la nutrition minérale sur la vigne et la qualité des vins. C'est pourquoi notre étude s'est développée autour de deux axes principaux : l'étude de la nutrition minérale, et plus particulièrement la nutrition cationique du cépage Fer Servadou, et la détermination des facteurs du terroir qui influencent la qualité de ses vins.

Afin d'étudier la nutrition cationique du cépage Fer Servadou, nous avons mis en place plusieurs expérimentations en culture hors-sol. En effet, ce type de culture peut être conduit quelle que soit la saison, et il permet de contrôler un certain nombre de facteurs environnementaux, mais surtout les éléments fertilisants apportés à la plante sont parfaitement connus. Deux expérimentations en culture hydroponique stricte ont été menées dans le but d'étudier l'effet de différents équilibres cationiques de la solution nutritive sur la croissance, la production de biomasse et l'alimentation cationique du cépage Fer Servadou. Les résultats obtenus au cours de ces expérimentations en culture hydroponique seront présentés dans le chapitre 3 sous la forme d'un article, puis seront discutés. Nous avons également mis en place une expérimentation en culture hors-sol sur support, afin d'étudier l'effet du porte-greffe sur l'alimentation cationique de ce cépage. Ces résultats seront présentés et discutés à la fin du chapitre 3 de ce manuscrit.

En vue d'aborder les relations cépage, terroir et qualité du vin, un réseau de parcelles représentatives des principaux terroirs des cinq appellations du sud-ouest de la France où le cépage Fer est bien représenté a été mis en place. Cinq parcelles se situent sur l'appellation de Marcillac (Aveyron), quatre sur celle de Gaillac (Tarn), trois sur celle Madiran (Gers), une sur

celle des Côtes du Frontonnais (Haute-Garonne) et une sur celle des Coteaux du Bruhlois (Tarn et Garonne). Au cours des trois années d'étude (2001, 2002 et 2003), pour chaque parcelle, nous avons :

- mené une enquête auprès des viticulteurs afin de déterminer les caractéristiques générales des parcelles (localisation, situation topographique, année de plantation, porte-greffe, système de conduite, entretien du sol...),
- réalisé la description pédologique du sol et effectué les analyses physico-chimiques des différents horizons identifiés,
- calculé différents indices climatiques,
- réalisé un suivi de la nutrition minérale,
- effectué un suivi œnologique (contrôles maturité, vinifications, analyse et dégustation des vins).

L'ensemble de ces résultats est présenté, pour chacune des parcelles dans le chapitre 4.

Dans le but de caractériser les différents terroirs étudiés et les vins de Fer Servadou qui en sont issus, mais aussi de déterminer les différents facteurs qui influencent le potentiel viticole et œnologique de ce cépage, l'ensemble des données acquises ont fait l'objet d'analyses statistiques en composantes principales. Les résultats sont présentés sous la forme de deux articles, ils seront synthétisés et discutés dans le chapitre 5.

Enfin, nous ferons le point sur les connaissances acquises et leur intérêt en vue de l'amélioration de la qualité des vins de Fer Servadou.

Dans un premier temps, nous vous invitons à découvrir les différents vignobles étudiés, et à faire le point sur les connaissances actuelles sur le terroir, la nutrition minérale de la vigne, la qualité des vins, les relations cépage-terroir-qualité du vin et le cépage Fer servadou, qui nous ont permis d'orienter notre démarche et notre méthodologie présentées dans le chapitre 2.

# **CHAPITRE 1**

---

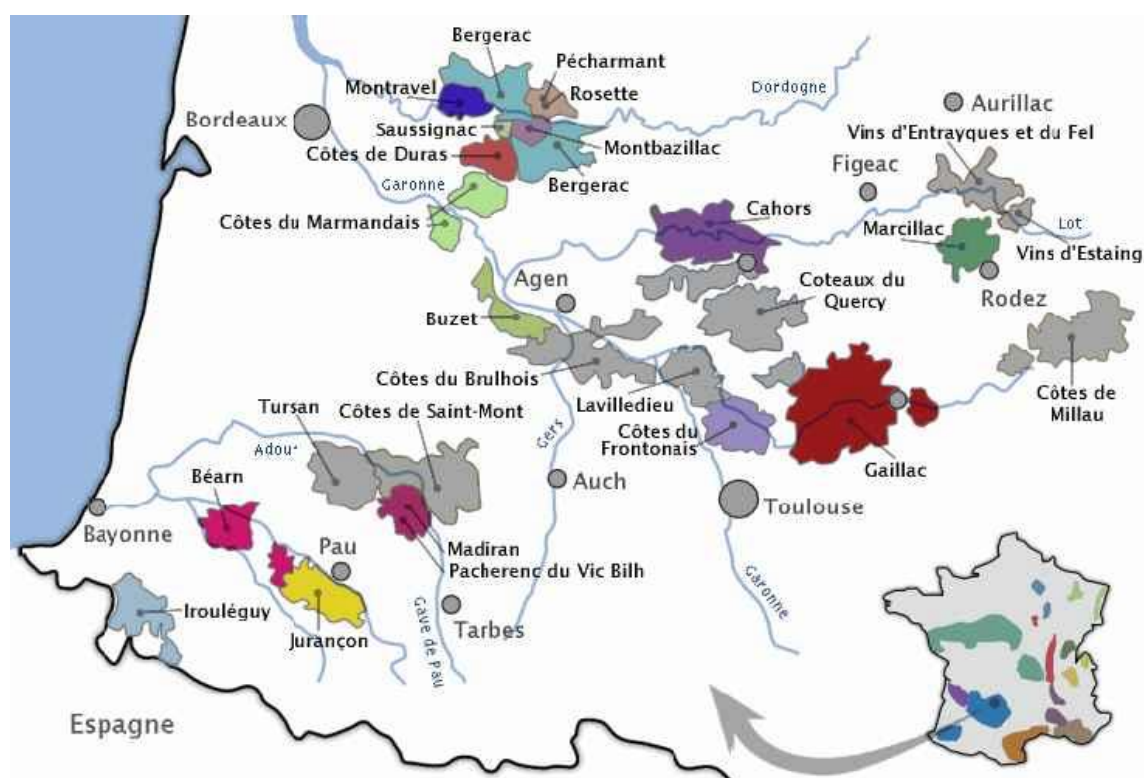
## **SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**



## 1. La viticulture dans la région Midi-Pyrénées

### 1.1. Introduction

Si les vignobles du Bordelais font partie du Sud-Ouest de la France, cette région possède de nombreux autres vignobles dont la réputation dépasse les frontières régionales et dont l'ancienneté remonte pour la plupart au Moyen Age, voire à l'époque romaine.



**Carte 1.** Les vignobles du Sud-ouest de la France (source Internet)

Les Vignobles du Sud-Ouest produisent 2 millions d'hectolitres dont 650 000 hl de vins d'Appellation d'Origine Contrôlée par an, issus de 21 appellations différentes :

- en bordure nord du Bassin Aquitain, on rencontre les vignobles de Gaillac, de Cahors, des Coteaux du Quercy et de Bergerac ;

- sur les terrasses de la Garonne et de ses affluents jusqu'au « Pays Toulousain », on trouve les vignobles des Côtes de Duras, des Côtes du Marmandais, des Côtes de Buzet, des Côtes de Brulhois et enfin des Côtes du Frontonnais et de ses satellites (Lavilledieu et Saint Sardos) ;
- sur le bassin de l'Adour et jouxtant les Pyrénées sont implantés les vignobles de Madiran, du Pacherenc, du Vic Bilh, des Côtes de Gascogne, de Jurançon, du Béarn, du Béarn-Belloq et de Tursan ;
- en bordure des Pyrénées se trouve le vignoble d'Irouleguy
- en bordure du Massif central, on rencontre les vignobles de Marcillac, Entraygues et le Fel, Estaing et les Côtes de Millau.

Tous ces vignobles colonisent des terrains historiquement viticoles (ne dit-on pas que le vignoble de Gaillac est le plus ancien au monde) qui ont des caractéristiques très différentes : d'une part, les conditions climatiques auxquelles ils sont soumis sont multiples (influences montagnarde, océanique et méditerranéenne) et d'autre part, ils sont implantés sur des sols d'origine très diverse (terrasses alluviales plus ou moins récentes, coteaux et plateaux calcaires du Secondaire et du Tertiaire et collines sur roches acides du Primaire). De plus, chaque appellation possède des cépages autochtones qui confèrent aux vins toute leur originalité et leur typicité (France, 2002).

### **1.2. Appellation d'Origine contrôlée Marcillac**

Le vignoble de Marcillac a été implanté certainement à l'époque Gallo-Romaine sur des coteaux à fortes pentes. C'est grâce au rayonnement de l'Abbaye de Conques qu'il s'est développé et a obtenu sa notoriété.

L'Appellation d'Origine Contrôlée Marcillac, obtenue en 1990, se situe aux portes de Rodez, au confluent du Lot et du Dourdou (causses du Cantal). Le vignoble est implanté sur des coteaux d'argile rouge (Rougiers) surplombés par des plateaux calcaires. La surface en vigne atteint 150 ha pour une production annuelle de 5 000 à 6 000 hl. L'encépagement est constitué de plus de 90 % de Fer Servadou, localement dénommé Mansoi, mais aussi de Cabernet Franc et de Merlot. Grâce à sa situation abritée, le Vallon de Marcillac bénéficie d'un microclimat particulier, bien qu'il soit en zone de semi-montagne ; l'influence atlantique

se manifeste encore, avec cependant des étés chauds et secs dus à la continentalité. Les vignes, très souvent cultivées en terrasses, sont implantées sur les versants sud, car ici une bonne exposition est obligatoire pour que la maturation des raisins soit suffisante.

Les vins rouges ont une robe foncée aux reflets pourpres ; ils sont puissants, bien charpentés et développent dans leur jeunesse de subtils arômes de fruits rouges.

### **1.3. *Appellation Vin de Qualité Supérieure Coteaux du Brulhois***

Les documents historiques mentionnent la présence du vignoble et des vins du Brulhois dès l'époque Gallo-romaine. Au XIII<sup>e</sup> siècle, les établissements religieux de Moirax, de Layrac, de la Belle Perche développent l'économie viticole. Du XIV<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle, la croissance continue tant en superficie qu'en notoriété. Au XIX<sup>e</sup> siècle, ces vins sont exportés jusqu'en Europe du Nord et en Amérique. Le vignoble se maintient jusqu'en 1930, puis les grands domaines disparaissent. Le vignoble du Brulhois connaîtra son renouveau grâce aux coopérateurs. Ainsi, une A.O.S. (Appellation d'Origine Supérieure) est créée en 1965, puis en 1978 le V.D.P. Côtes du Brulhois est réglementé. En 1984, la reconnaissance en appellation V.D.Q.S. (Vin De Qualité Supérieure) consacra la notoriété des vins du Brulhois. Depuis 1990, le Consulat des vins noirs du Brulhois est l'ambassadeur de cette appellation.

Le vignoble des Côtes du Brulhois, se situe au sud-est d'Agen, sur la rive gauche de la Garonne et regroupe 19 communes des départements du Lot et Garonne, du Tarn et Garonne et du Gers. La surface en vigne atteint 250 ha pour une production annuelle de 13 500 hl, assurée essentiellement par les caves coopératives de Donzac et de Douzens. Ce vignoble, en pleine restructuration, pourrait couvrir prochainement une superficie de 300 ha pour une production de 18 000 hl.

Les sites viticoles sont sur la moyenne terrasse de la Garonne et les coteaux argilo-calcaires. Les sols sont toujours graveleux et, quelle que soit la position de ces formations graveleuses, ils sont lessivés, à gangue d'argile rouge, profonds et bien drainés. Sur la moyenne terrasse, formée de Boulbènes blanches, les vins produits sont colorés et de bonne qualité. Sur les coteaux, les pentes de graves caillouteuses produisent peu mais les vins sont riches en alcool et aptes à vieillir. Aussi, les argiles rouges à silex donnent des vins excellents.

Sur ce vignoble, on ne rencontre que des cépages rouges, la plupart sont typiquement bordelais (Merlot, Cabernets Franc et Sauvignon) mais des cépages autochtones comme le Tannat (25 %), le Cot et Fer Servadou confèrent aux vins noirs du Brulhois un caractère méridional.

Le vignoble du Brulhois est soumis à un climat océanique dont la douceur peut être estompée à la saison froide en raison de son éloignement de l'Atlantique, mais certaines zones peuvent subir une légère influence méditerranéenne.

Les vins du Brulhois, appelés « vins noirs » dès le XIII<sup>e</sup> siècle, ont une couleur rubis très soutenue et des arômes de fruits noirs. Les vins rouges atteignent leur plénitude vers la cinquième année et développent leurs arômes typiques de fruits rouges confits, de cuir et de grillé. Les vins rosés sont obtenus par saignée de cuve.

#### ***1.4. Appellation d'Origine contrôlée Côtes du Frontonnais***

Le vignoble, très ancien (IV<sup>e</sup> siècle avant notre ère), a connu son apogée aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles pour s'effondrer lors de la crise phylloxérique en 1886. Pour couronner les efforts des vignerons, qui de tout temps ont œuvré pour la qualité, l'A.O.C. (Appellation d'Origine Contrôlée) fut accordée en 1975 aux vins des Côtes du Frontonnais. Issus de l'unification de deux vignobles, ils peuvent faire suivre leur appellation des noms de Fronton et de Villaudric.

Situé à une trentaine de kilomètres au nord de Toulouse, le vignoble s'étage sur les hautes terrasses alluviales du Tarn. Cette appellation, regroupant 20 communes et comprenant 2 200 ha de vignes, produit 110 000 hl/an de vins rouges et rosés.

Le vignoble est exclusivement installé sur les trois terrasses alluviales en rive gauche du Tarn dans des terrains à forte évolution pédologique, avec des teneurs élevées en éléments siliceux, graviers, sables, limons et surtout absence de calcaire. Ces dépôts ont subi des phénomènes d'acidification, de lessivage des éléments chimiques, de dégradation des argiles et leur entraînement en profondeur. Il en résulte des sols très souvent hydromorphes, acides, dénommés régionalement "Boulbènes" qui se caractérisent par leur granulométrie (absence ou présence d'éléments grossiers, richesse en limons et en sable).

Le cépage typique de Fronton est la Négrette qui représente 70 % de l'encépagement, mais on trouve aussi le Fer Servadou, le Cot, les Cabernets Franc et Sauvignon, le Gamay et la Syrah.

Le climat océanique doux et humide est prédominant, mais une influence méditerranéenne liée au vent d'Autan limite le développement du Botrytis.

Les Côtes du Frontonnais rouges sont des vins fruités, souples et délicats, à la robe rubis, aux arômes de violette, de cassis ou de pruneau. Les vins rosés ont une robe légère et un nez fin très aromatique.

### **1.5. *Appellation d'Origine contrôlée Gaillac***

Enchanteur de palais depuis l'an mil, Gaillac est l'un des plus anciens vignobles de France. On trouve les premières traces de vignes au VI<sup>e</sup> siècle avant notre ère. Le vignoble prit son essor en 972 à l'arrivée des moines Bénédictins et à la fondation de l'Abbaye Saint-Michel où siège toujours la Maison du vin. En 1271, une charte garantit la qualité des vins de Gaillac. En 1938, fut définie l'Appellation Gaillac Contrôlée ; elle ne concernait que les vins blancs. En 1970, un décret étend l'aire viticole et surtout réglemente les Gaillac rouges et rosés.

Le vignoble, situé à 50 km de Toulouse, dans le Tarn, s'étend sur les deux rives du Tarn et vers le nord jusqu'à la cité médiévale de Cordes. Réparti sur 73 communes, le vignoble comprend 3 100 ha de vignes pour une production annuelle de 185 000 hl de vin dont une majorité de vins rouges (120 000 hl), mais aussi des vins blancs (44 000 hl), rosés (10 000 hl), primeurs (9 000 hl), et mousseux (2 000 hl).

Le vignoble de Gaillac, essentiellement implanté sur les terrasses alluviales du Tarn, s'étend également sur les coteaux molassiques de part et d'autre de la plaine et se prolonge au nord sur le plateau calcaire Cordais. Sur la rive gauche, le sol est graveleux, il convient aux vins rouges. Sur la rive droite, les terrains sont variés, depuis les molasses tertiaires des premières côtes jusqu'aux sols calcaires du plateau Cordais.

L'encépagement est très varié, mais des cépages autochtones comme le Duras, le Prunelard et le Fer Servadou (ou Braucol) pour les rouges, le Mauzac et le l'En de l'El pour les blancs, marquent la typicité des vins de Gaillac.

Bien que le climat océanique, doux et humide, affecte tout le Bassin Aquitain et donc la région Gaillacoise, située à l'extrémité orientale de ce bassin. En légère dépression entre le Massif de la Grésigne au nord-ouest et les contreforts du Massif Central à l'est et au sud, cette région bénéficie d'un microclimat particulier. Avec l'influence asséchante du vent d'Autan (influence méditerranéenne) auquel se superpose l'effet de Foehn dû à la proximité de la Montagne Noire, il n'est pas rare qu'aucune pluie ne tombe sur la région entre mai et septembre.

Sur le plateau Cordais, les blancs secs ont un équilibre harmonieux, ils sont riches en arômes floraux et fruités. Les vins rouges sont bien équilibrés, parfumés et gouleyants. Sur les coteaux, les blancs de Mauzac et L'en de l'El, vinifiés à basse température, se distinguent par des arômes délicats et nuancés. Sur la rive gauche, le Gaillac rouge évoque le fruit confit, la groseille, le cassis avec des tanins bien fondus et sur les graves, les vins blancs sont fruités et chaleureux et les vins rouges riches en couleurs, épicés et puissants.

### **1.6. Appellation d'Origine contrôlée Madiran**

Le vignoble du Madirannais remonte au I<sup>er</sup> siècle avant notre ère. Au XI<sup>e</sup> siècle, les Bénédictins fondèrent l'Abbaye de Madiran et améliorèrent le vignoble. Le Madiran devint AOC en 1948 et fut la première appellation en France à imposer le contrôle de la qualité par la délivrance d'un label après analyse et dégustation.

Le vignoble s'étend aux confins des trois départements du Gers, des Hautes-Pyrénées et des Pyrénées Atlantiques, sur les coteaux molassiques de la rive gauche de l'Adour. Les terroirs argilo-siliceux conviennent bien aux cépages blancs pour la production de Pacherenc et les terres argilo-calcaires sont surtout favorables aux cépages rouges qui donnent le vin de Madiran. La superficie occupée par le vignoble de Madiran est d'environ 1 300 ha pour une production annuelle de 70 000 hl.

Le climat du Madiranais, bien que situé dans un contexte atlantique, est marqué par une pluviométrie estivale limitée, ainsi qu'une composante thermique à tendance montagnarde sur les plus hautes croupes. Cependant, les fortes pluies de printemps et les étés chauds et orageux suivis d'automnes chauds et secs accompagnés parfois de brouillard, constituent une contrainte non négligeable à la viticulture.

Quatre cépages entrent dans la composition des vins de Madiran : le Tannat est le cépage de base (40 à 60 % de l'encépagement), le Fer Servadou (Pinenc), le Cabernet Franc et le Sauvignon.

Riche en tanins, le Madiran est un vin corsé et charpenté. Il est soumis par décret à un vieillissement obligatoire d'un an avant sa commercialisation. Après deux ou trois ans en bouteille, ses tanins s'assouplissent et il développe des arômes de fruits noirs, de torréfaction et d'épices.

### **1.7. Conclusion**

Le Sud-Ouest de la France comporte une mosaïque de petits vignobles dont la diversité est déterminée par :

- des sols d'origine géologique très variée : terrasses alluviales plus ou moins récentes (quaternaire), coteaux et plateaux calcaires du secondaire et du tertiaire et collines sur roches acides du primaire (Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées, 1995).
- de nombreux micro-climats selon l'importance de l'influence méditerranéenne (vent d'Autan), montagnarde (proximité du Massif Central et des Pyrénées) ou océanique (proximité de l'océan atlantique).

## 2. La notion de terroir

### 2.1. *L'origine et la découverte du terroir*

D'après Frégoni (2002).

Le mot « *terroir* » dérive du latin « *terra* », mais déjà les Romains l'indiquaient comme « *locus* » ou « *loci* », c'est-à-dire un lieu ayant le « *genius* » destiné à la production d'un produit de qualité exquise. Les Egyptiens, les Juifs, les Grecs et les Romains employèrent en premier le nom du lieu d'origine pour indiquer le vin sur le « *pittaccium* » en argile qui était apposé sur les amphores en terre cuite qui contenaient le vin. De cette façon, naquit la dénomination d'origine.

Le premier exemple de délimitation géographique et territoriale nous vient de Pline (premier siècle avant Jésus-Christ) qui avait étudié de façon approfondie le plus ancien cru Romain, c'est-à-dire la Falernum. Le nom de « *genius loci* » a été encore confirmé pendant le Moyen Age et jusqu'au moment où des règlements et des lois ont établi les premières délimitations de ces lieux. En 1700, fut délimitée par décret la zone de production du Tokay Hongrois, suivie par celles du Chianti (1716) et Porto (1755). L'essence du terroir fut toutefois exaltée en 1855 à Bordeaux avec la publication de la liste des « crus ». Normalement le mot « cru » se définit comme le participe passé du verbe « croître », c'est-à-dire crû sur ce terroir spécifique mais, selon l'interprétation de certains latinistes d'anciennes abbayes françaises, cela signifie « célèbre », c'est à dire ayant une renommée auprès des consommateurs. C'est justement à travers les « crus » que les français ont inventé le terme « terroir », désormais utilisé dans tout le monde de la viticulture.

### 2.2. *La notion de « terroir »*

Empiriquement, les agriculteurs ont défini le « terroir » comme étant les zones les plus aptes à produire des cultures de qualité, typiques de ce « terroir » (Laville, 1993). Ainsi, la



sélection des terroirs se faisait *a posteriori* en « évaluant » les caractéristiques organoleptiques, aromatiques et sensorielles des produits agricoles.

Les dictionnaires, quant à eux, donnent toujours deux notions complémentaires pour le mot « terroir » :

- une notion d'espace géographique : étendue de terre ayant des potentialités agronomiques particulières,
- une notion de territoire qui fait allusion à la présence de l'homme, qui seul est capable de valoriser les aptitudes agricoles d'une région.

Ainsi, le concept de « terroir » intègre deux groupes de facteurs fondamentaux : les facteurs naturels (climat, sol, roche) et les facteurs humains (itinéraires viticoles et œnologiques). Le terroir est donc 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 (Morlat, 2001).

### **2.3. *Le terroir, fondement de l'Appellation d'Origine***

La loi de 1919 définit l'A.O.C. comme suit : « constitue une appellation d'origine, la dénomination d'un pays, d'une région, d'une localité servant à désigner un produit qui en est originaire et dont la qualité ou les caractères sont dus au milieu géographique, comprenant des facteurs naturels et des facteurs humains ». Ainsi, la notion d'Appellation d'Origine découle de celle du « terroir ». Cependant, à l'échelle de la parcelle, la majorité des Appellations d'Origine sont constituées d'un plus ou moins grand nombre d'unités de terroirs, dont les propriétés peuvent engendrer des différences importantes sur les caractéristiques du produit.

### **2.4. *Méthodes d'étude des terroirs viticoles***

D'après Morlat (2001).

*Approche historico-administrative* : Les vignobles actuels sont le reflet d'une adéquation entre un climat régional, un cépage et un territoire dont les potentialités sont exprimées par des vignerons. Cette adéquation est le fruit de l'observation empirique de plusieurs générations de viticulteurs et le facteur humain est par conséquent déterminant dans ce type de démarche. La théorie du « noyau d'élite » (Kuhnoltz-Lordat, 1963) et celle du « noyau historique » (Branas, 1980), considère qu'un vignoble possède un noyau central dans lequel les conditions naturelles et humaines sont les plus favorables à la qualité.

*Approche statistique* : Plusieurs approches nouvelles, de type croisement multidimensionnel de données numérisées disponibles (banques de données du milieu naturel développées par le Bureau de Recherche Géologiques et Minières), permettent de caractériser les terroirs (Laville, 1990 ; Doledec, 1995). L'identification de terroir est réalisée grâce à une ACP (Analyse en Composantes Principales) sur divers critères (pente, exposition, altitude, insolation et lithologie), puis une classification de Bayes permet l'élimination progressive des unités les plus mal classées. Cependant, cette approche ne traite pas les caractéristiques agronomiques des sols, et les résultats obtenus dépendent beaucoup de la qualité des données de base. Plusieurs chercheurs (Noble, 1979 ; Gadille, 1967, Scienza *et al.*, 1979) ont aussi tenté de relier la qualité de la vendange ou du vin à certaines variables d'état (pH, granulométrie, teneurs en calcaire et en éléments fertilisant du sol).

*Approche climatique* : Certains chercheurs ont établi divers indices bioclimatiques permettant de caractériser le climat régional (Huglin, 1978 ; Riou, 1992 ; Carbonneau *et al.*, 1992). Aussi, d'autres auteurs ont tenté d'aborder le climat à l'échelle locale (Becker, 1978 ; Hoppmann et Schaller, 1996 ; Jacquet et Morlat, 1997) ou d'analyser l'effet du millésime sur le développement de la vigne et la qualité de la vendange (Bertaud *et al.*, 1987 ; Bonnardot, 1997 ; Tonietto et Carbonneau, 1998).

*Méthode systémique* : Cette approche prend en compte le fonctionnement de la vigne dans son terroir. Ainsi, des études sont menées dans le Bordelais sur les conditions d'alimentation en eau de la vigne en relation avec la qualité de la vendange (Seguin, 1983 ; Duteau *et al.*, 1981 ; Van Leeuwen et Seguin, 1994, Van Leeuwen, 1998) et certains auteurs considèrent la chaîne terroir/vigne/vin dans son ensemble (Astruc *et al.*, 1984 ; Falcetti, 1990 ; Morlat, 1989 ; Riou *et al.*, 1995 ; Vaudour *et al.*, 1998 ; Panont et Comolli, 1998).

*Méthode de la Chambre d'Agriculture de l'Aude* (Astruc *et al.*, 1984) : Une unité de terroir est définie, dans un bioclimat particulier, par une zone comprenant plusieurs types de

sols présentant un ou des points communs majeurs sur le plan des caractéristiques agronomiques (l'élément majeur étant la réserve en eau du sol). Il a aussi été montré l'importance du carbonate de calcium actif dans la typicité sensorielle des vins.

*Méthode utilisée pour le fromage de l'A.O.C. Comté* : La première démarche a consisté à vérifier et valider l'existence de crus organoleptiques de Comté grâce à la constitution d'un jury terroir, la seconde a eu pour objectif de rattacher ces crus à une identité terroir en étudiant spatialement les données du milieu naturel s'exprimant dans la chaîne climat, roche, sol et végétation. Les auteurs montrent qu'il existe une corrélation spatiale entre les crus sensoriels de Comté et leurs terroirs et malgré un long parcours technologique, le produit final porte la signature de son terroir (Monnet, 1996 et 1997).

*Méthode d'étude intégrée développée par l'INRA d'Angers* (Morlat, 2001) : L'Unité de Recherche sur la Vigne et le Vin conduit des travaux sur la notion de terroir, l'effet terroir et son déterminisme, et développe aussi un volet sur l'adaptation de l'itinéraire agro-viticole et œnologique au terroir. Pour aborder avec une démarche scientifique ces divers aspects, le concept d'Unité Terroir de Base (UTB) a été élaboré. L'UTB correspond à un territoire suffisamment homogène sur le fonctionnement du système terroir-vigne-vin et présentant une surface suffisante pour la valorisation par la viticulture. Les divers volets étudiés sont :

- identification, caractérisation et cartographie d'UTB associant trois grandes composantes du milieu naturel (géologique, agro-pédologique, paysage climatique associé)
- caractérisation agro-viticole multicritères des UTB
- caractérisation analytique des vendanges et des vins
- étude du déterminisme de l'effet terroir pour dégager et hiérarchiser les variables pertinentes
- recherche sur l'adaptation de l'itinéraire agro-viticole et œnologique à l'UTB
- valorisation par l'élaboration d'un référentiel cartographique informatisé directement utilisable par le vigneron.

## **2.5. Conclusion**

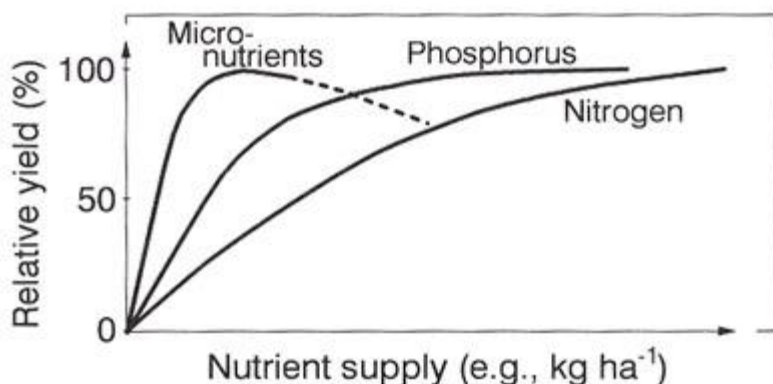
La notion de terroir est complexe car elle résulte d'une multitude de facteurs ayant des interactions complexes entre eux. Aussi, les méthodologies d'étude des terroirs sont très variables en fonction de la région étudiée et du but de l'étude.

Le but de notre étude est d'acquérir une meilleure connaissance et maîtrise des caractéristiques et des besoins du Fer Servadou sur les différents terroirs de Midi-Pyrénées. Aussi, nous avons déjà vu dans la première partie que cette région est implantée sur divers types de sols et que les micro-climats sont nombreux. Ainsi, il nous sera indispensable d'étudier en détail les facteurs environnementaux, pédologiques et climatiques qui caractérisent le mieux les différents terroirs étudiés.

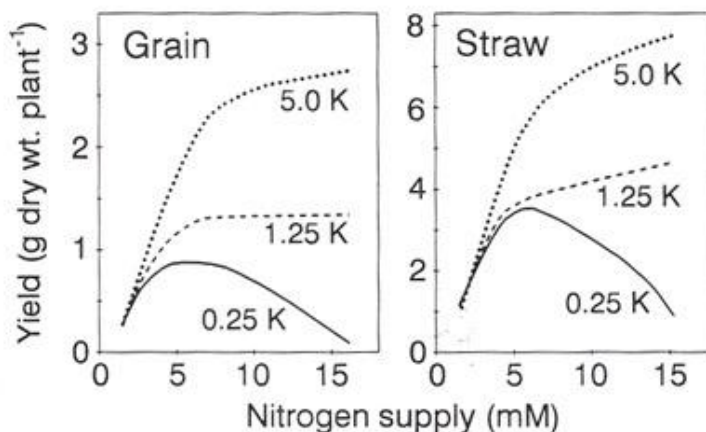
### 3. La nutrition minérale de la vigne

#### 3.1. Introduction

De nombreux facteurs, tels que la lumière, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), l'eau et les éléments minéraux, sont nécessaires à la croissance de la plante. L'augmentation de l'un de ces facteurs entraîne une élévation de la croissance et de la production. Cependant, l'augmentation d'un des éléments minéraux peut entraîner la diminution des autres éléments minéraux et/ou être limitée par le potentiel génétique de la plante. Ainsi, dans le cas des oligo-éléments et de l'azote, une augmentation excessive dans le sol entraîne une toxicité pour la plante et donc une diminution de la croissance et de la production (figures 1 et 2).



**Figure 1.** Réponse de la plante à une augmentation des teneurs en phosphore, azote et oligo-éléments du sol (Marschner, 1997)



**Figure 2.** Effet de l'augmentation des teneurs en azote en fonction de la teneur en potassium (mmol) sur la production de grains et de paille de l'orge en culture hydroponique sur sable (MacLeod, 1969)

D'après Morard (1995), il existe douze éléments minéraux indispensables à la nutrition de la vigne (tableau 1) :

- six macro-éléments exprimés en pourcentage de matière sèche (% MS) : l'azote, le phosphore, le soufre, le potassium, le calcium et le magnésium ;
- six oligo-éléments exprimés en partie par millions de matière sèche (ppm MS) : le fer, le manganèse, le cuivre, le zinc, le bore et le molybdène.

ELEMENT	SYMBOLE	TENEUR (MS)
<b>MACROELEMENTS</b>		
Azote	N	1 à 5 %
Phosphore	P	0,1 à 0,5 %
Soufre	S	0,1 à 0,3 %
Potassium	K	1 à 5 %
Calcium	Ca	1 à 5 %
Magnésium	Mg	0,1 à 0,8 %
<b>OLIGOELEMENTS</b>		
Fer	Fe	100 à 500 ppm
Manganèse	Mn	50 à 200 ppm
Cuivre	Cu	5 à 50 ppm
Zinc	Zn	10 à 100 ppm
Bore	B	10 à 100 ppm
Molybdène	Mo	0,1 à 1 ppm

**Tableau 1.** Eléments minéraux indispensables rencontrés dans les végétaux supérieurs (Morard, 1995)

D'après Crespy (2003), la fertilisation de la vigne, pour ce qui concerne les éléments « plastiques » (c'est à dire les éléments dont la quantité absorbée est suffisamment grande pour pouvoir en mesurer les variations) repose sur l'azote, le phosphore, le calcium, le magnésium et le potassium. Il s'agit donc de cinq éléments, dont nous allons voir les teneurs et le rôle dans le sol, la plante et les vins.

Les cations sont puisés dans le sol par les racines, puis transportés et stockés vers les organes végétatifs, mais les apports dans les baies sont irréguliers : importants au début de la maturation et très faibles au moment de la maturité.

Dans les baies de raisin, les matières minérales sont surtout localisées dans les parties solides (Peynaud et Maurié, 1953 ; Ribéreau-Gayon et Peynaud, 1971) : pellicule, pépins et parois pecto-cellulosique de la pulpe.

Au cours de la vinification en rouge, le taux des substances minérales augmente avec la macération des parties solides par dissolution, mais certaines substances peuvent diminuer par formation de sels insolubles. En effet, le potassium et le calcium sont très peu solubilisés et se perdent dans le marc (précipitation avec du bitartrate de potassium et du tartrate de calcium), alors que le magnésium est largement extrait.

### 3.2. *Le potassium*

Dans le sol, le potassium existe comme composant structural des minéraux primaires et secondaires, des argiles, ainsi que sous forme ionique, adsorbé à la surface des colloïdes et dans la solution du sol. La teneur totale en cet élément dans les sols varie de 0,5 à 2,3 % mais seul 0,1 à 0,2 % est facilement assimilable par la plante (Mengel et Kirkby, 1982).

L'absorption du potassium par la plante se fait grâce au gradient électrochimique existant entre la solution du sol et le cytoplasme des cellules racinaires (transport passif : faible affinité) mais aussi grâce à l'activité ATPasique des membranes cellulaires (transport actif : forte affinité) (Mengel, 1985). L'absorption du potassium peut être perturbée par d'autres cations comme  $H^+$  en sol acide et  $Ca^{++}$  en sol calcaire (Elzam et Hodges, 1967).

Le potassium est le cation le plus abondant dans le cytoplasme des cellules végétales et l'un des éléments indispensable à la croissance des végétaux. Même s'il ne participe pas directement à la nutrition et au métabolisme, cet élément intervient à l'état ionique et joue de nombreux rôles : il neutralise les charges électronégatives (acides organiques, protéines et composés phosphorylés), il intervient dans le potentiel osmotique cellulaire, il est le cofacteur de nombreuses réactions, il participe à la régulation stomatique et à la migration des

métabolites dans le phloème, il permet l'accumulation des sucres dans les baies de raisins et de l'amidon dans les organes vivaces (Marschner, 1997).

La vigne absorbe 25 à 70 kg/ha/an de potassium et 30 à 60 % sont exportées par les vendanges (Champagnol, 1984 ; Delas, 2000).

Les besoins de la vigne en potassium sont très importants, notamment à partir de la floraison et jusqu'à la véraison, période au cours de laquelle cet élément migre des feuilles vers les raisins. Le potassium est l'élément majoritaire surtout dans les tissus jeunes, car c'est un élément très mobile (migration des organes âgés vers les organes jeunes). Les teneurs en potassium dans les baies augmentent avec l'âge et ce, en raison d'une migration de cet élément des feuilles et des rameaux vers les baies (Champagnol, 1984). Aussi, 38 % du potassium serait localisé dans la pellicule (Iland et Coombe, 1988) ce qui pourrait expliquer l'augmentation des teneurs en cet élément dans les moûts après macération (Walker *et al.*, 1999).

Dans les vins, il est bien connu que le potassium affecte fortement leur acidité car il neutralise le tartrate et conduit à la précipitation du bitartrate de potassium (Somers, 1975 ; Hepner et Bravdo, 1985 ; Daverède, 1996 ; Gallego, 1999 ; Garcia *et al.*, 2000, 2001a et 2001b ; Cadet et Garcia, 2003). Cependant, le potassium a un effet positif sur la synthèse et l'accumulation de l'acide malique dans les baies (Champagnol, 1986 ; Failla *et al.*, 1993 et 1996, Ibrahim *et al.*, 2000).

### 3.3. *Le calcium*

Dans le sol, le calcium se trouve dans divers minéraux primaires (Mengel et Kirkby, 1982) et la teneur en cet élément dépend de la roche mère, des phénomènes d'érosion et de lixiviation (évolution du sol).

L'absorption du calcium par la plante est plus difficile que celle du potassium, car elle ne peut se faire que par les extrémités non subéreuses des racines (Clarkson et Hanson, 1980). Le flux de masse (transport passif) serait le seul mode de transport dans la plante, et dépend donc de la transpiration de la plante (Mengel et Kirkby, 1982). Cet élément est un antagoniste pour les autres éléments, et peut entraîner des carences (dites induites) notamment en fer (Bertamini, 2002).



Le calcium est présent en assez faible quantité dans la plante et se localise principalement dans les feuilles, les sarments et les baies de raisin. Il joue de nombreux rôles, notamment au niveau de la croissance et de l'élongation cellulaire, de la plasticité cellulaire (saturation des acides pectiques des parois cellulaires), de la sélectivité membranaire. Il intervient aussi dans les équilibres acido-basique (salification des acides organiques) et le transport des substances dans la plante. De plus, il active directement ou non de nombreuses réactions enzymatiques (Marschner, 1997).

La vigne absorbe entre 28 kg/ha/an de calcium en sol acide et 130 kg/ha/an en sol calcaire (Champagnol, 1984 ; Delas, 2000). Les besoins en calcium sont importants, surtout au moment de la véraison car c'est un élément très peu remobilisable et il a tendance à s'accumuler dans les tissus âgés. D'après Ruffner (1982), la synthèse d'acide tartrique peut réguler le niveau de calcium libre dans les feuilles et les baies. Ainsi, une biodisponibilité élevée du calcium, particulièrement dans les premiers stades de la croissance des baies stimule la synthèse d'acide tartrique (Failla *et al.*, 1996). Dans le moût et le vin, le calcium forme avec l'acide tartrique du tartrate neutre de calcium mais sa précipitation est plus lente que le bitartrate de potassium.

### 3.4. *Le magnésium*

Dans le sol, le magnésium se trouve sous trois formes : hydrosoluble, échangeable et non échangeable. La teneur en cet élément est fonction du type de sol et elle peut varier de 0,05 % pour les sols sableux à 0,5 % pour les sols argileux. Seulement 5 % du magnésium total est assimilable par la plante (Mengel et Kirkby, 1982).

L'absorption du magnésium par la plante est, comme pour le calcium, un phénomène passif et elle est affectée par les autres cations.

Dans la plante, le magnésium est localisé principalement dans les feuilles et les sarments ; il est très peu présent dans les raisins. Il est le constituant essentiel de la chlorophylle et de la phytine (substance de réserve qui migre dans les graines) et il entre dans la composition des acides aminés, des protéines et des enzymes (Marschner, 1997).

La vigne absorbe 6 à 7 kg/ha/an de magnésium mais, compte tenu de sa localisation dans la plante, une grande partie est restituée au sol (Champagnol, 1984 ; Delas, 2000). Les besoins

en magnésium sont beaucoup moins importants que ceux en potassium, mais ils augmentent au moment de la floraison et de la véraison. C'est un élément remobilisable dans la plante, mais il a tendance à s'accumuler dans les organes âgés. En ce qui concerne le vin, les fortes teneurs en magnésium semblent avoir une corrélation positive avec la sensation de gras des vins. De plus, la correction de carence avérée en cet élément conduit à une meilleure accumulation des anthocyanes dans les baies et une meilleure extractibilité de la couleur ainsi qu'une augmentation du degré (Crespy, 2003).

### 3.5. L'azote

Dans le sol, l'azote se trouve sous trois formes : dans la phase gazeuse (78 %), dans la phase minérale (0 à 300 kg/ha sous la forme nitrate ou ammonium) et dans la phase organique (30 à 100 t/ha de matière organique soit 1,5 à 5 t/ha d'azote). L'azote minéral, seule forme directement assimilable par la plante, provient de la minéralisation biologique des formes organiques (protéolyse, ammonification, nitratisation et nitrification (Mengel et Kirkby, 1982).

Les nitrates et l'ammonium sont les principales source d'azote pour la plante. L'absorption de l'ammonium se fait par le flux de masse puis il est incorporé dans les composés organiques des racines. L'absorption des nitrates se fait par diffusion ; ensuite, ils sont mobilisés via le xylème et stockés dans la vacuole (racines, tiges et feuilles) ou sont incorporés dans les structures organiques après être réduits en ammonium. L'accumulation des nitrates dans la vacuole joue un rôle important dans la balance ionique et l'osmorégulation. L'ammonium, toxique pour la cellule, est incorporé au glutamate pour former la glutamine qui a l'origine de la synthèse des autres acides aminés (Marschner, 1997).

La vigne absorbe environ 90 kg/ha/an d'azote et en exporte plus de la moitié (Löhnertz, 1988).

L'absorption de l'azote par la vigne est soutenue durant toute la végétation, avec une accélération marquée en mai et à la nouaison. Dans les grappes, la quantité d'azote augmente jusqu'à maturité.

Pour la vigne, les carences comme les excès d'azote sont nuisibles. La carence provoque une fermentation difficile et des effets désagréables à la dégustation. L'excès d'azote conduit à des excès de vigueur se traduisant par des augmentations de rendement, des baisses de

teneur en sucre et en polyphénols, il augmente la formation de carbamate d'éthyle et d'amines biogènes et peut aussi entraîner des casses protéiques (Crespy, 2003).

### 3.6. *Le phosphore*

Dans les sols cultivés, le phosphore provient de la matière organique (minéralisation de l'humus) et des minéraux des roches (échanges très lents). Il se trouve dans la solution du sol (0,1 à 0,4 %), adsorbé à la surface du complexe argilo-humique (5 %) ou lié au calcium, à l'aluminium et au fer (95 %). Seule une faible partie du phosphore contenu dans le sol est facilement assimilable par la plante (5 à 6 %).

Le phosphore est principalement absorbé sous la forme  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$ , puis il est oxydé sous la forme de phosphate inorganique (Pi) ou estérifié ou rattaché à un autre phosphate (ATP par exemple). Le phosphore est un élément structural (constituant de nombreuses macro-molécules et notamment de l'ADN et des ARN) et joue un rôle important dans les transferts d'énergie (via l'ATP) mais aussi dans de nombreuses réactions enzymatiques (Marschner, 1997).

Dans les sols très acides, l'assimilation du phosphore par la plante diminue fortement, et dans les sols calcaires elle est quasiment nulle.

La vigne absorbe environ 30 kg/ha/an de phosphore ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) et en exporte les 2/3 (Löhnertz, 1988).

Dans les feuilles et les baies, l'acide phosphorique est fortement absorbé jusqu'en juillet puis très peu après.

Il n'y a pas, pour l'instant, dans les publications, de corrélation établie entre la teneur en phosphore des sols, celle des limbes et celle des moûts. Les recherches sont très rares car le phosphore est un élément discret n'entraînant pas de carence visible sur la plante ou de perturbation dans le processus technologique d'élaboration du vin.

### **3.7. Conclusion**

La nutrition minérale de la vigne conditionne le métabolisme de la vigne et par conséquent la maturation du raisin et la qualité des moûts et des vins. Aussi, la connaissance et la maîtrise de la nutrition du Fer Servadou est indispensable si l'on veut améliorer la qualité des vins.

L'étude en plein champ est assez difficile car de nombreux facteurs influencent sur la nutrition minérale. Aussi, nous avons opté pour une expérimentation en culture hors-sol qui permet d'une part de connaître précisément les quantités d'éléments disponibles pour la plante et d'autre part de maîtriser, en partie, les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température, l'hydrométrie et le régime hydrique.

## 4. La qualité des vins

### 4.1. Introduction

La détermination de la qualité des vins est assez difficile, car même si leur analyse chimique donne de nombreuses informations, la dégustation reste à ce jour déterminante. Cependant, la dégustation reste inévitablement subjective et les résultats sont variables entre les dégustateurs. L'analyse chimique est donc la seule méthode fiable car non subjective, pour évaluer la qualité des vins. De plus, le développement des techniques analytiques récentes permet d'étudier de nouveaux facteurs de qualité tels que les composés aromatiques, les composés azotés et phénoliques des vins.

### 4.2. Les glucides fermentescibles

La teneur en glucides fermentescibles est exprimée en °Brix, °Balling, °Baumé ou °Oechsle et se mesure par différentes méthodes. La teneur en sucre réelle est en fait 4 à 5 % plus faible car d'autres composés ont un indice de réfraction similaire.

Le taux de sucre indique le rendement potentiel en alcool et en sucre résiduel après fermentation. Dans les régions où le climat est « limite » (peu favorable à la maturation des raisins), le titre alcoolimétrique probable (TAP) est couramment utilisée comme indicateur de maturité et de qualité. D'ailleurs, en Allemagne, les vins sont classés en fonction de leur teneur en glucides fermentescibles dans les grappes mures (Jackson et Lombard, 1993). Par contre, dans les régions plus chaudes et plus sèches, le TAP est moins important que les autres facteurs.

### 4.3. *Les acides organiques*

Les principaux acides organiques sont les acides tartrique, malique et citrique. Ils peuvent être mesurés par l'acidité titrable, exprimée en gramme d'acide sulfurique ou d'acide tartrique par litre. L'acide malique est couramment mesuré par des méthodes enzymatiques et l'acide tartrique par colorimétrie, mais la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) et l'électrophorèse capillaire (Ibrahim 2000 et 2001) est aussi utilisée pour leur dosage. La synthèse des acides organiques dépend de la photosynthèse et leur dégradation dépend du taux de respiration et de la température de la grappe au cours de la maturation (Esteban *et al.*, 1999). Ainsi, l'acide malique diminue peu lorsque le climat est froid (Winkler *et al.*, 1974). Une acidité trop importante donne des vins trop vifs, mais si elle est trop faible, les vins sont mous.

### 4.4. *Le pH*

Des pH supérieurs à 3,60 peuvent poser des problèmes car ils favorisent l'activité des microorganismes, notamment des bactéries, et réduisent les teneurs en SO<sub>2</sub> libre. De plus, les vins rouges ont une couleur moins intense et moins stable lorsque leur pH est élevé (Somers, 1975).

L'augmentation du pH au cours de la maturation est corrélée à l'augmentation du taux de sucre, et est donc fréquemment utilisé pour déterminer la date de vendange.

### 4.5. *Les composés phénoliques*

Les polyphénols sont extraits de la pellicule, des pépins et de la rafle du raisin au cours de la vinification. Le type de polyphénol et leur concentration jouent un rôle important sur la flaveur des vins (Herrick et Nagel, 1985). Ces composés interviennent aussi dans les problèmes d'hygiène alimentaire (effet vitaminique et bactéricide) et dans les transformations du vin (traitements et vieillissement).

Les composés phénoliques regroupent un ensemble de substances que l'on a appelé pendant longtemps " matières tannoïques " d'une façon générale et imprécise parce que leur nature n'était pas connue avec suffisamment de précision. Il existe quatre principales familles de composés phénoliques : les acides-phénols, les flavones, les anthocyanes, les tanins (<http://www.petzi.org/vin/composition.html>).

Les acides-phénols : Le raisin et le vin contiennent sept acides benzoïques et quatre acides cinnamiques ; la concentration de chacun d'eux varie dans des proportions importantes de 0,1 à 30 mg/l. Ces acides se trouvent le plus souvent dans le raisin sous forme estérifiée, essentiellement avec l'acide tartrique. Au cours de l'élaboration et de la conservation du vin, une hydrolyse lente de ces combinaisons se produit ; en effet, dans le vin, les acides se retrouvent simultanément à l'état libre et à l'état combiné.

Les flavones : Ce sont des pigments jaunes existant dans les pellicules de raisins. Ils sont quatre dans les raisins noirs et seulement trois dans les raisins blancs. Dans les vins blancs, dont les techniques de préparation ne comportent pas de macération des parties solides de la grappe riches en composés phénoliques, les pigments de cette famille sont, sinon absents, tout au moins à l'état de traces. Par conséquent, ces corps ne participent pas à la coloration des vins blancs. Notons qu'à l'état actuel des connaissances, les œnologues ne possèdent aucune indication précise sur la nature des substances responsables de la coloration des vins blancs. Elle est sûrement de nature phénolique, bien qu'il n'y ait pas de relation entre la teneur en composés phénoliques totaux, ou la teneur en tanins, d'une part et l'intensité, ou son aptitude au brunissement, d'autre part. Relevons que les complexes du fer possèdent une coloration jaune, avec les acides organiques et avec les tanins, qui intervient sans doute partiellement dans la couleur globale.

Les anthocyanes : Ce sont des glycosides sur lesquels une (monoglucoside) ou deux (diglucoside) molécules de sucres sont fixées à des polyphénols, les anthocyanidols. Ce sont les pigments rouges des raisins. Ils sont présents dans les raisins rouges mais sont absents des raisins blancs. Sur cette différence sont basés des procédés de caractérisation des produits de la vigne : vins blancs et vins rouges. Les molécules d'anthocyanes existent dans le raisin et dans le vin, partiellement sous forme de complexes de natures différentes. Ces complexes semblent jouer un rôle important dans l'intensité et la stabilité de la couleur des vins. L'oxydation de l'éthanol du vin, en présence de composés phénoliques agissant comme oxydants intermédiaires, conduit à l'apparition d'éthanal. Celui-ci, à l'état libre ou de

combinaison avec le SO<sub>2</sub>, se comporte comme un agent de copolymérisation entre les anthocyanes et les tanins. Simultanément, la teneur en anthocyanes diminue, mais l'intensité colorante augmente. Effectivement, les positions entre les différentes structures favorisent les formes colorées. D'autre part ces pigments polymérisés possèdent une couleur plus stable que celles des anthocyanes libres ; en particulier, elle est moins sensible aux variations de pH et de la décoloration par SO<sub>2</sub>. Ces réactions sont nécessaires à l'évolution normale des vins rouges au cours des premiers mois qui suivent la vinification ; elles interviennent non seulement sur la couleur, mais aussi sur l'affinement des odeurs et l'assouplissement des tanins. Au cours du vieillissement en bouteilles, les formes rouges des anthocyanes disparaissent par déplacement des équilibres ; la couleur des vins vieux est due aux formes condensées des tanins.

Les tanins : Ils sont caractérisés par leur propriété à donner des combinaisons avec les protéines et d'autres polymères tels que les polysaccharides. Du point de vue chimique, les tanins résultent de la polymérisation de molécules élémentaires à fonction phénol.

#### 4.6. *Autres facteurs*

De nombreuses variétés de cépages blancs contiennent des composés terpéniques qui confèrent au vin des arômes caractéristiques (arômes variétaux). Ewart (1987) montre que ces composés libres et liés, s'accumulent dans les baies au cours de la période véraison-maturité pour atteindre un maximum lorsque le taux de sucre est de 22° Brix.

Des travaux ont également permis l'identification des méthoxypyrazines, responsables des arômes de type poivron vert, produits par certains cépages (Allen *et al.*, 1991 ; Bayonove *et al.*, 1975) ainsi que d'autres molécules aromatiques (Strauss *et al.*, 1987).

Aussi, la teneur en azote et en composés azotés des moûts peut poser des problèmes de fermentation et semble influencer les caractéristiques organoleptiques des vins (Coombe et Iland, 1987, Lorenzini, 1996).



#### **4.7. Conclusion**

La qualité des vins reste assez difficile à déterminer car la dégustation, bien que subjective, reste le critère décisif. Cependant, la connaissance des caractéristiques chimiques des raisins et des moûts permet d'orienter les méthodes de vinification et le type de vin que l'on souhaite produire.

Dans cette étude, nous essayerons de déterminer, pour chaque terroir, le potentiel viticole (aptitude à la maturation, qualité de la vendange) et le potentiel œnologique (caractéristiques chimiques des moûts et des vins et caractéristiques organoleptiques des vins). Aussi, nous tenterons de mettre en évidence les relations existantes entre les caractéristiques chimiques des vins et leurs caractéristiques organoleptiques.

## 5. Les relations cépage-terroir-qualité du vin

D'après Crespy (2003)

### 5.1. *Influence du terroir sur la physiologie de la vigne*

#### 5.1.1. **Débourrement**

*Effet du sol* : C'est la capacité de réchauffement du sol qui intervient. Elle dépend de la pierrosité (effet positif), du taux d'argile (effet négatif), de la capacité de rétention en eau (effet positif) et de la couleur du sol (plus ils sont foncés plus il se réchauffent vite le jour et se refroidissent vite la nuit).

*Effet de l'exposition* : Les expositions sud-est, sud et sud-ouest permettent un débourrement précoce. Aussi, la pente favorise le réchauffement du sol et les milieux abrités des vents du nord sont plus favorables.

*Effet du climat* : La température moyenne de l'air doit être supérieure à 10° C pour déclencher le processus de débourrement.

*Effet du mode de culture* : L'air étant plus chaud près du sol, la conduite basse permet un débourrement précoce. Plus la date de la taille est tardive, plus le débourrement est tardif et une vigueur excessive retarde ce phénomène.

#### 5.1.2. **Floraison-nouaison**

*Effet du sol* : Une alimentation en eau correcte est indispensable car tout stress hydrique conduit à la coulure. De même, toute carence alimentaire peut induire des accidents de type coulure et millerandage (cas du fer, du bore, du magnésium et dans une moindre mesure de l'azote).

*Effet de l'exposition* : La lumière favorise la fécondation, d'où l'intérêt des expositions sud. La pente et les abris favorisent le réchauffement de l'air et améliore la nouaison.

*Effet du climat* : La fécondation demande une température moyenne de l'air voisine de 19°C. La lumière a un effet positif, de même qu'un léger vent. Par contre, les vents forts, la pluie et la nébulosité ont un effet négatif.

*Effet du mode de culture* : La correction des carences est impérative. Les palissages hauts induisant une bonne luminosité au niveau des grappes ont un effet positif et la conduite basse favorise aussi la nouaison. Aussi, les haies semi-perméables dans les régions ventées, les dispositifs de terrasse avec murets de pierres blanches améliorent la nouaison.

### 5.1.3. Véraison

*Effet du sol* : Un stress hydrique modéré doit s'installer autour de la véraison et aboutir à un arrêt de croissance des sarments ; par conséquent, la capacité de rétention et la profondeur du sol jouent un rôle important. Si la croissance ne s'arrête pas, la concurrence entre la croissance et les baies se prolonge au détriment de la qualité des baies.

*Effet de l'exposition* : Les pentes et les terrasses favorisent la circulation de l'eau et l'assèchement progressif du sol.

*Effet du climat* : Pour chaque cépage, la véraison est atteinte après une somme de températures actives. Les expositions sud-est et sud-ouest améliorent le rayonnement et hâtent la véraison. En zone sèche, une hydrométrie de l'air trop faible (< 45%) peut perturber la véraison.

*Effet du mode de culture* : La densité de plantation est le moyen le plus intéressant et le plus utilisé pour réguler le stress hydrique et arrêter la croissance grâce à la concurrence entre les ceps. L'enherbement est un palliatif parfois difficile à manipuler selon le climat. Le travail du sol a des effets contradictoires : en cas de sécheresse légère, il permet une économie d'eau (diminution de l'évaporation) mais en cas de sécheresse grave, il accentue la perte d'eau.

### 5.1.4. Maturité

*Effet du sol* : La couleur du sol influe sur sa température. En zone limite de maturité les sols foncés conviennent mieux aux vins rouges que les sols clairs.

*Effet de l'exposition* : Les expositions sud sont intéressantes en zone limite car elles donnent de la précocité. Par contre, sous climat plus chaud, l'exposition peut devenir défavorable à cause des phénomènes d'échaudage, de grillage et d'une maturation trop précoce.

*Effet du climat* : Les températures moyennes journalières et les écarts de température jour-nuit ont une grande influence sur la qualité du vin. L'acquisition d'anthocyanes est optimale pour des températures moyennes voisines de 20° C et des écarts de températures jour-nuit supérieures à 10° C. La pluviométrie de la période véraison-maturité joue un rôle important sur la qualité du millésime : un stress hydrique trop important bloque la maturité alors que les fortes pluies diluent les composés contenus dans les raisins et entraînent des phénomènes de pourriture. Une hygrométrie trop basse bloque la photosynthèse aux meilleures heures de la journée mais si elle est trop haute elle favorise les maladies. Le vent peut agir favorablement, notamment après un passage pluvieux.

*Effet du mode de culture* : L'établissement, plus ou moins près du sol est un des meilleurs moyens pour avancer ou retarder la maturité.

## **5.2. Influence du terroir sur la nutrition minérale de la vigne**

Plusieurs facteurs liés au climat, au sol, à la distribution des racines dans les horizons du sol, au positionnement des éléments fertilisants dans les horizons peuvent modifier la dynamique d'absorption des éléments fertilisants.

L'excès de pluie est à l'origine des phénomènes de lessivage. La sécheresse crée un blocage général des assimilations et la carence en azote est le plus souvent la première à s'installer. Seules les pulvérisations de nitrate de potasse peuvent ralentir les effets de la sécheresse. Un appoint de magnésium ou de calcium en sol acide se montre aussi bénéfique.

Le système racinaire de la vigne fonctionne en plusieurs étages, du printemps jusqu'à l'été, en fonction de la température du sol et de son état de sécheresse. Au début de la végétation, ce sont les racines superficielles qui alimentent la vigne puis à partir de juin, le système racinaire intermédiaire (-30 à -60 cm) prend le relais. En été, c'est le système racinaire profond qui assure la majorité du travail. Aussi, l'horizon de surface doit être riche en K, Mg, P et N pour assurer un départ de végétation convenable, l'horizon intermédiaire (-30 à -60 cm) doit être riche en Mg et Ca avec P et N moyen et l'horizon profond doit être riche en K et Ca, avec un peu de N pour soutenir la maturité.

D'une manière générale l'absorption d'un élément est fonction de sa teneur dans le sol (Bentchikou, 1998) mais elle dépend aussi de la teneur des autres éléments minéraux qui favorise (synergie) ou inhibe (antagonisme) son absorption (Bertoni, 1980 ; Conradie et Saayman, 1989; Jakobsen, 1993 ; Daverède et Garcia, 1997 ). Dans certains cas, notamment sur sols acides, la nutrition minérale est liée à la composition granulométrique des sols (Faraj *et al.*, 1998 ; Garcia *et al.* 2002). De plus, les différents cépages cultivés présentent des besoins spécifiques (Himelrick, 1991 ; Sarmiento, 1992 ; Ibrahim, 2001) et il faut tenir compte des réactions du sol (assimilation et biodisponibilité des éléments fertilisants fonction du pH) (Bavaresco et Poni, 2003) et du porte-greffe utilisé (absorption variable des éléments fertilisants) (Bavaresco *et al.*, 2003 ; Ezzahouani et Williams, 1995 ; Gallego et Garcia, 2001 ; Lehoczky et Kocsis, 1998).

Sur sol calcaire, Garcia *et al.* (1984) montrent que plus le climat est chaud et sec, plus les teneurs en azote des limbes diminuent et plus celles en calcium augmentent. De plus, Stevens et Prior (1994) observent, sur le cépage Sultana soumis à un stress hydrique une augmentation des teneurs en Mg et une diminution des teneurs en N et Ca.

### 5.3. *Influence du terroir sur la qualité des raisins et des vins*

L'examen des conditions agro-climatiques, en particulier le bilan hydrique, le bilan énergétique et les conditions de la période véraison-maturité, permettent de définir divers profils de maturité et des aptitudes naturelles à donner des types de vins.

Les terroirs à potentiel énergétique limité (indice de Huglin inférieur à 1 800 et nuits fraîches à très fraîches) ont une capacité assez limitée pour accumuler les sucres (nécessité de chaptaliser les moûts) mais les vins ont une acidité naturelle élevée, notamment ils sont riches en acide malique. D'une manière générale plus le climat est chaud plus les raisins sont riches en sucre (Aljibury, 1975 ; Winkler *et al.*, 1974), plus ils synthétisent de l'acide malique dans les baies vertes (Klenert *et al.*, 1978) et plus ce dernier est dégradé dans les baies au cours de la maturation (Alleweldt *et al.*, 1984 ; Ibrahim *et al.*, 2001). De nombreux auteurs soulignent la vocation « vin blanc » pour ces terroirs à potentiel énergétique faible, mais les travaux de Kliewer (1973) montrent que des températures journalières proches de 20° C et des écarts de températures jour-nuit élevés favorisent l'accumulation d'anthocyanes dans les baies.

L'appréciation du potentiel aromatique du raisin cultivé en zone énergétique limitée fait l'objet de travaux. De nombreux auteurs soulignent l'importance du microclimat des grappes et l'exposition directe au soleil favoriserait la concentration en diverses molécules aromatiques et précurseurs d'arômes (Becker, 1977 ; Kliewer and Bledsoe, 1986). Les terpènes (géraniol, nérol et linalol) se forment préférentiellement au cours des journées fortement ensoleillées et des températures élevées (plus de 28° C). D'autres précurseurs (composés glycosylés, norisoprénoides en C13 et shikimiques) demandent un fort éclaircissement mais des températures plus basses. La conduite basse, améliorant le profil diurne, favorise la formation des précurseurs d'arômes et préférentiellement des terpènes. Par contre, les températures trop élevées nuiraient à la formation ou entraîneraient la destruction des composés responsables des arômes du vin.

Pour les terroirs à potentiel énergétique assez élevé (indice de Huglin compris entre 1 800 à 2 400), la régulation hydrique naturelle est un des facteurs majeurs de la qualité et l'effet millésime est considérable. L'accumulation des sucres dans les baies est généralement suffisante et la chaptalisation n'est plus systématique et les acidités des vins sont équilibrées. Cependant, les régions les plus chaudes (Var, Corse, Pyrénées Orientales) donnent des vins peu acides et donc fragiles sur le plan microbiologique. La vallée du Rhône et la région bordelaise ont un potentiel acide plus élevé et des maturités plus aléatoires que les régions du Gard, de l'hérault, de l'Aude et du Vaucluse. Toutes ces zones sont aptes à faire des vins rouges, car l'accumulation d'anthocyanes est bonne et peut-être améliorée grâce à la conduite basse et à l'effeuillage. Ces pratiques semblent aussi améliorer le profil aromatique des vins.

Pour les terroirs à potentiel énergétique élevé (indice de Huglin supérieur à 2 400), l'irrigation est assez systématique. L'accumulation des sucres est considérable si l'hygrométrie de l'air est suffisante (supérieure à 45 %) mais le potentiel d'accumulation d'acide malique et l'indice de couleur sont bas. Cependant, en zone semi-désertique continentale, les écarts de température jour-nuit sont importants, ce qui autorise un potentiel anthocyanique un peu plus élevé. Aussi, le potentiel aromatique des vins souffre beaucoup des excès de chaleur pendant la période de maturation.

#### **5.4. Conclusion**

Le terroir, caractérisé par sa topographie, son climat et ses facteurs agro-pédologiques, doit permettre une maturation lente mais complète du raisin, et donner des moûts de qualité régulière d'une année sur l'autre.

Nous avons vu que le terroir influence d'une part la physiologie de la vigne (précocité du débourrement, de la floraison, de la véraison et de la maturité) et d'autre part sa nutrition minérale, ce qui modifie le profil qualitatif des raisins, des moûts et des vins.

Dans cette étude, les parcelles du réseau de Fer Servadou étant très éloignées, il n'est pas possible d'effectuer le suivi des stades phénologiques de la vigne. Par contre, nous étudierons les relations existantes entre les facteurs agro-pédologiques, le climat et le microclimat, la nutrition minérale du Fer Servadou et la qualité des ses vins.

## 6. Présentation du cépage *Vitis vinifera* L. cv Fer Servadou

D'après Lavignac (2001)

### 6.1. *Origine et synonymie régionale*

Ce cépage, de la famille des Carmenets, est originaire du Pays Basque espagnol. Son abondante synonymie témoigne de sa grande dispersion, des Pyrénées à la Vendée en passant par le Bordelais.

Issu de lambrusques, il a été répandu par les moines bénédictins de Madiran et de Conques qui avaient reconnu sa rusticité permettant sa culture dans les Pyrénées et l'Aveyron.

Dans le Sud-Ouest, le Fer est plus communément désigné Fer Servadou. Il est aussi dénommé Mansois, Saumansois, Mancès, Saumencès dans le Marcillacois, et parfois Servan près de Rodez. C'est le Saoubadé en Bigorre, le Pinenc ou Couahort en Madiranaise, le Here (bois droit), le Scarcit, l'Arech en Gascogne, le Mouraa ou Mourah en Jurançonnais, le Camirouch en Couserans, le Braucol ou Brocol en Gaillacois et enfin l'Estronc et le Chalomoncet dans les vignobles de Glanes et de Saint-Céré dans le nord du Lot et de Beaulieu en Corrèze.

### 6.2. *Etymologie*

Il s'agit de l'occitan « FER », issu du latin « ferus » qui signifie « sauvage », et « SERVADOR » qui signifie « qui se conserve bien ».

Les synonymes Mansois, Saumançois et Chalomoncet sont rattachés linguistiquement à la série Manseng, issu du latin « mansus » qui signifie « manoir » (ils désigneraient des cépages propres aux maîtres et donnant des vins de qualité !).

Couahort est la transcription de « Coahort » (gascon) qui signifie « à pédoncule épais et résistant ».

Camirouch est l'oc « Camiroch » signifiant « à tronc rouge ».



### 6.3. Aire de diffusion

Le Fer est vinifié à l'état pur à Marcillac, en assemblage à Gaillac, Madiran et S<sup>1</sup> Mont ainsi que dans tout le Sud-Ouest. L'implantation du Fer Servadou dans le sud-ouest de la France est assez importante et en constante augmentation. Il est le cépage principal de l'A.O.C. Marcillac et représente 27 % de l'encépagement de l'A.O.C. Gaillac, 21 % de celui des Côteaux du Brulhois, 15 % de celui de Madiran et 2 % de celui de Fronton. Sa surface d'implantation a diminué de moitié entre 1960 et 1990 mais depuis, on observe un regain d'intérêt pour ce cépage : il représente aujourd'hui 1 300 ha, contre 1 000 ha en 1960 (www.vins-du-sud-ouest.com).

### 6.4. Caractéristiques

Bourgeonnement cotonneux blanc rosé. Jeunes feuilles duveteuses légèrement bronzées. Feuilles adultes petites à moyennes, tri à quinquelobées présentant un dimorphisme foliaire unique. Grappes moyennes, coniques, compactes. Baies moyennes, ovoïdes, de couleur noire bleutée, pellicule épaisse, pulpe fondante et saveur herbacée particulière rappelant celle du Cabernet Sauvignon.



Photo 1 : Le cépage Fer Servadou (Photo ITV France, source : Crespy, 2003)

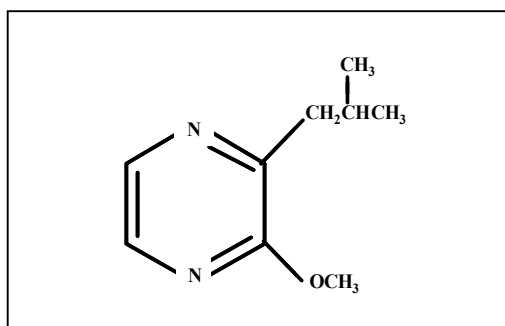
Le débourrement est précoce mais la maturation tardive (2<sup>ème</sup> époque). Ce cépage rustique, résiste quelque peu au mildiou et aux vers de la grappe, mais craint l'oïdium.

Les vins de Fer ont une couleur grenat soutenue. Ils peuvent être dégustés jeunes ou après vieillissement, le plus souvent après passage en fût. Les vins jeunes ont un nez fruité (framboise, cassis), pouvant évoluer avec l'âge vers des arômes de cacao. En bouche, bien que les tanins soient bien présents, ils sont toujours très fondus. Cependant, comme le Cabernet Sauvignon (Roujou de Boubée *et al.*, 2000) et le sauvignon blanc (Augustyn *et al.*, 1982 ; Lacey *et al.*, 1991), ils présentent souvent, selon les terroirs et l'état de maturité, des arômes végétaux et herbacés de type « poivron vert » liés à de fortes teneurs en IBMP (2-méthoxy-3-isobutylpyrazine).

### 6.5. Fer Servadou et IBMP

Les méthoxypyrazines sont des composés présents à l'état naturel dans les végétaux et parmi elles se trouve la 2-méthoxy-3-isobutyl-pyrazine (IBMP), mise en évidence pour la première fois dans le poivron vert par Buttery *et al.* (1969). En 1975, l'IBMP (figure 3) est identifiée pour la première fois dans les raisins de Cabernet Sauvignon par Bayonove *et al.* (1975) qui la tiennent pour responsable de l'arôme de poivron vert caractéristique de ce cépage. Depuis une dizaine d'années environ, sa contribution à l'arôme végétal (dit poivron vert) des vins de Cabernet sauvignon, de Merlot et de Sauvignon blanc est démontrée (Augustyn *et al.*, 1982 ; Harris *et al.*, 1987 ; Maga, 1989 ; Allen *et al.*, 1989, 1991 et 1994, Kotseridis *et al.*, 1998, Roujou de Boubée *et al.*, 2000). Récemment, Schneider *et al.* (2003) ont mis en évidence la présence de l'IBMP dans les moûts et les vins de Fer Servadou.

L'IBMP est la principale méthoxypyrazine des raisins de cuve et son seuil de perception est très bas (une dizaine de nanogrammes par litre) (Kotseridis *et al.*, 1998, Roujou de Boubée, 2000).



**Figure 3.** Formule chimique de l'IBMP (Source : Beuret, 1998)

Actuellement, on ne lui connaît pas de précurseur mais l'IBMP se retrouve aussi bien dans les feuilles que dans les baies de raisin. L'IBMP deutériée appliquée sur les feuilles est transportée par le phloème vers les autres organes de la plante, mais principalement vers les grappes (Roujou de Boubee, 2004). Au cours de la maturation, les teneurs en IBMP diminuent dans les baies (Lacey *et al.*, 1991). Aussi, il semblerait qu'à partir de la véraison, la dégradation l'emporterait sur la synthèse de l'IBMP. Plusieurs travaux ont mis en évidence une forte relation entre l'exposition des grappes à la lumière et la baisse de leur concentration en IBMP (Allen et Lacey, 1993 ; Noble *et al.*, 1995 ; Hashizume et Sumata, 1999). Ainsi, les IBMP sont dégradées à la lumière et les produits de sa dégradation (dont la 2-méthoxy-3-méthyl-pyrazine) ne semblent pas posséder d'impact organoleptique. Au cours de la maturation, la proportion d'IBMP dans la rafle diminue alors qu'elle augmente dans la pellicule. Au cours de cette même période, la concentration en IBMP des feuilles âgées augmente alors qu'elle diminue dans les grappes. Ainsi, il semblerait que le métabolisme de l'IBMP est différent dans le fruit et dans les feuilles (Roujou de Boubee, 2004).

L'aptitude à produire des méthoxypyrazines ne se retrouve pas dans tous les cépages (Hashizume et Samuta, 1999) ; par conséquent, la composante variétale est donc primordiale. Cependant, les travaux en vert (Beuret, 1998 ; Roujou de Boubée, 2004), l'enherbement (Roujou de Boubée, 2000) tendent à diminuer les teneurs en IBMP dans les raisins. Le climat semble aussi jouer un rôle important sur les teneurs en IBMP des raisins : Allen (1996) montre qu'à un stade de maturité comparable, les teneurs en IBMP sont plus importantes dans les régions froides que dans les régions chaudes.

La teneur en IBMP des vins n'est que marginalement contrôlable au cours de la vinification (Roujou de Boubée, 2004). Dans le cas d'une vinification traditionnelle, l'IBMP est très extractible, seul le débouillage des moûts de Sauvignon blanc et la sélection raisonnée des vins de presse de Cabernet Sauvignon permettent de limiter la teneur en IBMP des vins.

Le chauffage de la vendange permet de faire chuter significativement la concentration en IBMP par volatilisation du composé. Aucune modification de la concentration en IBMP des vins n'est observée au cours du vieillissement en bouteille.

## **6.6. Conclusion**

L'implantation du Fer Servadou (syno. Brauacol, Pinenc, Mansois) dans le Sud-Ouest de la France est assez importante et en constante augmentation. A ce jour, le Fer Servadou n'a jamais fait l'objet d'étude scientifique, et sa connaissance et la maîtrise de ses caractéristiques sur les différents terroirs de Midi-Pyrénées représentent un enjeu important pour les viticulteurs de la région. Dans cette étude, nous essayerons donc de mettre en évidence les facteurs du terroir (sol, climat, nutrition minérale de la vigne) qui influencent la qualité des raisins et des vins de Fer servadou et plus particulièrement leurs teneurs en IBMP.

## **CHAPITRE 2**

---

**MATERIELS**

**ET**

**METHODES**

## 1. Etude en culture hydroponique

### 1.1. Introduction

Les cultures en milieu hydroponique strict ou sur support sont couramment utilisées dans le cadre expérimental, car elles permettent de contrôler un certain nombre de facteurs environnementaux tels que la température, l'hygrométrie, l'intensité lumineuse et le régime hydrique. Ce mode de culture permet une croissance rapide des plantes quelque soit la saison et bien sûr, elle permet de contrôler parfaitement les éléments fertilisants apportés à la plante.

Deux séries de culture hydroponique stricte ont été mises en place sur le cépage Fer Servadou afin d'étudier une large gamme de solutions nutritives comportant des équilibres cationiques différents. Le premier essai, mené en 2001, avait pour but d'étudier l'effet de différents équilibres cationiques K-Ca et K-Mg sur la croissance, la biomasse et la nutrition cationique du cépage Fer Servadou. Le deuxième essai, mené en 2003, avait pour but de confirmer les résultats obtenus lors du premier essai, mais aussi d'étudier l'effet de différents équilibres Ca-Mg. Il nous a également paru intéressant de comparer la physiologie de la nutrition du Fer Servadou à une autre variété, issue de la même famille ampélographique et cultivée dans des conditions identiques. Nous avons opté pour le Cabernet Sauvignon, car ce cépage est déjà très étudié, et de nombreuses références bibliographiques sont disponibles.

### 1.2. Matériel végétal

Le premier essai a été mené sur le cépage *Vitis vinifera L.* cv Fer Servadou clone 556 et le deuxième essai sur les cépages *Vitis vinifera L.* cvs Fer Servadou clone 420 et Cabernet Sauvignon clone 337.

Les clones de Fer Servadou sont différents pour les deux essais pour des raisons de disponibilité en pépinière. Notons que ces deux clones ont des aptitudes différentes : le clone 420 est considéré comme hautement qualitatif alors que 556 est considéré comme qualitatif et

à production moyenne. Le Cabernet sauvignon clone 337 est considéré comme hautement qualitatif (Crespy, 2003).

Le porte-greffe utilisé est le 3309C pour toutes les expérimentations, car il est largement représenté dans la région Midi-Pyrénées. Ce porte-greffe est issu du croisement entre *Riparia tomentueux* et *Rupestris martin*, et il est considéré comme qualitatif. D'après Cordeau (1993), c'est un producteur moyen de bois redoutant la sécheresse en terrain superficiel et sur sols hydromorphes ; sa résistance à la chlorose est moyenne et il absorbe difficilement le potassium mais correctement le magnésium.

### **1.3. Dispositif expérimental**

Toutes les expérimentations ont été menées à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Toulouse, sous une serre en verre conditionnée et exposée nord-sud. La température et l'humidité sont régulées par un système de « cooling » comprenant un mur d'eau et deux extracteurs d'air se déclenchant automatiquement lorsque la température atteint les 28° C. La température de la serre n'est pas constante, mais elle est maintenue entre 22 et 28° C et l'hydrométrie est comprise entre 40 et 50 %. La serre est également équipée d'un système de régulation d'intensité lumineuse. Lorsque celle-ci est trop importante, un pare-soleil se déroule, et lorsque celle-ci est insuffisante, des lampes à sodium se mettent en marche. Ainsi, les plantes sont exposées à la lumière de 7 h à 21 h.

Deux greffés-soudés sont placés dans des pots de 6 litres contenant 5 litres de solution nutritive. Un bullage intermittent d'air permet l'aération de la solution nutritive et la respiration racinaire. Les solutions nutritives ne sont pas réajustées en eau, mais elles sont renouvelées chaque semaine.

Les plantes sont cultivées durant une période de 8 semaines au cours de laquelle les entre-cœurs et les fructifications sont régulièrement éliminés. Au cours du deuxième essai nous avons également suivi la croissance des plantes au cours du temps.

### 1.4. Les solutions nutritives

La solution nutritive apporte l'eau et les éléments minéraux nécessaires à la croissance de la plante. La composition des solutions nutritives couramment utilisées en culture hors-sol est très variable, mais la plus utilisée est celle mise au point par Coïc et Lessaint (1975). Cette solution a été adaptée aux besoins spécifiques de la vigne par Daverede (1996) et sera donc utilisée comme solution témoin. La composition chimique de cette solution est donnée dans le tableau 2. Toutes les autres solutions nutritives testées ne diffèrent que par leur concentration respective en calcium, potassium et magnésium (tableau 3).

**Tableau 2.** Composition de la solution nutritive témoin (2.1K:6.7Ca:2.0Mg)

ELEMENT	CONCENTRATION (/l de solution)
<b>MACROELEMENTS</b>	
Ca <sup>2+</sup>	6,7 meq
Mg <sup>2+</sup>	2 meq
K <sup>+</sup>	2,1 meq
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1 meq
TOTAL CATIONS	11,8 meq
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8,8 meq
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2 meq
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1 meq
TOTAL ANIONS	11,8 meq
<b>OLIGOELEMENTS</b>	
Fe	5 mg
Mn	0,65 mg
Mo	0,03 mg
B	0,3 mg
Cu	0,05 mg



**Tableau 3.** Concentration en K, Ca et Mg (meq/l) des solutions nutritives

<i>Solution</i>	<i>Potassium (meq/l)</i>	<i>Calcium (meq/l)</i>	<i>Magnesium (meq/l)</i>
2.1K:6.7Ca:2.0Mg	<b>2.1</b>	<b>6.7</b>	<b>2.0</b>
0,3K:3.8Mg	0.3	<b>6.7</b>	3.8
1.2K:2.9Mg	1.2	<b>6.7</b>	2.9
2.9K:1.2Mg	2.9	<b>6.7</b>	1.2
3.8K:0.3Mg	3.8	<b>6.7</b>	0.3
0.3K:8.5Ca	0.3	8.5	<b>2.0</b>
1.4K:7.7Ca	1.4	7.7	<b>2.0</b>
4.5K:4.3Ca	4.5	4.3	<b>2.0</b>
7.3K:1.5Ca	7.3	1.5	<b>2.0</b>
2.6Ca:6.1Mg	<b>2.1</b>	2.6	6.1
4.0Ca:4.7Mg	<b>2.1</b>	4.0	4.7
7.7Ca:1.0Mg	<b>2.1</b>	7.7	1.0
8.4Ca:0.3Mg	<b>2.1</b>	8.4	0.3

### 1.5. Analyses de la récolte

Après 8 semaines de culture, les plantes sont sacrifiées, et le poids des différents organes (racines, tiges, feuilles et pétioles) est mesuré avant et après séchage à l'étuve (60° C pendant 48 h). Les feuilles sont séparées en deux lots. Le premier lot est constitué des feuilles dites jeunes et comprend les 10 étages foliaires situés près de l'apex ; le deuxième lot est constitué des feuilles dites âgées, et comprend les étages foliaires inférieurs. Les limbes sont séparés des pétioles et seuls les limbes sont utilisés pour le diagnostic foliaire. En effet, de nombreux auteurs ont déjà établi de fortes corrélations entre les teneurs en cations des limbes et des pétioles (Bertoni et Morard, 1982 ; Daverède, 1996 ; Gallego, 1999).

Après séchage et broyage (broyeur à bille), la poudre végétale (1 g) est calcinée 2 h à 250° C puis 8 h à 550° C. Les cendres sont reprises dans de l'acide chlorhydrique concentré (2 ml HCl 96 %) puis dilué (5 ml HCl N/10) après évaporation. Après filtration des cendres, la solution est ajustée au volume final (50 ml) avec de l'eau UHQ.

Le calcium et le magnésium sont dosés par spectrophotométrie d'absorption et le potassium par spectrophotométrie d'émission (spectrophotomètre de flamme Perking Elmer 280).

### 1.6. *Analyses statistiques*

Chaque plante est analysée séparément, mais la moyenne des deux plantes contenues dans le même pot est utilisée pour l'analyse statistique. Le logiciel SIGMASTAT 2.03 est utilisé pour l'analyse de la variance (Anova) et des corrélations (Spearman correlation).

## 2. Etude en plein champ

### 2.1. *Le réseau de parcelle*

Une étude préliminaire nous a permis de sélectionner 14 parcelles représentatives des terroirs des 5 appellations où le cépage Fer est représenté de manière significative : Marcillac (A1, A2, A3, A4, A5), Madiran (M1, M2, M3), Gaillac (G1, G2, G3, G4), Coteaux du Bruhlois (B1) et Fronton (F1). Sur toutes les parcelles sélectionnées, les vignes sont âgées de plus de 10 ans. Le suivi et les différents prélèvements ont été réalisés sur un rang de référence. L'ensemble des travaux viticoles est laissé à l'initiative du propriétaire de la parcelle et les informations suivantes ont été collectées : altitude, pente, âge de la vigne, porte-greffe, densité de plantation, exposition, type de taille, travail du sol (rang et inter-rang), travaux effectués sur la vigne (effeuillage, rognage), amendements et fertilisation pratiqués (date, type et quantité) , rendement moyen de la parcelle.

### 2.2. *Paramètres climatiques*

A partir des données météorologiques recueillies au cours de chaque année d'étude les indices de Bessmoulin (I<sub>b</sub>) et de Winkler (I<sub>w</sub>) ont été calculés :

$$I_b = \Sigma PP^* / \Sigma ETP^*$$

$\Sigma PP$  : somme des précipitations journalières

$\Sigma ETP$  : somme des évapo-transpirations potentielles journalières

\* période du 1<sup>er</sup> avril au 31 août

$$I_w = \Sigma(TM_j - 10)$$

$\Sigma(TM_j - 10)$  : somme des températures moyennes journalières supérieures à 10° C du 1<sup>er</sup> avril au 30 octobre

A partir des données météorologiques de 1983 à 2003, l'indice d'aridité de Martone (Iq) et le quotient pluviométrique d'Emberger (Q) ont été calculés :

$$I_q = \Sigma PP / \Sigma(TMa + 10)$$

PP : précipitations annuelles

TMa : température moyenne annuelle

$$Q = \Sigma PP / ((TM_{max})^2 - (TM_{min})^2) * 100$$

PP : précipitations annuelles

TMmax : température moyenne du mois le plus chaud

TMmin : température moyenne du mois le plus froid

### 2.3. Description des profils racinaires et pédologiques

Sur chaque parcelle, une fosse d'environ 1 m de large sur 3 m de longueur est réalisée à l'aide d'une minipelle. La fosse est creusée à quelques mètres (3 à 4 m) de l'entrée du rang de référence et à une quinzaine de centimètres des ceps. Pour le comptage des racines, un cep doit se situer au centre du profil. La profondeur maximale des fosses réalisées est de 1,8 m mais, pour la plupart, la puissance de la minipelle ne permet pas d'atteindre cette profondeur (présence de grepp, de roche mère ou bien compacité de l'horizon).

Chaque horizon identifié est décrit à l'aide de la fiche de description des sols, établie par l'Unité Expérimentale Vigne et Vin (UEVV) du centre INRA d'Angers (annexe 1). Les données sont entrées dans la base de données VALSOL développée par l'unité de service Valpedo de l'IRD de Montpellier (<http://www.valpedo.mpl.ird.fr/index.htm>) afin de numériser les données.

Le comptage des racines se fait sur les deux faces du profil pédologique (côté cep et côté inter-rang) et pour chaque horizon pédologique déterminé. Les racines dont le diamètre est soit supérieur soit inférieur à 2 mm sont dénombrées de part et d'autre du cep (distance égale à la moitié de l'espacement entre ceps).

## 2.4. Analyses des sols

### ✓ Prélèvement et préparation des échantillons

Un échantillon de sol homogène d'au moins 1 kg est prélevé sur toute la hauteur et la largeur de l'horizon et pour chaque horizon pédologique déterminé.

Les échantillons de « terre fine sèche » sont obtenus après séchage à l'air libre (6 à 36 heures), élimination des cailloux, réduction des mottes de terre (rouleau en acier) puis tamisage à 2 mm (NF X 31-101, Afnor, 1999). Le pourcentage de cailloux est déterminé par rapport au poids total de l'échantillon.

### ✓ Détermination du pH et de la conductivité (NF X 31-117 – NF ISO 10390)

Cinq millilitres de terre fine sèche et 25 ml d'eau sont mélangés et agités 5 min. Après 2 à 12 h de repos, le  $pH_{eau}$  et la conductivité sont mesurés sous agitation à l'aide d'un pHmètre et d'un conductimètre préalablement étalonnés. Le  $pH_{KCl}$  est mesuré comme précédemment dans une solution de KCl à 1M.

### ✓ Analyse granulométrique (NF X 31-107)

La matière organique de 10 g de terre fine sèche est détruite à froid, puis à chaud (70° C) par un oxydant puissant ( $H_2O_2$  1 % puis 30 % v/v pour finir l'attaque). L'excès de peroxyde d'hydrogène est détruit par ébullition et réduction du volume. Le volume de l'échantillon est ramené à 300 ml par addition d'eau et les particules minérales sont dispersées par addition d'un dispersant alcalin (hexamétaphosphate de sodium 150 g/l et ammoniacque 20 %) et agitation (2 h minimum).

Les particules grossières sont séparées par tamisage à 200  $\mu m$  (sables grossiers) et 50  $\mu m$  (sables fins). Les particules moyennes et fines sont obtenues par prélèvement à la pipette en fonction de leur vitesse de sédimentation. Le temps et la profondeur de prélèvement sont calculés grâce à la loi de Stokes :

$$t_i = 10^{10} * H_i / ( C * x_i^2 )$$

$t_i$	temps de sédimentation en seconde
$H_i$	profondeur de prélèvement
C	constante de Stokes (C = 892168,7810 à 20° C)
$x_i^2$	diamètre supérieur des particules en $\mu m$

✓ *Détermination du calcaire total (NF X 31-105)*

La teneur en calcaire total est obtenue par la mesure du volume de dioxyde de carbone dégagé par 5 g de terre fine sèche sous l'action de l'acide chlorhydrique (5 ml HCl ½) à température ambiante.

✓ *Détermination du calcaire actif (NF X 31-106)*

Le carbonate de calcium contenu dans 4 g de sol est extrait et précipité par une solution d'oxalate d'ammonium (100 ml à 0,1 M). L'excès d'oxalate d'ammonium est dosé en milieu acide et à chaud par une solution de permanganate de potassium (0,02 M).

$$\% \text{ calcaire actif} = 62,5 \times C \times (V_o - V_a)$$

C : concentration de la solution de permanganate de potassium (mol/l)

V<sub>o</sub> : volume de permanganate de potassium versé pour l'essai à blanc (ml)

V<sub>a</sub> : volume de permanganate de potassium versé pour l'essai (ml)

✓ *Détermination de la teneur en azote (NF X 31-11 - NF ISO 11261)*

Le dosage de l'azote total des sols est réalisé par la méthode Kejdahl.

0,2 à 1 g de l'échantillon contenu dans une papillote de papier à cigarette sans gomme est minéralisé en présence de 5 ml d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré et d'une pastille de catalyseur Cu-Se (Kjeltech, Perstorp Analytical : 1,65 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 330 g CuSO<sub>4</sub>, 16,5 mg Se/1 000 pastilles). La minéralisation est réalisée à froid pendant environ 12 heures, puis à chaud (montée en température par palier puis ébullition maintenue à 420° C pendant 1 heure) dans un minéralisateur (1016 Digester, Tecator).

La distillation des produits de minéralisation et le dosage de l'ammoniac sont réalisés automatiquement (Kjeltec auto 1030 analyser, Tecator). Les réactifs nécessaires à la distillation et au titrage sont : la soude à 40 %, l'acide sulfurique à 0.1 N et la solution réceptrice qui doit être préparée juste avant utilisation et contenant, pour 1 litre de solution, 10 g H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 10 ml de colorant Tecator (100 ml de vert de bromocrésol à 1 g/l de méthanol et 80 ml de rouge de méthyle à 1 g/l de méthanol) et quelques gouttes de soude à 4 % (obtention d'une coloration verte).

✓ *Détermination de la teneur en carbone organique et en matière organique*

La teneur en carbone organique des sols est déterminée par la méthode proposée par Walkey and Black (1934).

0,5 à 1,5 g de l'échantillon sont oxydés par un excès de bichromate de potassium (10 ml  $K_2Cr_2O_7$  1 N) en présence d'acide sulfurique concentré (20 ml) pendant 30 minutes. L'excès de  $K_2Cr_2O_7$  est réduit par du sel de Mohr (20 ml  $FeSO_4(NH_4)_2SO_4$  N/2) en milieu aqueux et acide (200 ml  $H_2O$ , 20ml  $H_2SO_4$ , 10 ml  $H_3PO_4$ ). L'excès de réducteur est titré par  $K_2Cr_2O_7$  à N/2 en présence d'indicateur coloré (1 à 2 ml diphénylamine sulfonate de baryum).

La teneur en matière organique est calculée en fonction de la teneur en carbone (MO % = % Corg x 100/55)

✓ *Détermination de la capacité d'échange cationique effective et du taux de saturation en bases échangeables (NF X 31-411 – NF ISO 11260)*

La CEC des échantillons de terre fine sèche est déterminée au pH du sol et à faible concentration ionique totale (0,01 M environ).

Le sol est saturé en trois étapes avec une solution de chlorure de baryum à 0,1 M puis il est équilibré à l'aide d'une solution de chlorure de baryum à 0,01 M. Après addition d'un excès de sulfate de magnésium à 0,02 M tout le chlorure de baryum absorbé par le sol et dans la solution est précipité sous forme de sulfate de baryum et les sites d'ions échangeables sont occupés par le magnésium.

L'excès de magnésium est dosé par spectrophotométrie de flamme (mélange air/acétylène).

Les concentrations en bases échangeables (K, Ca et Mg) sont déterminées de la même manière dans l'extrait de chlorure de baryum.

✓ *Détermination du taux de phosphore assimilable en sol calcaire (Olsen et al. 1954)*

Les phosphates sont extraits par une solution de bicarbonate de sodium ( $NaHCO_3$  0,5 M) ajustée à pH 8,5 (NaOH 1M). La solution est ensuite filtrée puis dosée par colorimétrie en présence de molybdate d'ammonium et d'acide ascorbique en milieu acide (Kuo, 1996).

- ✓ *Détermination du taux de phosphore assimilable en sol acide (Bray and Kurtz, 1945)*

Les phosphates sont extraits par une solution acide d'ammonium fluoride (3 % v/v NH<sub>4</sub>F 1M, 5 % v/v HCl 0,5 M). La solution est ensuite filtrée puis dosée par colorimétrie en présence de molybdate d'ammonium et d'acide ascorbique en milieu acide (Kuo, 1996).

- ✓ *Détermination du taux de saturation en bases échangeables et du phosphore assimilable par la méthode Mehlich-3 (Mehlich 1984)*

La solution d'extraction est composée de 0,2 M d'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH), 0,25 M de nitrate d'ammonium (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), 0,015 M de fluoride d'ammonium, 0,013 M d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) et de 0,001 M d'éthylène diamine tétraacétique (EDTA). Les phosphates assimilables sont extraits sous l'action de l'acide acétique et du fluoride d'ammonium, les bases échangeables (K, Ca, Mg et Na) sont extraites sous l'action du nitrate d'ammonium et de l'acide nitrique, et un certain nombre d'oligo-éléments (Cu, Zn, Fe et Mn) est extrait sous l'action de l'ammonium et de l'EDTA.

La teneur de chacun des éléments est déterminée par spectrophotométrie ou colorimétrie.

## 2.5. Bilan hydrique

D'après Crespy (2003)

- ✓ *Capacité de rétention en eau du sol (mm/m)*

$$\mathbf{CR = (Argile \% \times 2) + Limons\ totaux \% + (MO \% \times 10)}$$

- ✓ *Capacité de rétention réelle du sol (mm)*

$$\mathbf{CRr = profondeur (m) \times CR}$$

- ✓ *Réserve utile en eau du sol*

$$\mathbf{RU = 2/3 \times CR}$$

✓ *Evapo-transpiration réelle*

L'ETP Penman est donnée pour un certain nombre de stations météorologiques de Météo France. Chaque ETP journalière est corrigée par le coefficient Km en fonction de la plante, de la densité de plantation, du type d'entretien du sol et du mois (annexe 2).

$$\mathbf{ETR = Km \times ETP}$$

✓ *Bilan*

La teneur en eau du sol est calculée quotidiennement en fonction de l'eau déjà contenue dans le sol, des apports (précipitations) et des pertes (ETR). La quantité d'eau maximum contenue dans le sol ne dépasse jamais la capacité de rétention réelle. De même, en cas de déficit grave en eau, les valeurs négatives sont considérées comme égales à zéro. Cependant, dans la réalité, la teneur minimum en eau doit être au moins égale à 1/3 de la capacité de rétention du sol, car cette eau est fortement liée aux éléments du sol.

## 2.6. *Analyses foliaires*

Pour chacune des parcelles, 48 feuilles sont prélevées à la floraison et à la véraison selon la méthode proposée par Martin Prével *et al.* (1984). Seules les limbes sont analysés comme indiqué dans la section précédente (étude en culture hors-sol).

## 2.7. *Vinification*

Les vinifications ont été réalisées à l'Institut Technique de la Vigne et du Vin de Gaillac.

50 kg de raisins sont récoltés sur le rang étudié de chaque parcelle. Après égrappage et foulage, les moûts sont encuvés (cuve inox) et placés à 28° C (stade D). Après 24 h environ les moûts sontensemencés avec 10 g de *Saccharomyces Cereviseae*. Un pigeage et un remontage journalier sont pratiqués jusqu'à la fin de la fermentation alcoolique. Lorsque le taux de sucre est inférieur à 2 g/l, le vin est décuvé puis pressé, 10 % du vin de presse est ajouté au vin de goutte et le tout transféré dans une bonbonne de verre (stade A). La



fermentation malo-lactique est conduite à 22° C sans ensemencement (stade L). Après stabilisation au froid, le vin est mis en bouteille (stade B).

### 2.8. *Contrôle de maturité et analyse des moûts et des vins*

Les analyses des moûts et des vins ont été effectuées par l'Institut Technique de la Vigne et du Vin de Gaillac

#### ✓ *Prélèvement et préparation des échantillons lors des contrôles maturité*

200 baies sont prélevées aléatoirement sur les deux côtés du rang étudié. Le poids des 200 baies est déterminé, puis celles-ci sont broyées au Blender (2 min, vitesse 1). 50 g de broyat est mis à macérer dans 100 ml de mélange HCl-éthanol (85 % HCl 0,1 %/15 % éthanol 96 %) afin d'extraire les polyphénols et les anthocyanes (2 heures de macération avec agitation tous les quarts d'heure). Pour les autres analyses, le reste du broyat est filtré, puis le jus centrifugé.

#### ✓ *Titre alcoométrique potentiel (Méthode OIV : MA-F-AS2-02-SUCREF)*

Mesure par réfractométrie.

#### ✓ *Titre alcoométrique volumique (Méthode ITV)*

Méthode infra-rouge (IRTF).

#### ✓ *Acidité fixe (Méthode OIV : MA-F-AS313-15-PH)*

Il exprime l'acidité réelle (concentration en ion  $H_3O^+$ ), il est mesuré à l'aide d'un pHmètre préalablement étalonné.

#### ✓ *Acidité totale (Méthode OIV : MA-F-AS313-01-ACITOT)*

C'est la somme des acides titrables, lorsque l'on amène le vin à pH 7 par addition de liqueur alcaline titrée (NaOH 0,1 N). L'acide carbonique et l'anhydride sulfureux ne sont pas

compris dans l'acidité totale. Le BBT (bleu de bromothymol) est utilisé comme indicateur de fin de réaction.

✓ *Acidité volatile* (Méthode OIV : MA-F-AS313-02-ACIVOL)

Elle est constituée par les acides appartenant à la série acétique (acides libres ou salifiés) ; aussi, l'évaluation est faite par dosage automatique (Koné Spécific) de l'acide acétique.

✓ *Teneur en acide malique* (Méthode OIV : MA-F-AS313-11-ALMENZ)

Oxydation enzymatique de l'acide malique en oxaloacétate (en présence de NAD et de l'enzyme malate-deshydrogénase). L'oxaloacétate est ensuite transformé en L-aspartate (en présence d'acide glutamique et de l'enzyme GOT) et le NADH ainsi formé est dosé par spectrophotométrie d'absorption à 340 nm.

✓ *Teneur en acide tartrique* (Méthode OIV : MA-F-AS313-05-ACITAR)

Dosage colorimétrique en présence d'acide vanadique (formation d'un composé orangé) à 530 nm.

✓ *Teneur en potassium* (Méthode OIV : MA-F-AS322-02-POTASS)

Dosage par spectrophotométrie de flamme.

✓ *IPT (Indice Polyphénols Totaux)* (Riberau-Gayon, 1986)

Détermination au spectrophotomètre à 280 nm.

✓ *Teneur en anthocyanes* (Riberau-Gayon, 1986)

En présence d'ions bisulfite, les anthocyanes forment une combinaison incolore. Ainsi, la variation de l'absorbance à 520 nm après addition d'un excès de bisulfite est proportionnelle à la teneur en anthocyanes.

✓ *Caractéristiques chromatiques* (Méthode OIV : MA-F-AS2-07-CARCHR)

Mesure de l'absorbance à 420, 520 et 620 nm. L'absorbance à 520 nm est liée à la présence de pigments rouges, les anthocyanes. L'absorbance à 420 nm est liée aux pigments jaune brun, les tanins. L'intensité colorante (IC= DO 420 + DO 520) traduit la richesse d'un vin en matière colorante, elle varie de 0,4 à 1,5 dans les vins rouges. La teinte (N = DO420 /

DO 520) traduit la proportion de couleur jaune par rapport à la couleur rouge, elle augmente au cours du vieillissement du vin (diminution de la couleur rouge). Elle varie de 0,5 à 0,7 dans les vins jeunes et est supérieure à 1 dans les vins vieux.

- ✓ *Dosage de 3-isobutyl-2-méthoxy-pyrazine par HS-SPME-GC-MS (Schneider et al., 2003)*

20 ml de vin, amené à pH 6,6 et additionné de 6g de NaCl et de 10,5g de 3-IBMP[2H<sub>2</sub>] synthétisé selon le protocole décrit par Kotséridis *et al.* (1998), sont extraits à 27° C par HS-SPME (Head Space Solid Phase Micro-Extraction) à l'aide d'une fibre Carboxen-divinylbenzène pendant 2h30.

Le chromatographe en Phase Gazeuse Varian 3800, équipé d'une colonne de type DBWAX-ETR de 0,25 mm de diamètre interne, 30 m de longueur et 0,5 µm d'épaisseur de phase, est couplé à un spectromètre de masse Varian Saturn 2000, à technologie de trappe d'ions (CPG-ITMS).

La désorption des analytes se fait dans l'injecteur du CPG (Chromatographe en Phase Gazeuse) pendant 3 min. à 245°C, avec cryofocalisation au CO<sub>2</sub> en tête de colonne.

Les conditions d'analyse chromatographique sont les suivantes :

- Chromatographe en Phase Gazeuse (CPG) Varian 3 800 :
  - Injecteur : maintenu à 245° C
  - Four : 60° C pendant 3 min. puis montée jusqu'à 95° C à raison de 20° C/min, suivi d'une seconde montée jusqu'à 150° C à raison de 3° C/min, et enfin une troisième montée jusqu'à 245° C à raison de 20° C/min, température à laquelle le four est maintenu pendant 20 min.
  - Gaz vecteur : Hélium N60, débit 1ml/min.
  - Ligne de transfert : 170° C
- Spectromètre de masse (MS)
  - Température de la trappe : 150° C
  - La détection se fait en impact électronique, en SM/SM en mode MRM (Multiple Reaction Monitoring) selon les paramètres suivants :
    - 3-IBMP naturelle : ion père m/z 124 ± 1 amu, fragmenté, en mode non résonnant, avec une énergie d'excitation de 38V.

- 3-IBMP deutérée : ion père  $m/z 126 \pm 1$  amu, fragmenté, en mode non résonnant, avec une énergie d'excitation de 40V.

Les composés naturels et deutérés sont quantifiés en utilisant respectivement les ions fils  $m/z 95$  et  $m/z 97$ .

### **2.9. Evaluation sensorielle des vins**

Les vins sont dégustés entre le mois de mars et d'avril suivant la vinification à l'Institut Technique de la Vigne et du Vin de Gaillac. Le jury est composé d'au minimum 12 professionnels de la filière. Les 12 descripteurs suivants sont notés sur une échelle de 0 à 10 : intensité aromatique au nez, complexité olfactive, note fruitée au nez, note fermentaire au nez, note végétale au nez, intensité aromatique en bouche, complexité aromatique en bouche, note fruité en bouche, note végétale en bouche, quantité de tanins, persistance en bouche, note d'ensemble.

### **2.10. Analyse statistique**

Les Analyses en Composantes Principales (ACP) sont réalisées après un centrage et une réduction des variables (ACP centrée, réduite : Carrel *et al.*, 1986) à l'aide du logiciel ADE-4 développé par l'université de Lyon I. Pour aller au delà des résultats obtenus axe par axe, nous avons réalisé une classification ascendante hiérarchique (Ward's method).

### **3. Validation de la méthode Mehlich-3 pour la détermination des teneurs en phosphore assimilable et en bases échangeables de divers types de sols viticoles du Sud-Ouest de la France**

#### **3.1. Introduction**

La méthode Mehlich-3 est de plus en plus utilisée dans de nombreux états américains (Mallarino and Sawyer, 1999) car elle permet de doser le phosphore, mais aussi de nombreux éléments minéraux du sol (cations et oligo-éléments) et ce, quelque soit le type de sol.

L'objectif de notre étude étant de comparer différents types de sols entre eux, il nous est indispensable d'utiliser la même méthode quelque soit le type de sol, afin de pouvoir les comparer entre eux. De plus, la méthode d'extraction Mehlich-3 est très simple à mettre en œuvre, rapide, et permet l'extraction de nombreux éléments (K, Ca, Mg, Na, P, Cu, Fe, Mn et Zn) alors que les méthodes utilisées en France et recommandées par l'AFNOR sont souvent très longues, notamment pour la détermination des bases échangeables, et les solutions d'extraction nombreuses. Cependant, si l'on veut comparer les résultats obtenus par la méthode Mehlich-3 aux résultats disponibles dans la bibliographie française et aux tables d'interprétation des analyses de sol, il est nécessaire d'établir les corrélations entre la méthode Mehlich-3 et les méthodes couramment utilisées en France.

Dans ce but, et ayant un grand nombre d'échantillons de sol (environ 80) de provenances diverses et d'horizons pédologiques variés, il nous a semblé judicieux de valider la méthode d'extraction Mehlich-3 pour les sols viticoles du sud-ouest de la France pour la détermination des teneurs en phosphore et en bases échangeables.

#### **3.2. Article \* :**

\* Cadet *et al.*, 2003 : Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Phosphorus Dynamics in Soil-Plant Continuum, Australie, Septembre 2003

## Validation of the Mehlich-3 method to determine the amounts of phosphorus availability and exchangeable bases in diverse viticultural soils of south west France

Cadet A. ; Scheiner J. ; Favarel, J.L. ; Garcia M.

Centre de Viticulture et d'Oenologie Midi-Pyrénées  
Avenue de l'Agrobiopole - 31 326 Castanet Tolosan – France [garcia@ensat.fr](mailto:garcia@ensat.fr)

The “Association Française de Normalisation” (AFNOR) - (French Association of Standardization) - suggest the following norms of extraction : Bray and Olsen for phosphorus availability and barium chloride system for exchangeable bases. However, by using multiple methods (Bray, Olsen, Truog, Joret-Hebert, Dyer...), it is difficult to interpret the results for the phosphorus availability. The Mehlich-3 method was developed in several regions of America (Mallarino and Sawyer, 1999) because it may offer the possibility of using one extracting method for P and other nutrients across acid, neutral and calcareous soils. So, the aim of this study is to discover if there is a significant relationship with the Mehlich-3 and the methods usually used in France laboratory for several and different soils horizons (top and deep soil horizons) of the South West France region .

### Material and method

For study the vine – “terroir” – wine quality we studied 18 different “terroirs” of the major vineyards in South Western France (Cahors, Gaillac, Madiran...). For each of them we realised a soil description and an example of the different soil horizon was sampled. Each sample was tested (3 replications) with the Mehlich-3 extraction (Mehlich, 1984 ; Sims, 2000) or Bray (Bray and Kurtz, 1945) and Olsen (Olsen *et al.*, 1954) extraction for phosphorus determination and Barium chloride extraction for exchangeable bases determination (AFNOR, 1994). Available phosphorus was determined by ascorbic acid colorimetry (KUO, 1996) and exchangeable bases by spectrophotometry (emission for potassium and absorption for calcium and magnesium). We carried out analyses of Pearson correlation and equation of the linear regression was determined.

### Results and discussion

**Available phosphorus :** The results (Fig. 1) showed that a strong correlation was evident between Mehlich-3 and Bray method ( $r = 0,987^{****}$ ) for acid soils and Olsen ( $r = 0,981^{****}$ ) for calcareous soils. However, we can see that the results obtained with the Mehlich-3 method are greater than those obtained with Olsen and lower than those obtained with Bray. These results permit us to use the Mehlich-3 method for acid analysis and calcareous top or deep soils. In that way, we are able to compare the available phosphorus contents of the different “terroirs”, tested with only one method.

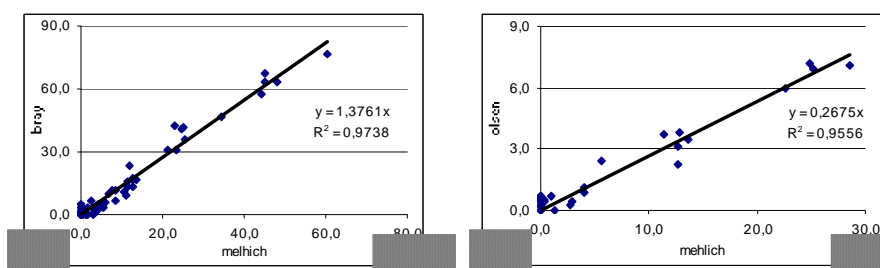


Fig. 1 : Linear relationship between the available phosphorus rate (mg/kg) obtained with the Mehlich-3 and the Bray method (A : neutral and acid soils), or the Olsen method (B: calcareous soils).

**Exchangeable bases** : For the exchangeable potassium and magnesium (Fig. 2) we showed a good correlation (respectively  $r = 0,820^{****}$  and  $r = 0,961^{****}$ ) between the Mehlich-3 and the Barium chloride extractions. The results also show that the magnesium rate obtained is similar for the two methods but concerning for the potassium rates, we observed it was lower for the mehlich-3 extraction.

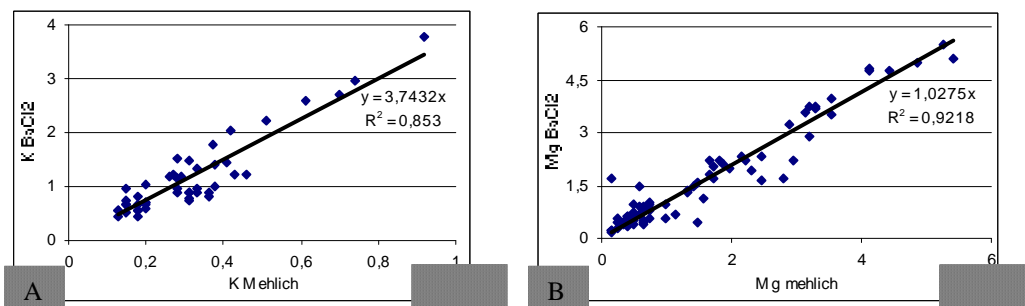


Fig. 2 : Linear relationship between the exchangeable potassium rate (A) and the exchangeable magnesium rate (B) obtained with the Mehlich-3 and the barium chloride method : acid, neutral and calcareous soils.

Concerning the exchangeable calcium the Mehlich-3 method is strongly correlated ( $r = 0,959^{****}$ ) with the Barium chloride method for acid or neutral soils (Ca < 15 meq/100g with BaCl<sub>2</sub> method) but weakly correlated ( $r = 0,435^*$ ) for the calcareous soils. Also we can see that Mehlich-3 method is less sensitive for the lowest and the highest concentration of calcium (Ca < 3 meq/100g and Ca > 15 meq/100g).

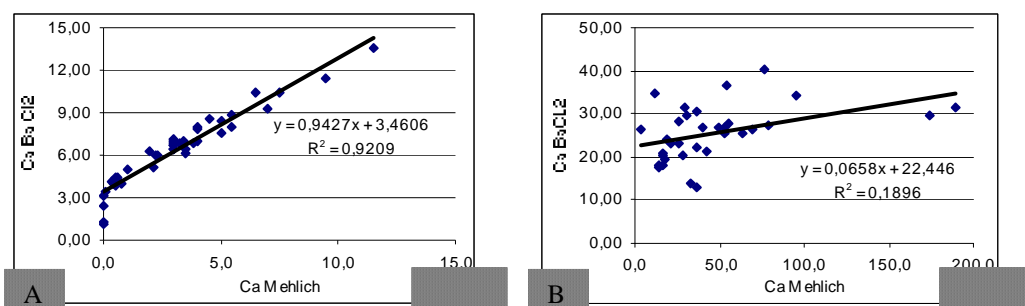


Fig. 3 : Linear relationship between the exchangeable calcium rate (meq/100g) obtained with the Mehlich-3 and the barium chloride method : acid and neutral soils (A) or calcareous soils (B)

### Conclusion

This work show that Mehlich-3 extraction can be used for soil test phosphorus, potassium and magnesium in our region. However, for the determination of calcium content, this method can be applied just for acid or neutral soils but not for calcareous soils which have a high calcium content.

Indeed, this methods presents many advantages, so can be used easily for soil analysis : available phosphorus, exchangeable bases and micronutrients. These results suggest using the Mehlich-3 method on a routine basis for soil test phosphorus and maintain our interpretation tables of soil test value. This method can replace the others ones used in several laboratories in South West France.

### 3.3. Discussion

L'étude a été effectuée sur environ 80 échantillons de sol provenant des différents terroirs de la région :

- A.O.C. Cahors : l'ensemble des 9 terroirs de l'appellation (Garcia *et al.*, 2002, Besnard, 2003) a été analysé. Les sols proviennent des terrasses alluviales du Lot (basse, moyenne et haute terrasse), d'éboulis calcaires, du haut niveau quaternaire ancien, du versant et du plateau calcaire (Oxfordien-Kimméridgien), du plateau marno-calcaire (Portlandien) et du plaquage sidérolithique.
- A.O.C. Marcillac : cinq types de sol ont été prélevés, ils proviennent de Rougiers plus ou moins recarbonatés et des plateaux et versants calcaires (Lias inférieur et Rhétien).
- A.O.C. Gaillac : Quatre types de sols ont été échantillonnés, ils proviennent des terrasses alluviales de la rive droite et de la rive gauche du Tarn (basse et moyenne terrasses), du coteau et du plateau calcaire de Cordes (Oligocène).
- A.O.C. Fronton : Un seul échantillon est prélevé, il est issu de la moyenne terrasse du Tarn.
- A.O.C. Madiran : trois échantillons sont récoltés, ce sont des sols colluviaux sur molasse (Helvétien).
- A.O.V.D.Q.S. Coteaux du Brulhois : un seul échantillon est analysé, il provient de la moyenne terrasse de la Garonne.

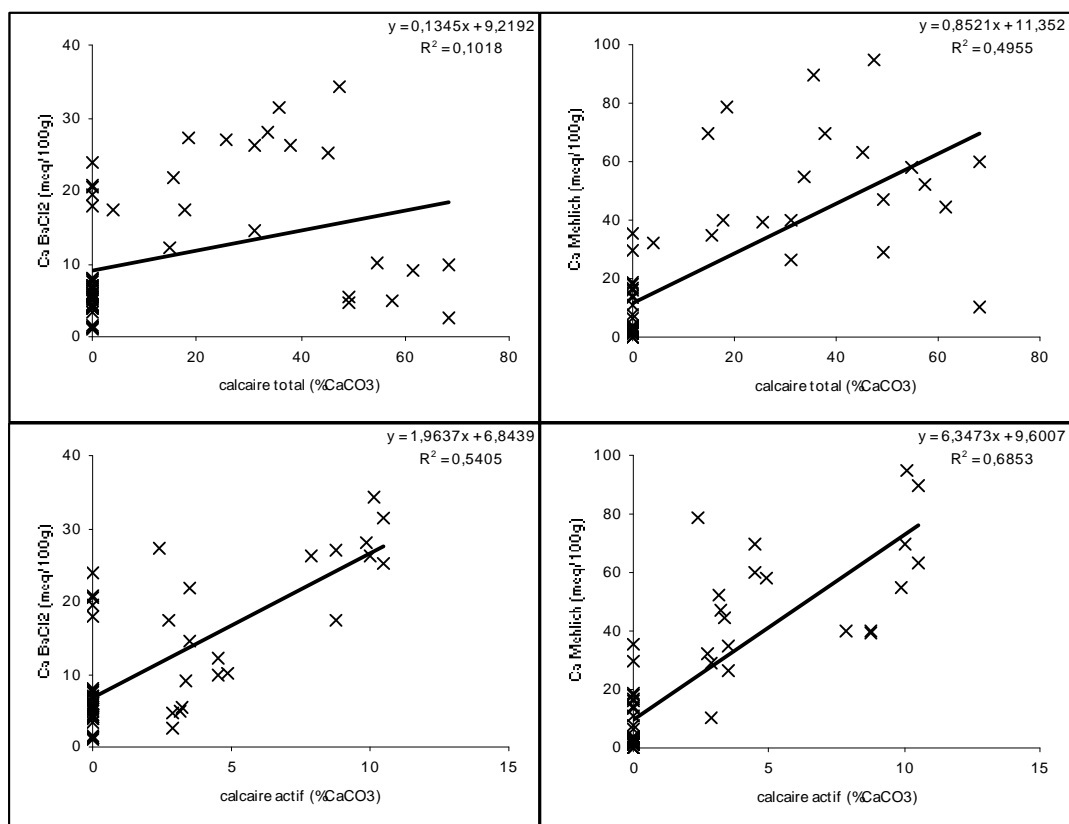
La majorité des sols caractéristiques de la région est donc considérée. De plus, pour chaque type de sol, chaque horizon pédologique est analysé séparément, ce qui nous permet de travailler sur une large gamme de teneurs en différents éléments minéraux et sur des échantillons aux caractéristiques physico-chimiques très variables.

Les résultats montrent qu'il existe une forte corrélation entre les résultats obtenus par la méthode Mehlich-3 et les méthodes Bray et Olsen, pour le phosphore, et celle au Chlorure de Baryum, pour les cations à l'exception du calcium pour les sols calcaires. Cependant, le dosage du calcium n'a pas grand intérêt pour les sols calcaires qui sont par définition riches en calcium. Aussi, pour ce type de sol, les teneurs en calcaire total et surtout en calcaire actif



sont primordiales pour l'interprétation des analyses de sol et l'adaptation du système de conduite, notamment pour le choix du porte-greffe en viticulture.

D'ailleurs, la méthode Mehlich-3 donne de meilleures corrélations entre les teneurs en calcium des sols et leurs teneurs en calcaire total et actif que la méthode au chlorure de baryum (figure 4). Les résultats de l'analyse statistiques des corrélations (Pearson) sont donnés dans le tableau 4.



**Figure 4.** Relations linéaires obtenues entre les teneurs en calcaire total et actif des sols et leurs teneurs en calcium, déterminées par la méthode Mehlich-3 et la méthode au chlorure au chlorure de Baryum

**Tableau 4.** Coefficient de corrélations (Pearson) obtenues entre les teneurs en calcaire total et actif des sols et leurs teneurs en calcium, déterminées par la méthode Mehlich-3 et la méthode au chlorure au chlorure de Baryum

	Ca Mehlich	Ca BaCl2
Calcaire Total	+ 0,704***	+ 0,319*
Calcaire Actif	+ 0,828***	+ 0,735***

Par conséquent, nous pensons que la méthode Mehlich-3 peut-être utilisée en routine pour l'analyse des sols viticoles de la région. En effet, il est désormais possible d'interpréter les résultats obtenus par cette méthode et de les comparer avec les résultats disponibles dans la bibliographie française. De plus, cette méthode permettra un gain de temps considérable et une mise en œuvre plus simple (une seule solution d'extraction utilisée au lieu de 3 habituellement nécessaires).

Cependant, il faut noter que cette méthode ne permet pas la détermination de la capacité d'échange cationique (CEC) et qu'il serait intéressant de la valider pour les oligo-éléments.

## **CHAPITRE 3**

---

# **ETUDE DE LA NUTRITION CATIONIQUE EN CULTURE HORS-SOL**

## 1. Objectifs de l'étude

Comme nous l'avons déjà signalé, le Fer Servadou est un cépage assez répandu dans le sud-ouest de la France. A notre connaissance, aucune étude sur ce cépage n'est disponible dans la bibliographie.

Nous avons vu dans la synthèse bibliographique que la nutrition minérale de la vigne est fonction :

- du cépage : chaque cépage se caractérise par des aptitudes génétiques qui lui sont propres, et l'absorption et les besoins en éléments minéraux diffèrent selon le cépage mais aussi selon le clone (Scienza *et al.* 1986 ; Fardossi *et al.*, 1994 ; Bouzai *et al.*, 2000),
- du porte-greffe : pour les mêmes raisons, chaque porte-greffe possède des aptitudes différentes (absorption plus ou moins facilitée de certains éléments minéraux, résistance à la sécheresse et à la chlorose) (Lehoczky et Kocsis., 1998 ; Kocsis et Lehoczky., 2000),
- des caractéristiques physico-chimiques du sol : elles influencent l'enracinement de la vigne (pénétration plus ou moins facile, présence de nappe perchée temporaire, asphyxie racinaire) et la nutrition hydro-minérale (capacité de rétention du sol, fertilité du sol, biodisponibilité des éléments minéraux, antagonismes et synergie entre les différents éléments) (Bogoni *et al.*, 1995 ; Faraj *et al.* , 1997),
- du climat : il conditionne principalement la nutrition hydrique par la régularité et la quantité des précipitations, et par l'évapo-transpiration du sol et de la plante liée aux températures ; il conditionne aussi la biodisponibilité des éléments minéraux (par exemple le magnésium, fortement hydraté est difficilement absorbable par la plante) et les besoins de la plante (effet de la température sur le métabolisme par exemple) (Duering et Oggionni, 1986 ; Duteau et Detomasi, 1987),
- du mode de culture : la fertilisation (Champagnol, 1988), le travail du sol (terrassage, enherbement, labour, sous-solage, désherbage...) (Fardossi *et al.*, 1996 ; Schaller, 1999), les travaux en vert (taille, rognage, effeuillage, échardage...) (Iacono *et al.*, 1995 ) ainsi que toutes les autres techniques viticoles sont susceptibles d'influencer la nutrition hydrique et minérale.

D'autre part, la nutrition minérale de la vigne influence fortement sa physiologie (Sarmiento *et al.*, 1992) et la qualité des vins (Failla *et al.*, 1996 ; Geny *et al.*, 1997) du fait du rôle essentiel des éléments minéraux dans le métabolisme de la plante (Miller, 1986).

Etant donné que la nutrition minérale, et particulièrement la nutrition cationique, est principalement fonction du cépage et qu'elle influence fortement la qualité des vins, il nous paraît indispensable de déterminer les besoins spécifiques du cépage Fer Servadou. En effet, une meilleure connaissance de la nutrition minérale de ce cépage permettra d'une part d'interpréter correctement le diagnostic foliaire, et d'autre part, de conseiller aux viticulteurs une fertilisation vraiment adaptée.

L'étude de la nutrition minérale de la vigne est très complexe à mettre en oeuvre sur le terrain, du fait de la multitude de facteurs intervenants. Aussi, nous avons opté pour une expérimentation en culture hydroponique stricte, qui permet de supprimer un grand nombre de facteurs environnementaux tel que le sol et le climat. De plus, ce mode de culture permet une croissance rapide de la vigne (8 semaines) quelle que soit la saison et offre la possibilité de tester un grand nombre de solutions nutritives de compositions différentes.

La vigne est une plante pérenne, et la production de raisins ne débute qu'après plusieurs années de cultures (2 à 3 ans). Par conséquent, une étude en culture hydroponique de courte durée ne permet pas l'étude des fructifications. Aussi, nous nous contenterons d'étudier l'effet des différents équilibres cationiques sur la croissance, la production de biomasse et l'alimentation minérale.

Ne disposant pas de références bibliographiques sur le Fer Servadou, il nous a semblé judicieux de le comparer à un autre cépage cultivé dans les mêmes conditions. Nous avons opté pour le Cabernet Sauvignon, car il est issu de la même famille ampélographique (les Carmenets) et il est très répandu dans le monde viticole, et donc très étudié. De plus, ce cépage produit également des raisins contenant parfois de fortes teneurs en IBMP.

Afin d'étudier l'effet du porte-greffe, nous avons également mis en place une expérimentation en culture hors-sol sur support. Ce type de culture permet la croissance de la vigne pendant plusieurs années, et par conséquent l'étude des fructifications. Cependant, les plantes étant alimentées par un système d'irrigation, seul un nombre restreint de solutions

peut être testé. Malheureusement, cette expérimentation n'a pu être menée à terme car les greffés-soudés implantés en 2001 dans l'abris grillagé de l'ENSAT ont gelé au cours de l'hiver 2002-2003.

Dans ce chapitre, les résultats obtenus en culture hydroponique seront présentés sous la forme d'un article, puis seront discutés et complétés par les résultats qui ont pu être obtenus en culture sur support.

## **2. Résultats (Article\*)**

\* publication prévue dans la revue Journal of Plant Nutrition

Voir page suivante.

NB : Les références bibliographiques citées dans cet article ont été intégrées à la bibliographie de ce manuscrit.

## EFFECT OF DIFFERENT RATIOS OF POTASSIUM, CALCIUM AND MAGNESIUM ON GRAPES GROWN HYDROPONICALLY

Alexandra Cadet <sup>1\*</sup>, Jean-Luc Favarel <sup>2</sup>, and Marc Garcia <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre d'Oenologie Midi-Pyrénées, av. de l'agrobiopole, 31326 Castanet-Tolosan, France

<sup>2</sup> Institut Technique de la Vigne et du Vin de Midi-Pyrénées

### ABSTRACT

The plantation of *Vitis vinifera* L. cv. Fer Servadou (FS), an indigenous wine variety of South West France, is significant and constantly growing in this region. In order to allow us to understand the mineral nutrition physiology of FS more fully, we carried out an experiment in hydroponic culture under controlled conditions. Compared to Cabernet Sauvignon, FS is characterized by a higher capacity for K and Mg uptake but lower for Ca uptake, and Mg inhibits the K and Ca uptake. However, for FS, clone 556 presents a higher capacity for K uptake but a lower capacity for Mg uptake than clone 420. Likewise, these results reveal that the mineral nutrition physiology differs, depending on the cultivars. We have also shown that, under optimum growing conditions, the cationic nutrition has little effect on growth but that temperature and light can play an important part.

**Keywords :** *Vitis vinifera* L. ; Fer Servadou ; Cabernet Sauvignon ; Mineral nutrition, hydroponic culture.

### INTRODUCTION

The plantation of *Vitis vinifera* L. cv. Fer Servadou (syno. Braucole), an indigenous wine variety of South West France, is significant and constantly growing in this region. It is recommended in several "Appellations d'Origine Contrôlées" (A.O.C.) decrees: it is the dominant variety for the "Marcillac" appellation (Aveyron), it is also used as the second variety in the appellations of Gaillac, (where it is often called Brocole or Braucole) and Fronton, and as a minor ingredient of Madiran (where it is known as Pinenc). In fact, it is of utmost importance to the regions' wine growers that a study should take place on this variety, thus increasing their knowledge and mastery of the varied characteristics of Fer Servadou.

It has been shown that cationic nutrition differs depending on the vine variety (Garcia *et al.*, 1999 ; Himelrick, 1991) and several authors report that mineral nutrition of the vine can

play an important part in grape metabolism and consequently improve the quality of wines : bicarbonate and iron affect citrate and malate concentration in roots (Ollat *et al.*, 2003) ; potassium and nitrogen modify polyamines metabolism (Geny *et al.*, 1996 and 1997) ; potassium influences the must and wine acidity (Cadet et Garcia, 2003) ; nitrogen has a significant effect on free and bound monoterpenes, and increases alcohol and esters concentrations in Riesling wines (Webster *et al.*, 1993). For this reasons, we believe that a study of mineral nutrition of our indigenous vine varieties is important if we want to ameliorate the quality of our regional wine.

In order to allow us to understand more fully the mineral nutrition physiology of FS, we carried out an experiment in hydroponic culture under controlled conditions (light, temperature and humidity), which permits us to eliminate effects of soil and climatic conditions and to profile the physiology of the cationic nutrition. We investigated effects of different nutrient solutions on growth, dry matter and leaf cation content of the FS variety. The results of the first experiment carried out in 2001, where the effect of various K-Ca and K-Mg ratio was studied for FS, encouraged us to carry out another experiment where the effect of Ca-Mg ratio was also studied. At the same time, we decided to compare FS to Cabernet Sauvignon (CS) within the same family (Carmenets), already much studied.

## MATERIALS AND METHODS

### Experimental Setup :

For each experiment, hydroponic culture was carried out for eight weeks in a conditioned greenhouse: temperature at  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , 40% relative humidity, light exposure from 7 am to 9 pm. Two grafted-scions were placed in a 6 liter pot containing 5 liters of nutrient solution, oxygenated by an intermittent air bubbling, and changed every week.

In 2001, the experiment was carried out on *Vitis vinifera* L. cv. Fer Servadou clone 556 grafted on the 3309C rootstock. 9 nutrient solutions were tested: 1 control solution (2.1K:6.7Ca:2.0Mg), 4 solutions on which the K-Mg ratio is variable (0.3K:3.8Mg, 1.2K:2.9Mg, 2.9K:1.2Mg, 3.8K:0.3Mg), and 4 solutions on which the K-Ca ratio is variable (0.3K:8.5Ca, 1.4K:7.4Ca, 4.5K:4.3Ca, 7.3K:1.5Ca). For each solution we tested 8 plants in 4 pots.

In 2003, the first experiment was repeated on *Vitis vinifera* L. cv. Fer Servadou clone 420 grafted on the 3309C rootstock, with the following nutrient solutions: control



(2.1K:6.7Ca:2.0Mg), 0.3K:3.8Mg, 3.8K:0.3Mg, 0.3K:8.5Ca and 4.5K:4.3Ca, and 4 new solutions in which the Ca-Mg ratio is variable (2.6Ca:6.1Mg, 4.0Ca:4.7Mg, 7.7Ca:1.0Mg, 8.4Ca:0.3Mg). The same experiment was carried out on *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon clone 337 grafted on the 3309C rootstock, with all the nutrient solutions already tested with Fer Servadou. The composition of all the nutrient solutions only differed in their concentration of potassium, calcium and magnesium concentrations, thus the cationic and the anionic sum remains 11.8 meq/l ( $K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + NH_4^+ = NO_3^- + SO_4^{2-} + H_2PO_4^- = 11.8$ ). Table 1 gives details for K, Ca and Mg concentrations for each solution. The following concentrations for the other macro-nutrients (meq/l) and micro-nutrients (mg/l) were used:  $NH_4^+$ : 1,  $NO_3^-$ : 8.8,  $SO_4^{2-}$ : 2,  $H_2PO_4^-$ : 1 and Fe: 5, Mn: 0.65, Mo: 0.03, B:0.3, Zn :0.14, Cu: 0.05.

During the culture, we left only 2 shoots per plant, any flowers and lateral shoots were removed.

**Table 1.** Potassium, calcium and magnesium concentrations of the different nutrient solutions tested.

	<i>Potassium</i> (meq/l)	<i>Calcium</i> (meq/l)	<i>Magnesium</i> (meq/l)
2.1K:6.7Ca:2.0Mg	<b>2.1</b>	<b>6.7</b>	<b>2.0</b>
0,3K:3.8Mg	0.3	<b>6.7</b>	3.8
1.2K:2.9Mg	1.2	<b>6.7</b>	2.9
2.9K:1.2Mg	2.9	<b>6.7</b>	1.2
3.8K:0.3Mg	3.8	<b>6.7</b>	0.3
0.3K:8.5Ca	0.3	8.5	<b>2.0</b>
1.4K:7.7Ca	1.4	7.7	<b>2.0</b>
4.5K:4.3Ca	4.5	4.3	<b>2.0</b>
7.3K:1.5Ca	7.3	1.5	<b>2.0</b>
2.6Ca:6.1Mg	<b>2.1</b>	2.6	6.1
4.0Ca:4.7Mg	<b>2.1</b>	4.0	4.7
7.7Ca:1.0Mg	<b>2.1</b>	7.7	1.0
8.4Ca:0.3Mg	<b>2.1</b>	8.4	0.3

### Plant Analysis:

For each plant, after 2 months of culture, the length of the shoots was measured, while roots, shoots, petioles, young (1st third of shoots) and aged leaves were separated and weighed before and after drying (48 hours, 60°C). Only the leaves were analyzed: after being ground and ashed (550°C), the ashes were dissolved in HCl, and the K, Ca and Mg contents of the leaves were determined by atomic absorption or emission (spectrophotometer Perking Elmer 280).

**Statistical Analysis:**

Significant differences of the variances (Anova one way) and “Spearman correlations” were determined by SIGMASTAT 2.03 software. The two plants in each pot were analysed separately, but the average of both was used for statistical analysis.

**RESULTS AND DISCUSSION****Visual Diagnosis of Nutritional Disorders:**

For Cabernet Sauvignon (CS) no visual symptoms of nutritional disorders appeared during the 2 months. For Fer Servadou (FS), typical symptoms of Mg deficiency (interveinal blotches) appear on old leaves after 4 weeks for all plants growing in solution 3.8K:0.3Mg in 2001 and also in solutions 7.7Ca:1.0Mg and 8.4Ca:0.3Mg in 2003. In 2001, three plants growing in solution 0.3K:3.8Mg and five plants growing in solution 0.3K:8.5Ca present typical symptoms of K deficiency (tip scorches and marginal necrosis) on old leaves, only the last week of culture. All plants growing on the 7.3K:1.5Ca solution present symptoms of Ca deficiency (chlorosis on soft young leaves) the last week of culture.

**Shoot Length:**

Firstly, table 2 shows that in 2001 the shoots of FS are significantly longer than those of 2003. We cannot clearly explain this difference (growth in 2001 was nearly 3 times that of 2003) but the first experiment (2001) was started in the middle of April, and the second (2003) in the beginning of March. We believe that the outside climatic conditions were warmer during the first experiment as, even when the greenhouse is air-conditioned, temperatures can vary by several degrees (inside temperature regulated to  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) and the intensity of natural light, despite the sodium lamps and a sun-blind, still remains poorly controlled. We can also speculate if artificial light is as efficient as natural light. In addition, culture conditions during experiments are optimal and plant growth under such conditions is very rapid. An increase in temperature and intensity of natural light, however weak, can stimulate growth and consequently increase consumption of water and mineral elements. Besides, we observed an increase in nutritive solution consumption during the experiment of 2001. Consequently, as the conditions of light and temperature were better in 2001, this could have helped the growth of the vine and therefore increased the need for water and other mineral elements.

**Table 2.** Mean, standard deviation (Std dev) and significant differences (SD) obtained for the length of shoots.  
FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

Solution	FS 01			FS 03			CS 03		
	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*
2.1K:6.7Ca:2Mg	320,00	63,90	ab	95,33	11,58	a	108,50	22,52	ef
0.3K:3.8Mg	248,50	85,04	b	83,00	21,22	a	121,25	44,43	def
1.2K:2.9Mg	319,63	27,15	ab				135,25	19,26	bc
2.9K:1.2Mg	354,13	76,29	ab				107,50	20,07	ef
3.8K:0.3Mg	371,25	37,05	ab	125,00	42,30	a	97,75	18,32	fg
0.3K:8.5Ca	336,88	56,91	ab	105,50	23,88	a	114,25	23,08	def
1.4K:7.4Ca	342,50	50,74	ab				161,75	29,74	b
4.5K:4.3Ca	420,00	7,36	a				150,25	34,88	bc
7.3K:1.5Ca	306,88	24,10	b	103,83	32,79	a	144,00	23,08	bcd
2.6Ca:6.1Mg				87,00	13,16	a	65,75	27,61	g
4.0Ca:4.7Mg				154,33	53,43	a	218,75	55,51	a
7.7Ca:1.0Mg				117,00	69,67	a	149,00	27,17	bc
8.4Ca:0.3Mg				141,67	48,23	a	197,25	29,50	ab

\* there is a significant difference between the treatment when the letter is different

On the other hand, we can corroborate that clone 556 is more vigorous than clone 420 (Boidron *et al.*, 1995).

Lastly, in practice, Fer Servadou is well known for its changeability in production, and this effect is confirmed because we observed some high variances for this cultivar particularly in 2001.

Despite this difference between the two experiments, results show that the different solutions only have a small impact on growth, although certain significant differences were found (table 2).

Increasing the K-Mg ratio: Growth increases for FS, but for CS, growth first increases then decreases when Mg decrease in solution (2.1K:2.0Mg, 2.9K:1.2Mg and 3.8K:0.3Mg solutions). Therefore, FS is sensitive to K deficiency or Mg excess (lower growth for 0.3K:3.8Mg) and CS is more sensitive to Mg deficiency or K excess (lower growth for 3.8K:0.3Mg).

Increasing the K-Ca ratio: FS growth is strengthened when the K-Ca ratio is nearly equal to 1 (4.5K:4.3Ca solution) and CS growth is lower for control solution (2.1K:6.7Ca) and for the K deficient solution (0.3K:8.5Ca solution).

Increasing the Ca-Mg ratio: This ratio has the highest impact on growth and the two vine varieties tested have the same reaction: growth tends to increase when Ca increases and Mg decreases in solution. This Ca-Mg ratio seems to play an important part on plant growing: excess of Mg inhibits growth, but Ca excess strengthens it. Therefore, plants cultivated in 4.0Ca:4.7Mg solution grow better because Ca-Mg ratio is nearly equal to 1. These results show that FS and CS growth is affected by Ca deficiencies but not by Mg deficiencies.

In 2003, we also studied the kinetic of growth (figure 1). Results show that growth is at first similar for all solution (first four weeks of culture) perhaps due to the reserves of the scion. For FS, growth slows down as early as the fourth week when solutions 0.3K:3.8Mg and 2.6Ca:6.1Mg were used and as early as the fifth week for the 0.3K:8.5Ca, 7.3K:1.5Ca, and control solutions. Nevertheless, Mg deficiency (3.8K:0.3Mg and 8.4Ca:0.3Mg solutions) never induces a reduction of growth. For CS, growth is more linear than those of FS and the growth slows down as early as the fourth week only for the solution 0.3K:8.5Ca.

The combination of all these results show that FS growth is clearly affected by high level of magnesium associated with low K (0.3K:3.8Mg solution) or Ca (2.6Ca:6.1Mg solution) concentrations. It differs significantly from CS, which present a higher growth and are affected by Mg and Ca deficiency (3.8K:0.3Mg and 2.6Ca:6.1Mg). Inversely, growth is promoted in the two varieties when 4.0Ca:4.7Mg (solution weakly Ca deficient and Mg exceed) and 8.4Ca:0.3Mg solutions (solution highly Mg deficient and Ca exceed) are used.

#### **Total Dry Matter (DM):**

Table 3 shows that results obtained for dry matter are the same as those obtained for the length of shoots and highly significant correlations were found ( $r=0,723$ ,  $p<1\%$  and  $r=0,697$ ,  $p<1\%$  for FS respectively in 2001 and 2003, and  $r=0,873$ ,  $p<1\%$  for CS). Concerning FS, the difference between 2001 and 2003 is also significant, but lower for total dry matter (less than twice in 2001). We observed some differences between results obtained for the length of the shoots and the total dry matter for the following solutions: 3.8K:0.3Mg (high growth, low DM), 4.5K:4.3Ca (high growth, medium DM), 1.2K:2.9Mg (weak growth, high DM), 1.4K:7.4Ca (medium growth, high DM). Thus, we can say that K has a stronger effect on growth than on dry matter and inversely Ca and Mg particularly affect dry matter.

#### **Potassium Content (table 4 and 5) :**

Like growth and dry matter, K leaves content is significantly higher for FS in 2001 than in 2003. K plays an important part on plant water relation (Hsiao and Läuchli, 1986) and plant growth (Green and Muir, 1979). In this experiment, higher natural light and temperature in the greenhouse promote growth (effect particularly important on shoots length but less on dry matter) and induce an increase of water consumption and consequently K uptake. Also, we assume that clone 556 is more vigorous because its K uptake capacity is higher than those of clone 420.

**Table 3.** Mean, standard deviation (Std dev) and significant differences (SD) obtained for the total dry matter. FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

Solution	FS 01			FS 03			CS 03		
	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*
2.1K:6.7Ca:2Mg	32,44	9,25	a	9,55	1,01	a	17,79	1,34	cd
0.3K:3.8Mg	17,16	5,47	b	10,37	1,19	a	16,99	2,34	e
1.2K:2.9Mg	34,27	2,59	a				19,03	1,79	cd
2.9K:1.2Mg	36,81	8,88	a				18,57	0,81	cd
3.8K:0.3Mg	32,66	4,89	a	18,55	6,36	a	16,90	2,14	d
0.3K:8.5Ca	35,32	7,73	a	19,82	5,84	a	17,60	0,74	d
1.4K:7.4Ca	40,75	3,17	a				23,54	2,38	b
4.5K:4.3Ca	38,86	0,91	a				23,27	1,65	b
7.3K:1.5Ca	32,47	8,09	a	15,18	3,65	a	19,07	1,95	cd
2.6Ca:6.1Mg				10,27	2,53	a	13,19	2,56	e
4.0Ca:4.7Mg				19,84	8,87	a	29,72	2,65	a
7.7Ca:1.0Mg				14,64	3,25	a	21,16	4,48	bc
8.4Ca:0.3Mg				22,78	7,62	a	29,17	2,88	a

\* there is a significant difference between the treatment when the letter is different

**Table 4.** Mean, standard deviation (Std dev) and significant differences (SD) obtained for the K content of the young leaves. FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

Solution	FS 01			FS 03			CS 03		
	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*
2.1K:6.7Ca:2Mg	2,19	0,28	bc	1,64	0,14	abc	1,43	0,12	bcd
0.3K:3.8Mg	1,20	0,34	d	1,09	0,23	c	0,83	0,23	f
1.2K:2.9Mg	1,64	0,20	cd				1,14	0,20	def
2.9K:1.2Mg	2,22	0,23	bc				1,34	0,22	cd
3.8K:0.3Mg	2,61	0,13	ab	1,82	0,14	abc	1,64	0,18	abc
0.3K:8.5Ca	1,33	0,12	d	1,07	0,03	c	0,92	0,17	ef
1.4K:7.4Ca	2,16	0,67	bc				1,54	0,30	abc
4.5K:4.3Ca	2,53	0,37	ab				1,59	0,33	abc
7.3K:1.5Ca	3,10	0,19	a	1,91	0,10	a	2,13	0,24	a
2.6Ca:6.1Mg				1,18	0,06	abc	1,18	0,28	de
4.0Ca:4.7Mg				1,63	0,18	abc	1,70	0,16	ab
7.7Ca:1.0Mg				1,59	0,64	abc	1,51	0,20	bc
8.4Ca:0.3Mg				1,66	0,13	abc	1,85	0,17	a

\* there is a significant difference between the treatment when the letter is different

**Table 5.** Mean, standard deviation (Std dev) and significant differences (SD) obtained for the K content of the old leaves. FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

Solution	FS 01			FS 03			CS 03		
	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*
2.1K:6.7Ca:2Mg	2,17	0,54	b	1,65	0,11	ab	1,06	0,16	def
0.3K:3.8Mg	1,01	0,42	c	0,87	0,34	c	0,61	0,08	g
1.2K:2.9Mg	1,84	0,27	b				0,98	0,19	ef
2.9K:1.2Mg	2,42	0,22	b				1,28	0,18	cd
3.8K:0.3Mg	3,21	0,13	a	1,80	0,14	ab	1,46	0,12	bc
0.3K:8.5Ca	1,05	0,08	c	0,90	0,04	c	0,81	0,10	fg
1.4K:7.4Ca	2,14	0,13	b				1,21	0,10	cde
4.5K:4.3Ca	3,17	0,24	a				1,77	0,25	bc
7.3K:1.5Ca	3,62	0,36	a	1,98	0,11	a	2,11	0,25	a
2.6Ca:6.1Mg				1,31	0,07	bc	1,18	0,21	cde
4.0Ca:4.7Mg				1,47	0,24	ab	1,27	0,24	cd
7.7Ca:1.0Mg				1,82	0,30	ab	1,44	0,27	bc
8.4Ca:0.3Mg				1,80	0,04	ab	1,58	0,25	b

\* there is a significant difference between the treatment when the letter is different

Except for solution 7.3K:1.5Ca (highest K/Ca), in 2003 K leaves content is higher for FS than for CS and the differences are significant for the old leaves. For the two vine varieties, K leaves content is up to 1 % of DM (except for CS in seriously K deficient solutions) and always above the critical values proposed by Champagnol (1990) or by Sarmiento *et al.* (1992), but same results have been found for the Négrette variety under the same culture conditions (Daverede and Garcia, 1997). So, CS and particularly FS present a high capacity for K uptake and storage.

For CS, K contents are generally higher for the young leaves than for the old ones (except 2.6Ca:6.1Mg and 4.5K:4.3Ca) but, for FS, K contents are usually lower in the young leaves except when K is deficient (0.3K:3.8Mg and 0.3K:8.5Ca) and we can affirm that K transfer from old to young leaves is more efficient in the CS variety.

Increasing the K-Mg and K-Ca ratios: The K leaves content depends on the concentration of K in solution, but the increase is more important for the lowest (1.2K:2.9Mg and 1.4K:7.4Ca) and the highest (3.8K:0.3Mg and 7.3K:1.5Ca) K concentrations. For CS, even if the difference is not significant (table 4 and 5), the K leaves content is higher when Ca concentration is high (0.3K:8.5Ca and 1.4K:7.4Ca) than when Mg concentration is high (0.3K:3.8Mg and 1.2K:2.9Mg), for the same K concentrations in solution. Therefore, CS presents a stronger K-Mg antagonism than FS.

**Table 6.** Correlation coefficients (Spearman) obtained between solution cations contents (K sol, Ca sol and Mg sol) and young leaves cations contents (K YL, Ca YL and Mg YL) or old leaves cations contents (K OL, Ca OL and Mg OL). FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

	Solution		K YL	K OL	Ca YL	Ca OL	Mg YL	Mg OL
FS 01	K/Mg ↗	K sol	+ 0,889***	+ 0,901***	<b>+ 0,715***</b>	<b>+ 0,552*</b>	- 0,865***	- 0,932***
		Mg sol	- 0,889***	- 0,901***	<b>- 0,715***</b>	<b>- 0,552*</b>	+ 0,865***	+ 0,932***
	K/Ca ↗	K sol	+ 0,889***	+ 0,938***	- 0,460*	-0,773***	<b>+ 0,587**</b>	ns
		Ca sol	- 0,889***	+ 0,938***	- 0,460*	- 0,773***	<b>- 0,587**</b>	ns
FS 03	Ca/Mg ↗	Ca sol	<b>+ 0,623*</b>	<b>+ 0,803***</b>	+ 0,767***	ns	- 0,906***	- 0,982***
		Mg sol	<b>- 0,623*</b>	<b>- 0,803***</b>	- 0,767***	ns	+ 0,906***	+ 0,982***
CS 03	K/Mg ↗	K sol	+ 0,804***	+ 0,897***	ns	<b>- 0,528*</b>	- 0,878***	- 0,921***
		Mg sol	- 0,804***	- 0,897***	ns	<b>+ 0,528*</b>	+ 0,878***	+ 0,921***
	K/Ca ↗	K sol	+ 0,856***	+ 0,890***	- 0,746***	- 0,718***	<b>+ 0,727***</b>	ns
		Ca sol	- 0,856***	- 0,890***	+ 0,746***	+ 0,718***	<b>- 0,727***</b>	ns
	Ca/Mg ↗	Ca sol	<b>+ 0,533*</b>	<b>+ 0,498*</b>	+ 0,661**	+ 0,780***	- 0,966***	- 0,936***
		Mg sol	<b>- 0,533*</b>	<b>- 0,498*</b>	- 0,661**	- 0,780***	+ 0,966***	+ 0,936***

\* p ≤ 5%, \*\* p ≤ 1%, \*\*\* p ≤ 1%, ns : no significant correlation

Increasing the Ca-Mg ratio: K in solution is regular, but K leaves content increase significantly when Mg decreases in solution, and there is a negative significant correlation between K leaves content and Mg in solution (table 6). Thus, the K-Mg antagonism is stronger than K-Ca antagonism.

**Table 7.** Correlation coefficients (Spearman) obtained between the cation concentrations of solution (K sol, Ca sol and Mg sol) and young leaves cation contents (K YL, Ca YL and Mg YL) or old leaves cation contents (K OL, Ca OL and Mg OL). FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

		K YL	K OL	Ca YL	Ca OL	Mg YL	Mg OL
K sol	FS 01	+ 0,879***	+ 0,943***	ns	ns	ns	ns
	FS 03	+ 0,740***	+ 0,795***	- 0,445*	- 0,444*	ns	ns
	CS 03	+ 0,636***	+ 0,803***	- 0,480***	- 0,516***	ns	ns
Ca sol	FS 01	- 0,607***	- 0,692***	+ 0,338*	+ 0,581***	- 0,369*	ns
	FS 03	ns	ns	+ 0,677***	+ 0,647***	- 0,740***	- 0,622***
	CS 03	ns	- 0,295*	+ 0,689***	+ 0,758***	- 0,725***	- 0,556***
Mg sol	FS 01	- 0,530***	- 0,569***	- 0,446**	- 0,373*	+ 0,671***	+ 0,801***
	FS 03	- 0,555***	- 0,420*	- 0,385*	ns	+ 0,885***	+ 0,968***
	CS 03	- 0,384**	- 0,433**	- 0,324*	- 0,321*	+ 0,893***	+ 0,887***

\* p ≤ 5%, \*\* p ≤ 1%, \*\*\* p ≤ 1%, ns : no significant correlation

**Table 8.** Correlation coefficients (Spearman) obtained between the young leaves cation contents (K YL, Ca YL and Mg YL) and the old leaves cation contents (K OL, Ca OL and Mg OL). FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 02 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

		K YL	Ca YL	Mg YL	K OL	Ca OL	Mg OL
K YL	FS 01	/	ns	ns	+ 0,847***	/	/
	FS 03	ns	ns	ns	+ 0,873***	/	/
	CS 03	-0,408	-0,408	ns	+ 0,832***	/	/
Ca YL	FS 01	ns	/	- 0,664***	/	+ 0,470**	/
	FS 03	ns	/	- 0,485*	/	+ 0,650***	/
	CS 03	-0,408	/	- 0,306*	/	+ 0,701***	/
Mg YL	FS 01	ns	- 0,664***	/	/	/	+ 0,888***
	FS 03	ns	- 0,485*	/	/	/	+ 0,902***
	CS 03	ns	- 0,306*	/	/	/	+ 0,802***
K OL	FS 01	+ 0,847***	/	/	/	ns	ns
	FS 03	+ 0,873***	/	/	/	ns	- 0,472*
	CS 03	+ 0,832***	/	/	/	- 0,285*	- 0,333*
Ca OL	FS 01	/	+ 0,470**	/	ns	/	- 0,384*
	FS 03	/	+ 0,650***	/	ns	/	ns
	CS 03	/	+ 0,701***	/	- 0,285*	/	- 0,306*
Mg OL	FS 01	/	/	+ 0,888***	ns	- 0,384*	/
	FS 03	/	/	+ 0,902***	- 0,472*	ns	/
	CS 03	/	/	+ 0,802***	- 0,333*	- 0,306*	/

p ≤ 5%, \*\* p ≤ 1%, \*\*\* p ≤ 1%, ns : no significant correlation

For the two varieties, tables 7 and 8 shows positive correlations between K contents of the young leaves and those of the old ones, and between K concentrations in the solution and K leaves content (both young or old leaves). We also obtained negative correlations between K leaves content (both young and old leaves) and Mg concentrations in the solution. These

results confirm that K-Mg antagonism is stronger than the K-Ca antagonism. Similar results were obtained for Sterling Muscadine cultivated on sand (Spiers, 1994) and for various vine varieties cultivated in different vineyards (Loué, 1990).

### Calcium Contents (table 9 and 10) :

Contrary to growth, total dry matter and potassium contents, Ca contents of FS in 2001 and those obtained in 2003 are not significantly different, but we should consider that the uptake (or consumption) was higher in 2001 because most dry matter was produced (dilution effect). Marshner (1997) also explained that an increase in the root temperature results in an increase of the potassium concentration but a decrease of the calcium concentration of exudates.

**Table 9.** Mean, standard deviation (Std dev) and significant differences (SD) obtained for the Ca content of the young leaves. FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

Solution	FS 01			FS 03			CS 03		
	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*
2.1K:6.7Ca:2Mg	1,15	0,19	ab	1,02	0,29	ab	1,52	0,28	a
0.3K:3.8Mg	0,76	0,08	cd	1,01	0,35	ab	1,43	0,15	ab
1.2K:2.9Mg	0,95	0,11	abc				1,21	0,15	bc
2.9K:1.2Mg	0,99	0,14	abc				1,08	0,21	cd
3.8K:0.3Mg	1,24	0,10	a	0,99	0,12	ab	1,30	0,18	abc
0.3K:8.5Ca	0,86	0,22	b	1,15	0,14	a	1,43	0,20	ab
1.4K:7.4Ca	1,01	0,17	abc				1,34	0,23	abc
4.5K:4.3Ca	0,82	0,07	c				1,08	0,09	cd
7.3K:1.5Ca	0,49	0,06	d	0,46	0,10	b	0,60	0,16	f
2.6Ca:6.1Mg				0,48	0,12	b	0,90	0,16	de
4.0Ca:4.7Mg				0,74	0,08	ab	0,76	0,11	ef
7.7Ca:1.0Mg				0,69	0,28	ab	1,28	0,15	abc
8.4Ca:0.3Mg				1,11	0,08	a	1,36	0,22	ab

\* there is a significant difference between the treatment when the letter is different

**Table 10.** Mean, standard deviation (Std dev) and significant differences (SD) obtained for the Ca content of the old leaves. FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

Solution	FS 01			FS 03			CS 03		
	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*
2.1K:6.7Ca:2Mg	1,22	0,33	ab	1,09	0,24	ab	1,74	0,11	ab
0.3K:3.8Mg	1,24	0,28	ab	1,21	0,18	ab	1,63	0,23	ab
1.2K:2.9Mg	1,30	0,07	ab				1,31	0,14	cd
2.9K:1.2Mg	1,51	0,17	a				1,00	0,07	ef
3.8K:0.3Mg	1,50	0,07	a	1,20	0,13	ab	1,17	0,31	de
0.3K:8.5Ca	1,41	0,26	ab	1,35	0,20	a	1,71	0,21	ab
1.4K:7.4Ca	1,45	0,06	ab				1,51	0,23	bc
4.5K:4.3Ca	1,08	0,05	ab				1,18	0,17	de
7.3K:1.5Ca	0,64	0,08	b	0,59	0,12	b	0,87	0,06	f
2.6Ca:6.1Mg				1,05	0,37	ab	0,87	0,10	f
4.0Ca:4.7Mg				1,00	0,26	ab	0,94	0,07	ef
7.7Ca:1.0Mg				1,23	0,32	ab	1,64	0,21	ab
8.4Ca:0.3Mg				1,49	0,37	a	1,85	0,31	a

\* there is a significant difference between the treatment when the letter is different



In 2003, Ca leaves content is generally lower for FS than for CS, except in old leaves for solutions 2.6Ca:6.1Mg and 4.0Ca:4.7Mg. For the control solution, leaves Ca content is just 1 % DM for FS and 1,5 % DM for CS and they are inferior to the critical values proposed by Champagnol (1990) and Sarmiento *et al.* (1992). However the same results were found for CS (Charbaji, 1988) and for Négrette (Daverede and Garcia, 1997) under similar culture conditions. Therefore, we presume that CS and especially FS have low capacity for Ca uptake and storage.

Due to the low mobility of Ca, its content is significantly lower in young leaves than in old leaves.

Decreasing the K-Ca ratio: The Ca leaves content depends on the Ca solution concentrations but the increase is higher for the lowest levels of Ca (7.3K:1.5Ca, 4.5K:4.3Ca and 2.1K:6.7Ca). For solutions 0.3K:8.5Ca and 1.4K:7.4Ca leaves Ca content is nearly stable but tends to diminish for FS in 2001, particularly in the young leaves. We think that Ca uptake is limited because K deficiency reduces growth and the uptake of nutrients.

Increasing the Ca-Mg ratio: For CS, the increase of Ca leaves content is important between 4.0Ca:4.7Mg and 6.7Ca:2.0Mg solutions but lesser for the other solutions. For FS, Ca leaves content particularly increase in the young leaves for low Ca concentrations, and in the old leaves for high Ca concentrations. These results show that CS has a higher Ca mobility than FS.

Increasing the K-Mg ratio: Ca is the same in the solution but Ca leaves content varies particularly for CS. The variation of Ca content is not linear and we think that the 3 antagonisms co-exist. For CS, Ca content of the old leaves is negatively correlated with K in solution, but positively correlated with Mg in solution (table 6). For FS, the leaves Ca contents are negatively correlated with Mg in solution. So, FS is characterised by a strong Ca-Mg antagonism, and CS by a strong K-Ca antagonism.

For the two vine varieties, we found the following correlations (tables 7 and 8). On one hand, they are positive for Ca leaves content (young or old) and Ca concentration in solution and for Ca contents of the young leaves and of the old ones; on the other hand, they are negative for leaves Ca contents and K and Mg concentrations in solution. So, FS and CS present a K-Ca and Ca-Mg antagonism but FS has a stronger Ca-Mg antagonism and CS a stronger K-Ca antagonism.

**Magnesium Contents (table 11 and 12) :**

FS leaves present lower Mg contents in 2001 than in 2003, particularly in the young leaves because of the stimulation of growth, which induced a dilution effect. We also assume that clone 556 present a lower Mg uptake capacity than those of clone 420. However, K-Mg antagonism also induced a reduction of Mg contents (because of the increase of K uptake due to higher growth).

Because of the possible mobilisation of Mg, its content in the young leaves is higher than in the old leaves, except for solutions with high Mg concentrations (0.3K:3.8Mg and 2.6Ca:6.1Mg).

**Table 11.** Mean, standard deviation (Std dev) and significant differences (SD) obtained for the Mg content of the young leaves. FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

Solution	FS 01			FS 03			CS 03		
	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*
2.1K:6.7Ca:2Mg	0,29	0,03	ab	0,50	0,06	bc	0,21	0,05	de
0.3K:3.8Mg	0,35	0,06	ab	0,49	0,05	bc	0,28	0,02	c
1.2K:2.9Mg	0,38	0,01	ab				0,27	0,03	c
2.9K:1.2Mg	0,24	0,00	b				0,20	0,02	e
3.8K:0.3Mg	0,16	0,01	b	0,22	0,04	d	0,12	0,01	gh
0.3K:8.5Ca	0,32	0,01	ab	0,36	0,03	cd	0,19	0,04	ef
1.4K:7.4Ca	0,33	0,02	ab				0,21	0,02	de
4.5K:4.3Ca	0,35	0,02	b				0,25	0,03	cd
7.3K:1.5Ca	0,46	0,01	a	0,57	0,03	bc	0,28	0,02	c
2.6Ca:6.1Mg				0,75	0,05	a	0,44	0,03	a
4.0Ca:4.7Mg				0,80	0,04	a	0,33	0,04	b
7.7Ca:1.0Mg				0,30	0,10	d	0,15	0,04	fg
8.4Ca:0.3Mg				0,25	0,01	d	0,10	0,01	h

\* there is a significant difference between the treatment when the letter is different

**Table 12.** Mean, standard deviation (Std dev) and significant differences (SD) obtained for the Mg content of the old leaves. FS 01 : Fer servadou in 2001, FS 03 : Fer servadou in 2003, CS 03 : Cabernet sauvignon in 2003.

Solution	FS 01			FS 03			CS 03		
	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*	mean	Std dev	SD*
2.1K:6.7Ca:2Mg	0,24	0,05	ab	0,45	0,08	cd	0,20	0,02	def
0.3K:3.8Mg	0,47	0,09	a	0,52	0,07	bc	0,28	0,04	c
1.2K:2.9Mg	0,45	0,02	a				0,23	0,04	cd
2.9K:1.2Mg	0,23	0,01	ab				0,17	0,03	fg
3.8K:0.3Mg	0,11	0,01	b	0,18	0,04	d	0,10	0,03	h
0.3K:8.5Ca	0,37	0,06	ab	0,35	0,03	cd	0,22	0,03	de
1.4K:7.4Ca	0,32	0,01	ab				0,18	0,04	efg
4.5K:4.3Ca	0,38	0,04	ab				0,21	0,02	def
7.3K:1.5Ca	0,46	0,02	a	0,41	0,02	cd	0,23	0,04	cd
2.6Ca:6.1Mg				1,17	0,23	a	0,36	0,04	a
4.0Ca:4.7Mg				0,72	0,09	b	0,33	0,02	a
7.7Ca:1.0Mg				0,30	0,02	cd	0,16	0,05	g
8.4Ca:0.3Mg				0,21	0,01	d	0,09	0,01	h

\* there is a significant difference between the treatment when the letter is different

Decreasing the K-Mg ratio: The leaves' Mg content depends on the Mg in solution, but the increase is less important for high Mg concentrations, particularly in the young leaves. The increase of Mg leaves content is more important for FS, certainly due to a lower effect of the K-Mg antagonism for this variety than for CS.

Decreasing the Ca-Mg ratio: The increase of Mg levels in solution induces an increase of Mg leaves content, which is particularly important for FS when Ca in solution diminishes. So it seems that the antagonism Ca-Mg is more important for FS. The increase of Mg is constant in the young leaves for CS, but in the old leaves for FS. Inversely, for high levels of Mg in solution, stable values were observed in young leaves for FS and in the old leaves for CS. These results show that Mg mobility is higher for CS than for FS.

Increasing the K-Ca ratio: Mg is constant in all solutions but Mg leaves content tend to increase when Ca diminishes in solution, and there is a negative correlation between Ca in solution and the young leaves Mg content (table 6). The increase of Mg leaves content is more important for FS and confirms that the Ca-Mg antagonism is stronger for FS than for CS.

For the two varieties, we found correlations (tables 7 and 8) which are positive for Mg content in the young leaves and those in the old ones, and for Mg in solution and Mg leaves content (young or old) but negative for Mg leaves content and Ca in solution.

#### **K-Ca-Mg Interactions (tables 6 and 8) :**

Increasing the K-Mg ratio: For FS, K and Ca leaves contents are negatively correlated with the Mg in solution. For CS, Ca and Mg leaves contents are negatively correlated with K in solution. We assume that FS presents a Ca-Mg antagonism and that CS presents a K-Ca antagonism.

Increasing the K-Ca ratio: For the two varieties, K and Mg leaves contents are negatively correlated with Ca in solution. We affirm that the two varieties present a Ca-Mg antagonism.

Increasing the Ca-Mg ratio: For the two varieties K and Ca leaves contents are negatively correlated to Mg in solution. We assume that the two varieties present a K-Mg antagonism.

However, table 8 shows that the Ca-Mg antagonism is particularly strong in the young leaves and the K-Ca and K-Mg antagonisms are most important in the old leaves.

These results show that Mg play an important part in the balance of cationic nutrition because it inhibits the uptake of Ca and K. FS is different from CS, which also presents a strong K-Ca antagonism.

## CONCLUSION

This experiment allows us to understand the mineral nutrition physiology of the two vine varieties. Results show that CS is characterised by a good capacity for K and Mg uptake but mediocre for Ca, and K inhibits the Ca and Mg uptake. Compared to CS, FS is characterised by a higher capacity for K and Mg uptake but lower for Ca uptake, and Mg inhibit the K and Ca uptake. However, for FS, clone 556 presents a higher capacity for K uptake but a lower capacity for Mg uptake than clone 420. Likewise, these results reveal that the mineral nutrition physiology differs, depending on the cultivars and on the clone.

We have also shown that, under optimum growing conditions, the cationic nutrition has little effect on growth but that light and temperature can play an important part (increase of the water consumption, the K uptake and the growth). Even if the cationic nutrition has a little effect on growth, we observed some visual symptoms of nutritional disorder on the Fer servadou leaves, which is particularly sensitive to Mg deficiency.

These results should be of vital interest to the viticulturist because fertilisation can be readily adapted to suit FS. It is also possible to vary the antagonisms and to choose the adequate rootstock in order to obtain optimum balance depending on soil characteristics. For grape quality, vigour is not required, so the K/Mg must be low ( $<1$ ), K/Ca high ( $>0,3$ ) and Ca/Mg included between 3 and 8. For CS, which is sensitive to Mg deficiency, potassium fertilisation must be limited because strong K-Mg antagonism could induce Mg deficiency and the recommended rootstocks must have a high uptake capacity for Ca and Mg but low for K like the 140 Ruggeri, 3309 C or 101-14 rootstocks (Pouget and Delas, 1982; Gallego and Garcia, 2001). For FS, which has a low capacity for Ca uptake, Ca fertilisation may be recommended especially for acid soils rich in magnesium due to the strong Ca-Mg antagonism but magnesium fertilisation must be adequate. The recommended rootstocks for FS must have a high uptake capacity for Ca but low for K like the SO4, Fercal or Riparia gloire rootstocks (Pouget and Delas, 1982).

## ACKNOWLEDGEMENT

Institut Technique de la Vigne et du Vin de Midi-Pyrénées for financial support

### 3. Discussion

#### 3.1. Dispositif expérimental

Pour le cépage Fer Servadou, nous observons des différences importantes entre l'expérimentation menée en 2001 et celle menée en 2003. En effet, la croissance, la production de biomasse et les teneurs en potassium et en magnésium sont significativement supérieures en 2001 par rapport à 2003. Par contre, les teneurs en calcium et en magnésium sont sensiblement les mêmes pour les deux expérimentations.

Nous pensons que plusieurs facteurs sont à l'origine de l'augmentation importante de la croissance.

D'une part, nous n'avons pas utilisé le même clone pour des raisons de disponibilité à la pépinière. Ainsi, le clone 556 (clone qualitatif à production moyenne) utilisé lors de la première expérimentation est déjà connu pour être plus vigoureux que le clone 420 (clone hautement qualitatif) (Boidron *et al.*, 1995 ; Crespy, 2003), ce qui est confirmé dans cette étude.

D'autre part, même si la serre où l'expérimentation a été menée est conditionnée, les températures varient de plusieurs degrés (régulation de la température à  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) et l'intensité lumineuse naturelle, malgré les lampes à sodium et le pare-soleil, reste encore mal maîtrisée (le déficit est toujours maîtrisé, mais pas l'excès). On peut se demander si la lumière artificielle est aussi efficace que la lumière naturelle. Ainsi, l'expérimentation de 2001 a débuté à la mi-avril, et celle de 2003 au début du mois de mars, et il est évident que les conditions climatiques extérieures ont été plus favorables pour la première expérimentation (intensité lumineuse naturelle plus importante et températures plus élevées). De plus, les conditions de culture de l'expérimentation sont optimales, et la croissance des plantes dans de telles conditions est très rapide. Aussi, nous pensons qu'une augmentation de température et d'intensité lumineuse naturelle, même faible, peut stimuler la croissance, et par conséquent, augmenter la consommation d'eau et d'éléments minéraux. D'ailleurs, nous avons observé une consommation de solution nutritive plus importante lors de l'expérimentation de 2001 (dans les dernières semaines de culture la presque totalité des 5 litres de solution avaient été consommées). Par conséquent, les conditions de température et de luminosité, plus favorables

en 2001, auraient favorisé la croissance de la vigne, et donc augmenté les besoins en eau et en éléments minéraux.

Par rapport à l'augmentation de la croissance, celle de la biomasse produite est plus faible. Ainsi, la température et l'intensité lumineuse auraient un impact plus important sur l'élongation cellulaire que sur la multiplication cellulaire et l'augmentation de croissance serait principalement liée à l'augmentation de la quantité d'eau dans la plante.

Concernant les éléments minéraux, nous avons observé une augmentation importante des teneurs en potassium et en magnésium, mais pas de celle en calcium. Il est cependant important de souligner qu'une quantité supérieure de l'ensemble des éléments minéraux a été absorbée par la plante en 2001, puisque la quantité de biomasse sèche est supérieure. Les teneurs en calcium sont sensiblement les mêmes, qu'elle que soit la croissance car c'est un élément « plastique » (il est un constituant essentiel de la membrane et de la paroi de la cellule végétale). Par contre, le potassium joue un rôle important dans la régulation de la pression osmotique et de la pression de turgescence de la cellule, et son absorption et sa teneur dans la plante est par conséquent liée à l'eau. De plus, Marshner (1997), montre qu'une augmentation de la température des racines entraîne une augmentation de la concentration en potassium dans la sève, mais une diminution de celle en calcium.

### **3.2. Symptômes de carence**

Sur Cabernet Sauvignon, aucun symptôme de carence n'est apparu au cours des 8 semaines de culture.

Sur Fer Servadou, l'apparition de symptômes de carence magnésienne est précoce pour les solutions les plus carencées en cet élément, mais aussi pour la solution faiblement carencée, riche en calcium. L'apparition de symptômes de carence calcique est tardive, pour la solution la plus riche en potassium uniquement. L'apparition de symptômes de carence potassique est tardive et non généralisée pour les solutions les plus carencées.

Ces résultats montrent que les carences cationiques affectent plus le métabolisme du Fer Servadou que celui du Cabernet Sauvignon. Le Fer Servadou est particulièrement sensible à la carence en magnésium, et la présence de fortes concentrations en calcium augmente cette sensibilité.

### **3.3. Longueur des rameaux, cinétique de croissance et production de biomasse**

En début de culture, la croissance est peu ou pas affectée par la concentration en éléments minéraux, car la plante utilise ses propres réserves, mais les différences augmentent progressivement jusqu'à la fin de la culture.

La croissance et la biomasse du Cabernet Sauvignon clone 337 sont le plus souvent supérieures à celles du Fer Servadou clone 420. Ces résultats confirment l'importance du matériel végétal et de ses aptitudes génétiques, et il apparaît que le Cabernet Sauvignon clone 337 est plus vigoureux que le Fer Servadou clone 420.

La solution témoin utilisée donne une vigueur moyenne voire faible pour les deux variétés, ce qui nous indique qu'elle est bien adaptée puisqu'en viticulture, la vigueur n'est pas recherchée. Les variations de croissance et de biomasse sont assez faibles lorsque l'on fait varier les rapports K/Ca et K/Mg, mais elles sont plus importantes lorsque nous faisons varier le rapport Ca/Mg. Aussi, les carences en potassium affectent surtout la croissance, alors que celles en calcium et magnésium affectent surtout la production de biomasse.

Les résultats montrent que les fortes carences en l'un des éléments minéraux affectent assez peu la croissance et la production de biomasse ; des résultats similaires sont obtenus par Daverède (1996) sur la Négrette. Cependant, même si les différences ne sont pas significatives, la croissance et la production de biomasse sont plus faibles pour les deux variétés sur les solutions fortement carencées en calcium ou en magnésium, ainsi que pour le Fer Servadou sur les solutions carencées en potassium.

### **3.4. Teneurs en cations**

Les teneurs en potassium et en magnésium sont toujours supérieures pour le Fer Servadou et les teneurs en calcium sont toujours supérieures pour le Cabernet Sauvignon.

D'une manière générale, plus la teneur de l'un des éléments minéraux augmente dans la solution, plus la plante l'absorbe. Cependant, pour le Fer Servadou, l'absorption du calcium semble être limitée et les teneurs dans les feuilles ne dépassent jamais les 1,5 % MS.

Les résultats montrent que :

- lorsque le potassium est fixe dans la solution, il tend à augmenter dans les feuilles jeunes et âgées si Ca augmente et Mg diminuent dans la solution nutritive.

- lorsque le magnésium est fixe dans la solution, il tend à augmenter dans les feuilles jeunes si K augmente et Ca diminue dans la solution nutritive.

- lorsque le calcium est fixe dans la solution, il tend à augmenter dans les feuilles de Fer Servadou, et inversement il tend à diminuer dans les feuilles de Cabernet Sauvignon, si K augmente et Ca diminue dans la solution nutritive.

Par conséquent, l'absorption du calcium et du potassium par le Fer Servadou est affectée par les fortes concentrations en magnésium dans la solution nutritive, et celle du magnésium est affectée par les fortes concentrations en calcium. Ce cépage se caractérise donc par un antagonisme Ca-Mg plus marqué. Pour le Cabernet Sauvignon, les trois antagonismes existent sans prédominance de l'un d'eux.

Les teneurs en différents éléments minéraux sont bien corrélées dans les feuilles jeunes et âgées, mais elles sont aussi influencées par les antagonismes précédemment cités. La répartition des éléments minéraux dans la plante nous informe sur la capacité de stockage et de transport dans la plante :

- Pour les deux cépages, les teneurs en potassium sont plus importantes dans les feuilles jeunes lorsque les concentrations en potassium dans la solution sont faibles, mais lorsque le potassium est en quantité suffisante dans la solution, il a tendance à s'accumuler dans les feuilles âgées.
- Pour les deux cépages, les teneurs en calcium sont toujours supérieures dans les feuilles âgées.
- Pour le Fer Servadou, les teneurs en magnésium sont plus élevées dans les feuilles jeunes lorsque les concentrations en magnésium dans la solution sont faibles, mais lorsque le magnésium est en quantité suffisante dans la solution, il a tendance à s'accumuler dans les feuilles âgées.
- Pour le Cabernet Sauvignon, les teneurs en magnésium sont toujours supérieures dans les feuilles jeunes.



**Tableau 5.** Normes proposées par différents auteurs pour l'interprétation du diagnostic foliaire de différents cépages (teneurs exprimées en % MS)

	Elémen	Stade	Cépage	Carence	Normal	Excès		
Crespy (2003)	K % MS	véraison		<	0,91 à 1,1	> 1,40		
Fregoni (1985)				//	floraison	0,81	1,2 à	>1,6
Spring et al. (2003)				//	véraison	<1,38	1,56 à 1,92	>2,10
//				//	véraison	<1,45	1,59 à 1,87	>2,01
//				//	véraison	<1,05	1,24 à 1,62	>1,82
//	//	véraison	<1,95	2,10 à 2,40	>2,55			
Crespy (2003)	Ca % MS	véraison		<2	2,5 à	>3,5		
Fregoni (1985)				//	floraison	<2,07	2,45 à 3,33	>3,75
Spring et al. (2003)				//	véraison	<2,24	2,66 à 3,51	>3,94
//				//	véraison	<3,07	3,42 à 4,14	>4,49
//				//	véraison	<1,47	1,64 à 2,00	>2,17
//	//	véraison	<1	1,5 à 2	>2,5			
Crespy (2003)	Mg % MS	véraison		<	0,16 à 0,25	> 0,36		
Fregoni (1985)				//	floraison	0,12	0,23 à 0,27	>0,3
Spring et al. (2003)				//	véraison	<0,154	0,192 à 0,270	>0,308
//				//	véraison	<0,163	0,205 à 0,287	>0,329
//				//	véraison	<0,145	0,209 à 0,337	>0,401
//	//	véraison	<0,178	0,200 à 0,244	>0,266			

**Tableau 6.** Teneurs foliaires en K, Ca et Mg (% MS) minimum, maximum et de la solution témoin obtenues en culture hydroponique en 2001 pour le Fer Servadou (FS 01) et en 2003 pour le Fer Servadou (FS 03) et le Cabernet Sauvignon (CS 03)

Elément		FS 01	FS 03	CS 03
K	maximum	3,62	1,98	1,77
	témoin	2,17	1,65	1,06
	minimum	1,05	0,87	0,61
Ca	maximum	1,51	1,49	1,85
	témoin	1,22	1,09	1,74
	minimum	0,64	0,59	0,87
Mg	maximum	0,47	1,17	0,36
	témoin	0,24	0,45	0,20
	minimum	0,11	0,18	0,09

Le tableau 5 donne les teneurs en différents éléments minéraux dans les limbes de différents cépages, utilisées pour l'interprétation du diagnostic foliaire. Le tableau 6 présente les valeurs minimum, maximum et de la solution témoin, obtenues pour les teneurs en potassium et calcium dans cette expérimentation. Si nous comparons les teneurs en cations obtenues au cours de cette expérimentation à celles proposées par les différents auteurs pour le diagnostic foliaire nous constatons que :

- le Fer Servadou présente des teneurs moyennes en potassium, très faibles en calcium et très élevées en magnésium,
- le Cabernet Sauvignon présente des teneurs assez faibles en potassium et en calcium et moyennes en magnésium.

### 3.5. Conclusion

Cette expérimentation nous a permis de montrer que la croissance, la production de biomasse et la nutrition minérale dépendent du cépage et du clone mais aussi des conditions de culture (intensité lumineuse et température) mais surtout de déterminer les caractéristiques particulières de la nutrition minérale du cépage Fer Servadou et du Cabernet Sauvignon.

- le Fer Servadou :
  - a une bonne capacité d'absorption, de stockage et de transport du potassium et il est sensible à carence potassique (réduction de la croissance et apparition de symptômes tardifs et non généralisés)
  - a une capacité d'absorption, de stockage et de transport du calcium très réduite et il est sensible à la carence calcique (réduction de la biomasse et apparition de symptômes tardifs et généralisés)
  - a une capacité très élevée d'absorption et de stockage du magnésium, mais la capacité de transport est médiocre et il est très sensible à la carence magnésienne (réduction de la biomasse et symptômes précoces et généralisés)
  
- le Cabernet Sauvignon :
  - a une capacité d'absorption du potassium assez faible mais la capacité de stockage et de transport est bonne et il est peu sensible à la carence potassique
  - a une capacité d'absorption, de stockage et de transport du calcium assez faible et il est assez sensible à la carence calcique (réduction de la biomasse)
  - a une capacité d'absorption et de stockage du magnésium moyenne mais une bonne capacité de transport et il est assez sensible à la carence magnésienne (réduction de la biomasse)

#### 4. Effet du porte greffe

Nous avons testé l'effet de trois porte-greffes couramment rencontrés dans la région sur le cépage Fer Servadou clone 556 :

- le 3309 C est issu du croisement entre *Riparia tomentoux* et *Rupestris martin*. C'est un producteur moyen de bois qui redoute la sécheresse en terrain superficiel, et il craint l'humidité. Il assimile peu le potassium et assez bien le magnésium (Cordeau, 1991),

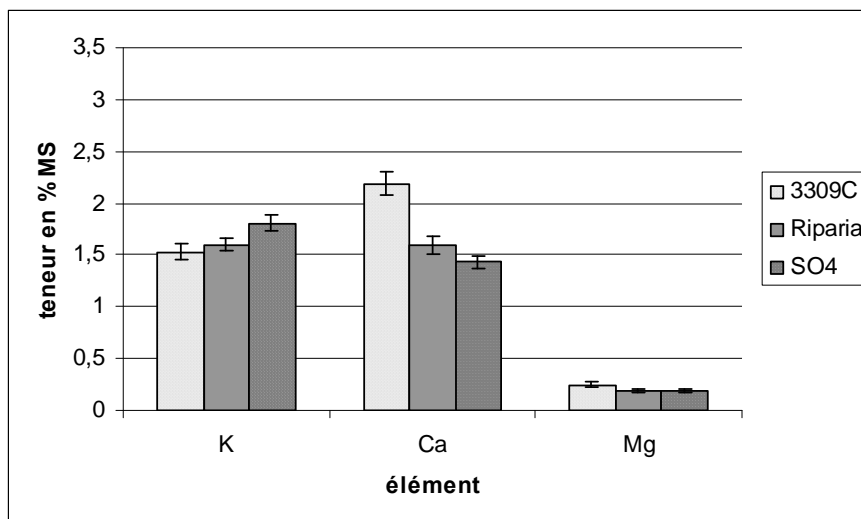
- le SO4 est issu du croisement entre *Vitis Berlandieri* et *Vitis Rupestris*. C'est un porte-greffe vigoureux propice aux rendements élevés. Il supporte assez bien la sécheresse et une certaine hydromorphie. Il tolère un pouvoir chlorosant assez élevé (jusqu'à 70 %) et il assimile peu le magnésium et assez bien le potassium (Cordeau, 1991),

- le Riparia Gloire de Montpellier est peu vigoureux et il s'adapte bien dans les sols peu calcaires, mais il est sensible à la sécheresse. De faible vigueur, il permet d'obtenir une bonne maturation de la récolte. Il assimile peu le potassium et assez bien le magnésium (Cordeau, 1991),

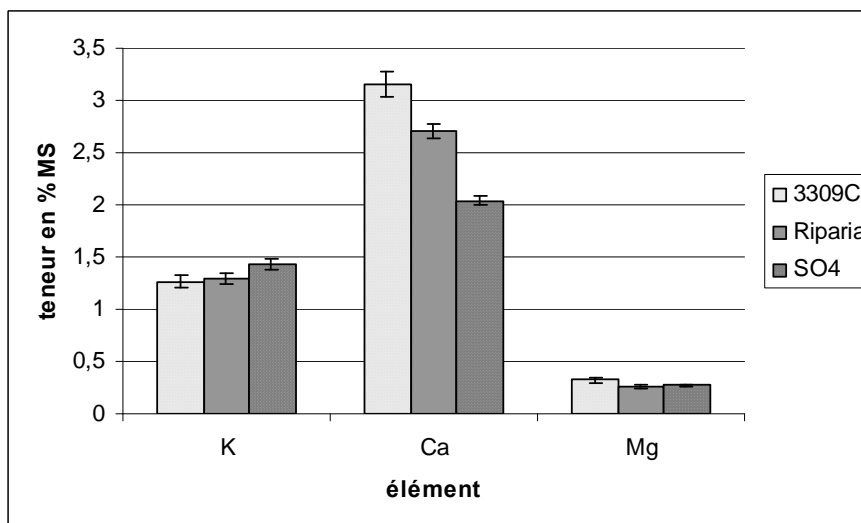
L'étude a été réalisée dans un abri grillagé. Chaque pied de vigne est implanté dans un bac de 30 litres contenant de la pouzzolane. Ce substrat permet une bonne aération des racines, il est inerte, chimiquement très stable et stérile à la mise en œuvre. Son défaut réside dans sa faible capacité de rétention en eau. Les ceps sont alimentés par irrigation, une à deux fois par jour (selon le stade croissance) et l'excès de solution nutritive est évacué par drainage. La composition de la solution nutritive est la même que celle de la solution témoin de l'expérimentation précédente.

Les prélèvements sont effectués aux stades floraison et véraison selon les protocoles établis par Martin-Prevel (1985).

Les résultats (figure 5 et 6) montrent que le Fer Servadou greffé sur 3309C présente les plus faibles teneurs en potassium et les plus fortes teneurs en calcium et en magnésium. Inversement le Fer Servadou greffé sur SO4 présente les plus fortes teneurs en potassium et les plus faibles teneurs en calcium. Des résultats similaires ont été obtenus par Ibrahim (1999) sur les cépages Cot et Négrette.



**Figure 5.** Teneurs en potassium, calcium et magnésium des limbes de Fer Servadou clone 556 greffé sur 3309C à la floraison



**Figure 6.** Teneurs en potassium, calcium et magnésium des limbes de Fer Servadou clone 556 greffé sur 3309C à la véraison

Entre le stade floraison et le stade véraison, les teneurs en potassium diminuent et les teneurs en calcium et magnésium augmentent. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par de nombreux auteurs (Daverède, 1996 ; Gallego, 1999, Ibrahim, 2001).

La comparaison des résultats obtenus dans cette expérimentation aux valeurs proposées pour le diagnostic foliaire par Spring *et al.* (2003) (tableau 5), fait ressortir que :

- la nutrition potassique est faible pour tous les porte-greffes
- la nutrition calcique est faible (SO4) à moyenne (3309C)
- la nutrition magnésienne est moyenne (SO4) à élevée (3309C)

Nous remarquons aussi que, dans ces conditions de culture, le Fer Servadou clone 556 greffé sur 3309C présente des teneurs en potassium inférieures et des teneurs en calcium supérieures à celles obtenues en culture hydroponique stricte pour la solution témoin. Ces variations sont certainement liées aux conditions de culture et notamment à la température. Comme nous l'avons déjà vu précédemment, une augmentation de température des racines entraîne une augmentation de la concentration en potassium dans la sève, mais une diminution de celle en calcium (Marshner, 1997). Aussi, dans l'abri grillagé, les plantes sont soumises aux fluctuations des températures extérieures, et les bacs de pouzzolane où sont implantées les vignes ont une faible inertie thermique. Cependant, les teneurs en calcium des limbes varient du simple au double et d'autres facteurs doivent favoriser son absorption.

## **5. Conclusion**

Cette étude sur la nutrition minérale en culture hors-sol nous a permis de déterminer les besoins et la capacité d'absorption, de stockage et de transport du potassium, calcium et magnésium pour le cépage Fer Servadou. Comparé au Cabernet Sauvignon, qui nécessite une alimentation magnésienne élevée mais qui est peu exigeant en potassium (Crespy, 2003), le Fer Servadou a une capacité d'absorption du potassium et du magnésium supérieure mais inférieure pour le calcium. Ce cépage est aussi plus sensible aux carences en ces éléments, et particulièrement en magnésium, car la capacité de remobilisation de ces éléments (principalement calcium et magnésium) dans la plante est plus faible. Par contre, le Fer Servadou a une forte capacité de stockage du magnésium.

Nous avons également abordé l'effet du porte-greffe, et compte tenu des caractéristiques particulières de la nutrition minérale du Fer Servadou, celui-ci doit permettre une alimentation calcique et magnésienne correcte mais une alimentation potassique plus faible. Ainsi, le porte-greffe 3309C est plus adapté que le SO4 pour ce cépage.

Cette expérimentation nous a aussi permis de montrer que les conditions de culture, et particulièrement la température, influencent fortement la nutrition hydrominérale.

## **CHAPITRE 4**

---

# **ETUDE DES COMPOSANTES AGRO-PEDO-CLIMATIQUES DU RESEAU FER SERVADOU**

## 1. Introduction

Ce chapitre a pour but de présenter l'ensemble des résultats obtenus au cours des trois années de suivi effectué sur le réseau de parcelles (2001, 2002 et 2003). Pour chaque parcelle, les résultats sont présentés selon le même plan ; certaines parties seront redondantes, notamment pour les parcelles d'une même appellation (caractéristiques climatiques par exemple). Dans ce chapitre, l'interprétation des résultats est assez succincte, car elle a pour but de décrire les principales caractéristiques géologiques, pédologiques, climatiques et agronomiques des parcelles. Les résultats des contrôles de maturité, des analyses des vins en cours de vinification et des dégustations sont donnés dans l'annexe 3. La caractérisation des terroirs et des vins, les interactions entre les différents facteurs et leur rôle dans la détermination du potentiel viticole et œnologique seront abordés dans le chapitre 5.

Aucune référence bibliographique ne sera citée au cours de la présentation, car la méthodologie et les sources utilisées pour l'interprétation des résultats sont toujours les mêmes.

### ✓ *Caractéristiques générales de la parcelle*

Cette partie, présentée sous la forme d'un tableau, donne les informations obtenues auprès des viticulteurs sur le mode de culture et les travaux effectués sur la vigne, mais renseigne aussi sur leur localisation, leur situation topographique, l'origine géologique et le type de sol.

### ✓ *Etude géo-morpho-pédologique*

Cette partie décrit l'environnement géologique de la parcelle et les processus de pédogénèse qui en découlent (Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées, 1995). Les coupes géologiques ont été réalisées à partir de cartes topographiques et géologiques au 1/50000 (annexe 4).

Dans cette partie, est également présentée la description des profils pédologiques et racinaires effectués lors de cette étude.

✓ *Analyse physico-chimique des différents horizons décrits*

## • Interprétation de l'analyse granulométrique

- texture (triangle de texture GEPPA, annexe 5)
- stabilité structurale, risque d'asphyxie, aptitude à la fissuration (annexe 5)
- capacité de rétention

$$CR = (\text{Argile \%} \times 2) + \text{Limons totaux \%} + (\text{MO \%} \times 10)$$

Norme (Crespy, 2003) : CR = 60 à 80 mm/m de sol

- L'indice de battance

$$\text{pH} < 7 \quad \text{IBa} = (1,5 \times \text{LF}\% + 0,75 \times \text{LG}\%) / (\text{A}\% + 10 \times \text{MO}\%)$$

$$\text{pH} \geq 7 \quad \text{Ibc} = \text{IBa} - 0,2 (\text{pH} - 7)$$

**Tableau 7.** Interprétation des valeurs de l'indice de battance (Crespy, 2003)

Indice de battance	sol
IB > 2	Très battant
1,6 < IB < 2	Battant
1,4 < IB < 1,6	Assez battant
IB < 1,4	Non battant

- Teneur en argile

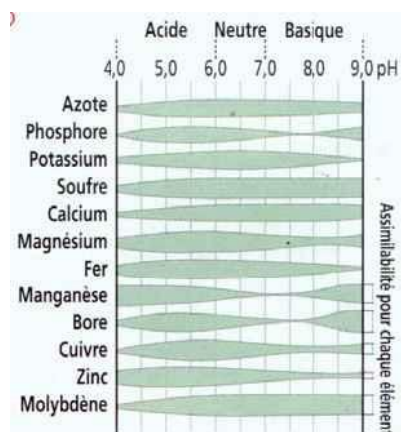
En fonction de la teneur en argile, le sol est dit lourd ( $A > 30\%$ ), moyen ( $15 < A < 25$ ) ou léger ( $A < 10\%$ ) (Spring *et al.*, 2003).

## • Interprétation du pH

**Tableau 8.** Barème d'interprétation du pH (Spring *et al.*, 2003)

pH H <sub>2</sub> O	Appréciation agronomique
< 5,3	fortement acide
5,3 – 5,8	acide
5,9 – 6,7	faiblement acide
6,8 – 7,2	neutre
7,3 – 7,6	faiblement alcalin
> 7,6	alcalin





**Figure 7.** Assimilabilité des éléments minéraux en fonction du pH (Crespy, 2003)

- Interprétation du calcaire total et actif

**Tableau 9.** Barème d'interprétation de la teneur en calcaire total (Spring *et al.*, 2003)

Teneur en calcaire total (% CaCO <sub>3</sub> )	Appréciation agronomique
0	Non calcaire
1 à 2	Traces de calcaire
3 à 10	Peu calcaire
11 à 25	Moyennement calcaire
26 à 40	Calcaire
> 40	Très calcaire

Le calcaire actif conditionne le choix du porte-greffe afin d'éviter les phénomènes de chlorose (Crespy, 2003) :

- calcaire actif < 6 % : Riparia, 3309C, 101-14, S04, 41B
- calcaire actif < 9 % : 3309C, 101-14, S04, 41B
- calcaire actif < 20 % : S04, 41B
- calcaire actif < 40 % : 41B

- Interprétation de la teneur en MO et du C/N

L'azote est un des éléments qui influence le plus la vigueur de la vigne et la coloration du feuillage. Un excès entraîne une vigueur excessive et une sensibilité accrue à la pourriture et au dessèchement de la rafle, ainsi qu'une diminution de la qualité des vins. Les teneurs en azote des sols varient de 0,2 ‰ à 2,5 ‰ (Mengel et Kirkby, 1982).

**Tableau 10.** Barème d'interprétation du taux de matière organique selon le taux d'argile en viticulture (Spring *et al.*, 2003)

Taux d'argile	pauvre	médiocre	normal	élevé	Très élevé
< 10 %	<0,8	0,8 – 1,1	1,2 – 1,5	1,6 – 2,0	> 2,0
10 à 30 %	< 1,2	1,2 – 1,7	1,8 – 2,3	2,4 – 3,0	> 3,0
> 30 %	< 2,0	2,0 – 2,4	2,5 – 3,0	3,1 – 3,5	> 3,5

Le rapport C/N est un bon indicateur de l'activité biologique du sol (Crespy, 2003) :

- C/N < 10 : très bonne activité biologique avec présence de MO en voie de décomposition
- 10 < C/N < 20 : activité biologique correcte, forte présence d'humus, stable
- C/N > 20 : activité biologique faible (cause : milieu asphyxiant, sol très acide ou très calcaire, faible taux de MO)

- Interprétation des teneurs en éléments minéraux du sol

La CEC (Capacité d'Echange Cationique) donne la capacité du sol à stocker les éléments minéraux sous forme assimilable (c'est le « garde-manger potentiel » du sol). D'après Magny et Baur (1975), la composition idéale du complexe absorbant est de 65 % de calcium, 10 % de magnésium et 5 % de potassium, le reste étant occupé par H<sup>+</sup> et éventuellement Al<sup>3+</sup>.

**Tableau 12.** Barème d'interprétation de la CEC et du réservoir alimentaire (Spring *et al.*, 2003)

CEC (meq/100g)	Appréciation	Réservoir alimentaire
< 12	Faible	Petit
12 à 20	Moyenne	Moyen
> 20	Forte	Grand

**Tableau 13.** Barème d'interprétation du taux de saturation en calcium et de l'état calcique (Spring *et al.*, 2003)

Saturation %	Appréciation	Etat calcique
< 40	Désaturé	Très pauvre
40 à 49	Légèrement saturé	Pauvre
50 à 59	Moyennement saturé	Satisfaisant
60 à 80	Quasi-saturé	Riche
> 80	Saturé	Très riche

✓ *Analyses foliaires*

Cette partie présente les teneurs en potassium, calcium, magnésium et azote des limbes à la floraison et à la véraison, obtenues pour les trois années d'étude. Les normes d'interprétation sont nombreuses et souvent mal adaptées pour ce cépage (cf. chapitre 3). Compte tenu des résultats obtenus en culture hors sol et en plein champ, nous avons mis en place un barème d'interprétation spécifique pour le Fer Servadou (tableau 14).

**Tableau 14** : Barème d'interprétation du diagnostic foliaire proposé par différents auteurs et spécifique au cépage Fer Servadou.

Auteur	Elément	stade	cépage	carence	faible	normal	elevé	excès
Crespy (2003)	K	véraison		< 0,8	0,81 à 0,90	0,91 à 1,1	1,11 à 1,40	> 1,40
Fregoni (1985)	K	floraison		<1	1 à 1,2	1,2 à 1,4	1,4 à 1,6	>1,6
Spring et al. (2003)	K	véraison	chasselas	<1,38		1,56 à 1,92		>2,10
Spring et al. (2003)	K	véraison	pinot noir	<1,45		1,59 à 1,87		>2,01
Spring et al. (2003)	K	véraison	gamay	<1,05		1,24 à 1,62		>1,82
Spring et al. (2003)	K	véraison	merlot	<1,95		2,10 à 2,40		>2,55
	K	floraison	Fer Servadou	<1	1 à 1,3	1,3 à 1,6	1,6 à 2	>2
	K	véraison	Fer Servadou	<0,8	0,8 à 1,1	1,1 à 1,3	1,3 à 2	>2
Fregoni (1985)	Ca	floraison		<2	2 à 2,5	2,5 à 3,5	2,5 à 3,5	>3,5
Spring et al. (2003)	Ca	véraison	chasselas	<2,07		2,49 à 3,33		>3,75
Spring et al. (2003)	Ca	véraison	pinot noir	<2,24		2,66 à 3,51		>3,94
Spring et al. (2003)	Ca	véraison	gamay	<3,07		3,42 à 4,14		>4,49
Spring et al. (2003)	Ca	véraison	merlot	<1,47		1,64 à 2,00		>2,17
	Ca	floraison	Fer Servadou	<1	1 à 1,5	1,5 à 2	2 à 2,5	>2,5
	Ca	véraison	Fer Servadou	<1,5	1,5 à 2	2 à 2,5	2,5 à 3	>3
Crespy (2003)	Mg	véraison		< 0,1	0,11 à 0,15	0,16 à 0,25	0,25 à 0,35	> 0,36
Fregoni (1985)	Mg	floraison		<0,2	0,2 à 0,23	0,23 à 0,27	0,27 à 0,3	>0,3
Spring et al. (2003)	Mg	véraison	chasselas	<0,154		0,192 à 0,270		>0,308
Spring et al. (2003)	Mg	véraison	pinot noir	<0,163		0,205 à 0,287		>0,329
Spring et al. (2003)	Mg	véraison	gamay	<0,145		0,209 à 0,337		>0,401
Spring et al. (2003)	Mg	véraison	merlot	<0,178		0,200 à 0,244		>0,266
	Mg	floraison	Fer Servadou	<0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,25	0,25 à 0,35	>0,35
	Mg	véraison	Fer Servadou	<0,15	0,15 à 0,25	0,25 à 0,35	0,35 à 0,45	>0,45
Crespy (2003)	N	véraison		< 1,7	1,71 à 1,90	1,91 à 2,10	2,11 à 2,50	> 2,50
Spring et al. (2003)	N	véraison	chasselas	<1,74		1,93 à 2,31		>2,50
Spring et al. (2003)	N	véraison	pinot noir	<1,93		2,08 à 2,38		>2,53
Spring et al. (2003)	N	véraison	gamay	<1,74		1,93 à 2,31		>2,50
Spring et al. (2003)	N	véraison	merlot	<1,85		1,98 à 2,24		>2,37
	N	floraison	Fer Servadou	<1,8	1,8 à 2,1	2,1 à 2,4	2,4 à 2,7	>2,7
	N	véraison	Fer Servadou	<1,6	1,6 à 1,8	1,8 à 2	2 à 2,2	>2,2
Fregoni (1985)	K/Mg	floraison		<3		3 à 7		>7
	K/Mg	floraison	Fer Servadou	<3	3 à 4	4 à 6	6 à 8	>8
	K/Mg	véraison	Fer Servadou	<2	2 à 3	3 à 5	5 à 7	>7
Fregoni (1985)	K/Ca	floraison		<0,45		0,45		>0,45
	K/Ca	floraison	Fer Servadou	<0,4	0,4 à 0,5	0,5 à 0,6	0,6 à 1	>1
	K/Ca	véraison	Fer Servadou	<0,25	0,25 à 0,35	0,35 à 0,45	0,45 à 0,65	>0,65
Fregoni (1985)	K/Ca+Mg	floraison		<0,3		0,3 à 0,4		>0,4
	K/Ca+Mg	floraison	Fer Servadou	<0,4	0,4 à 0,5	0,5 à 0,6	0,6 à 0,9	>0,9
	K/Ca+Mg	véraison	Fer Servadou	<0,3	0,3 à 0,4	0,4 à 0,5	0,5 à 0,8	>0,8
	Ca/Mg	floraison	Fer Servadou	<5	5 à 6	6 à 7	7 à 9	>9
	Ca/Mg	véraison	Fer Servadou	<5	5 à 7	7 à 9	9 à 11	>11

✓ *Etude climatologique*

- Indice d'aridité Martone : plus il est proche de 0, plus le climat est sec et chaud (calculé sur 20 ans).
- Quotient pluviométrique d'Emberger : plus il est grand, plus le climat est humide (calculé sur 20 ans).
- Indice de Winkler : correspond à la somme des températures efficaces (températures supérieures à 10° C) du 1er avril au 30 octobre. D'après Crespy (2003), la somme des températures efficaces (teff) permet de déterminer les dates théoriques des différents stades phénologiques de la vigne.
  - débourrement : cépages précoces  $\Sigma t_{\text{eff}} = 20^{\circ} \text{C}$ , cépages tardifs  $\Sigma t_{\text{eff}} = 60 \text{ à } 80^{\circ} \text{C}$
  - stade boutons floraux séparés :  $\Sigma t_{\text{eff}} = 180^{\circ} \text{C}$
  - floraison : durée du jour > 10h et  $TM_j = 19^{\circ} \text{C}$
  - nouaison :  $\Sigma t_{\text{eff}} = 350 \text{ à } 450^{\circ} \text{C}$
  - véraison :  $\Sigma t_{\text{eff}} = 1\ 050 \text{ à } 1\ 150^{\circ} \text{C}$
  - maturité :  $\Sigma t_{\text{eff}} = 1\ 350 \text{ à } 1\ 750^{\circ} \text{C}$
- Indice de Bessemoulin : plus il est faible, plus le millésime est sec et chaud (calculé du 1er mars au 1er novembre).

## 2. Appellation Marcillac

### 2.1. Parcelle A1

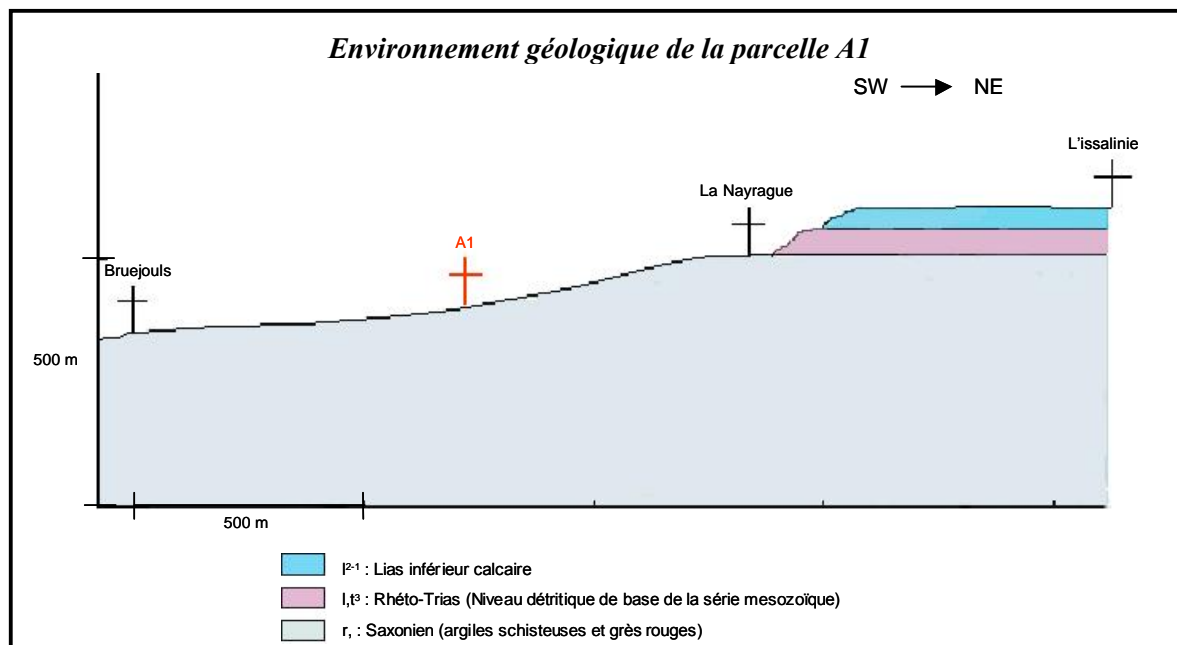
#### 2.1.1. Caractéristiques générales de la parcelle

<b>Localisation</b>	Bruejous
<b>Contact</b>	Matha Jean-Luc Bruejous 12 330 CLAIRVAUX
<b>Situation</b>	Bas de coteaux
<b>Altitude</b>	380 m
<b>Topographie</b>	Faible pente
<b>Exposition</b>	Sud-ouest
<b>Géologie</b>	Argiles schisteuses et grès rouge (Primaire, Permien, Saxonien)
<b>Type de sol</b>	CPCS : sols peu évolués non climatiques d'apport colluvial RP : colluviosol recarbonaté Locale : Rougier de Marcillac
<b>Drainage interne</b>	drainage bon
<b>Perméabilité</b>	moyenne
<b>Cépage</b>	Fer servadou (sélection massale) Age : plus de 30 ans PG : Riparia Gloire
<b>Densité de plantation</b>	4525 pieds/ha (2,2 m x 1 m)
<b>Travail de la vigne</b>	Taille : Guyot simple (9B + 2C) Effeillage : côté soleil levant Rognages et vendanges en vert : si nécessaire Rendement moyen : 50 – 60 hl/ha
<b>Entretien du sol</b>	Travail du sol régulier 1 désherbage sur le rang (Round-up) Apport annuel : 500 kg/ha de MO et 200 kg/ha de PRP
<b>Station météo</b>	Bruejous

### 2.1.2. Etude géo-morpho-pédologique

#### ➤ Géologie :

Cette unité géo-morpho-pédologique est caractérisée par la couleur rouge de son substratum géologique composé de grès, de pélites ou de schistes (Saxonien). Cette unité se trouve en contrebas des marnes et calcaires du secondaire dont elle subit les influences : éboulis calcaires et recarbonatation. La zone des Rougiers de Marcillac constitue une dépression dans le paysage environnant.



#### ➤ Lithologie :

Pélites, psammites et grès fins (pélites : roche friable se délitant en petite plaquettes, très sensible à l'érosion)

#### ➤ Géomorphologie :

Les pélites, très sensibles à l'érosion forment un paysage raviné.

Les grès forment des replats structuraux de pentes faibles.

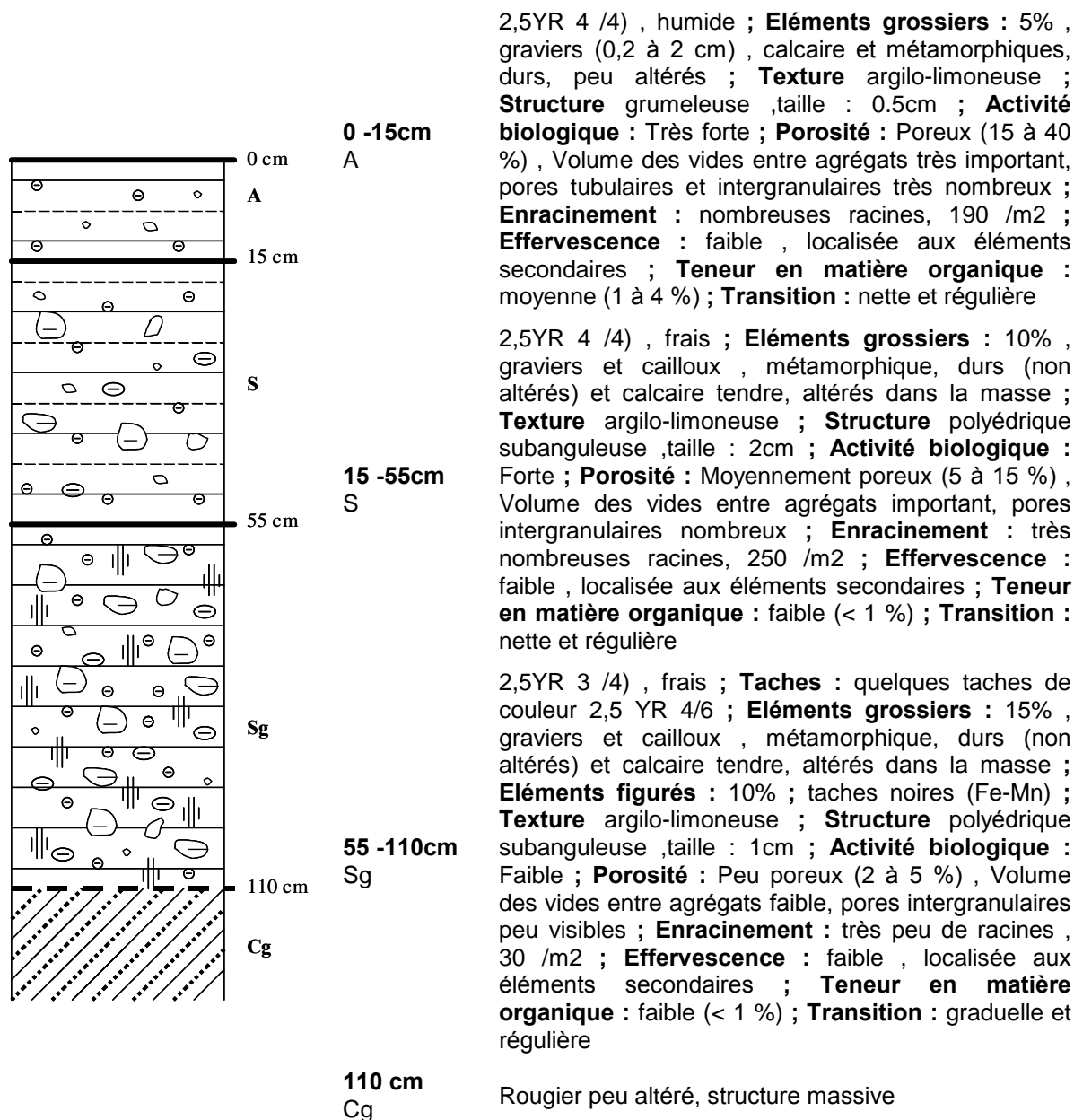
#### ➤ Pédogenèse :

Les processus pédogénétiques sont :

- l'érosion en pentes moyennes à fortes et accumulation en pente faible
- l'altération du substratum géologique en situation de pentes peu marquées (replats) : les grès donnent des rougiers sableux, les pélites donnent des rougiers à débit cubique, les schistes des rougiers à débit feuilleté
- la carbonatation par des apports latéraux.

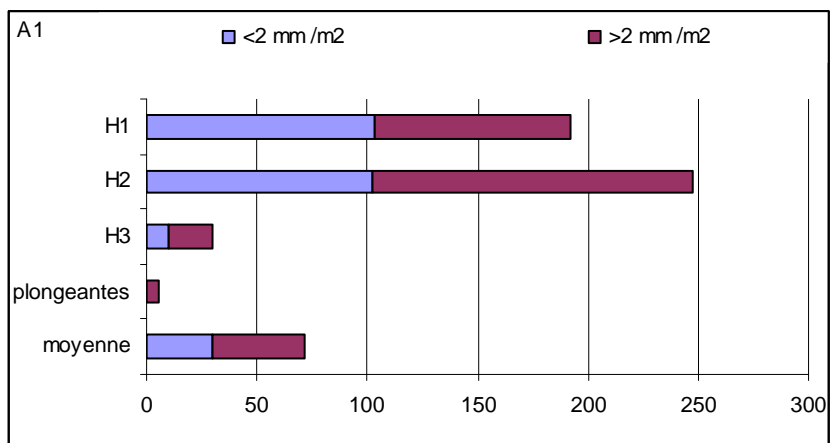
Ces sols sont profonds, peu évolués et influencés par les matériaux calcaires d'apport colluvial.

## ➤ Profil pédologique :



**Commentaires** : Sol assez profond, argileux, stable et bien structuré. La teneur en matière organique, l'activité biologique et la porosité sont correctes dans les horizons de surface mais diminuent rapidement en profondeur. Les horizons profonds sont compacts et hydromorphes.

➤ **Profil racinaire :**



**Commentaires :** Le développement racinaire est important dans les horizons de surface mais il est rapidement limité en profondeur en raison de la compacité et de l'hydromorphie du sol. Seules quelques racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds ne permettant qu'une alimentation hydrique faible au cours de la saison sèche.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil**

limites	Granulométrie en %				
	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-15 cm	33	34	13	12	8
15-55 cm	35	37	11	9	8
55-110 cm	34	38	11	9	8
110-200 cm	28	42	14	6	10

**Commentaires :**

- Texture ALs (argilo-limoneuse), équilibrée
- Sol lourd (A>30%)
- Stabilité : stable
- Capacité de rétention : bonne (120 mm/m)
- Battance : non battant (IB=1,1)
- Très grand risque d'asphyxie
- Aptitude à la fissuration bonne



limites	pH	
	pH eau	pH KCl
0-15 cm	7.4	7.6
15-55 cm	7.8	7.8
55-110 cm	8	8
110-200 cm	8.1	8.1

**Commentaires :**

- pH alcalin
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

#### Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-15 cm	0.9	1.7	1.1	12.8
15-55 cm	0.3	0.5	0.5	1.7
55-110 cm	0.2	0.3	0.4	1.2
110-200 cm	-	-	0.3	1.6

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique faible pour ce type de sol argileux
- C/N < 10 : vie biologique intense et MO en voie de décomposition
- Teneur en azote moyenne (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Olsen) médiocre (biodisponibilité moyenne)

#### Cations Echangeables en meq/100g

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-15 cm	7.6	3	0.93	18.9
15-55 cm	7.7	3.9	0.85	18.8
55-110 cm	5.7	3.8	0.74	17.6
110-200 cm	3.8	2.4	0.79	16.8

**Commentaires :**

- CEC moyenne, taux de saturation correct (> 60 %)
- Teneur en K élevée (5 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
- Teneur en Ca moyenne (40 % de la CEC), bonne biodisponibilité
- Teneur en Mg élevée (20 % de la CEC), faible biodisponibilité
- Sol fertile, riche en potassium et magnésium, bien équilibré

**2.1.3. Analyses foliaires**

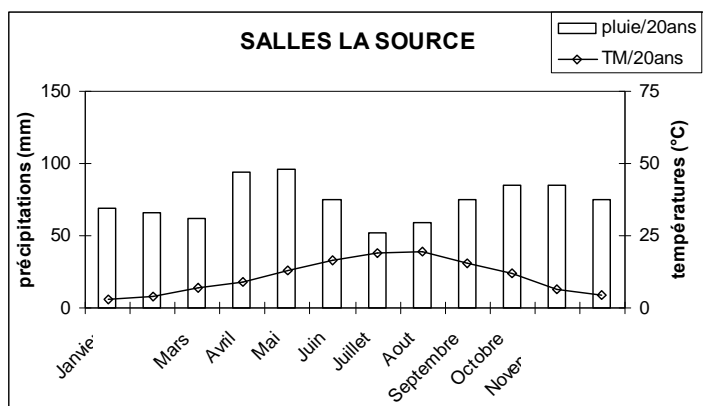
élément	2001		2002		2003	
	floraison	véraison	floraison	véraison	floraison	véraison
<b>K</b>	1,3	1,1	1,0	0,95	0,9	0,8
<b>Ca</b>	2,2	2,5	1,8	3	2,0	3,0
<b>Mg</b>	0,37	0,61	0,32	0,75	0,29	0,44
<b>N</b>	2,36	1,76	2,36	1,78	2,21	1,76

- Commentaires :**
- Teneurs en azote et potassium moyennes
  - Teneurs en calcium satisfaisantes
  - Teneurs en magnésium élevées
  - Rapports cationiques assez bas

Alimentation minérale correcte et assez équilibrée. Un apport en potassium et calcium permettrait une alimentation potassique plus importante d'une part et d'autre part une augmentation du taux de saturation du sol.

**2.1.4. Etude climatologique**

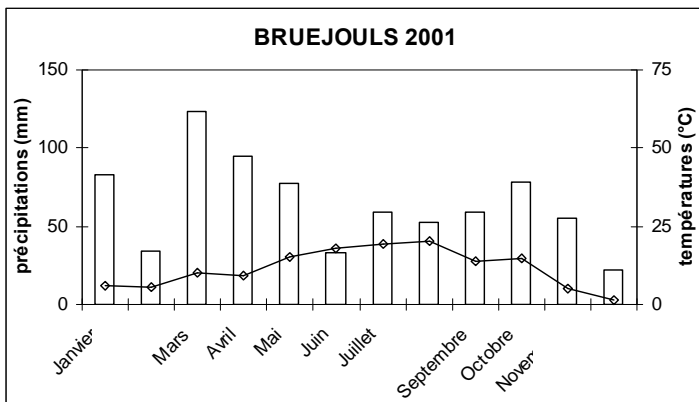
➤ **Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002**



- Aridité de Martone :  $I_q = 43$
- Quotient pluviométrique :  $Q = 228$

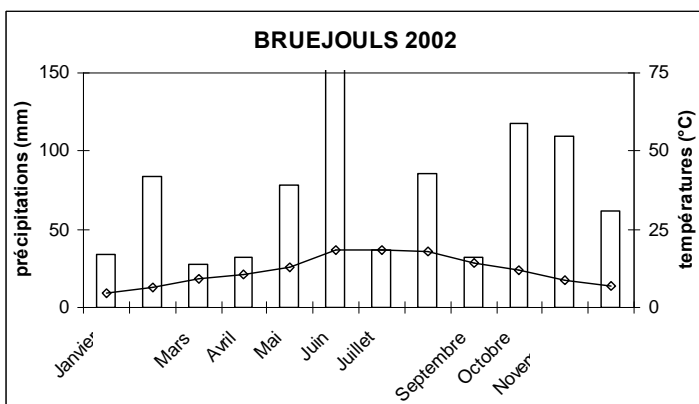
**Commentaires :** Le climat est humide et frais. Les pluies sont assez bien réparties et seuls les mois de Juillet et Août sont secs.

➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



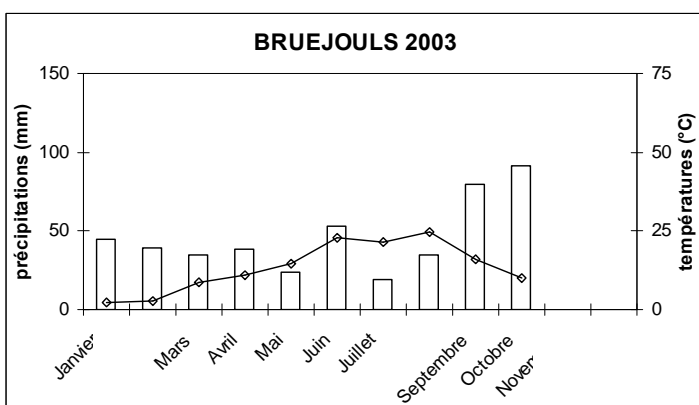
- Indice de Winkler :  $I_w = 1272$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,57$

**Commentaires :** L'année est légèrement plus chaude et sèche que la normale surtout en juin et septembre. L'indice de Winkler indique que le climat est limite pour la culture de la vigne. L'indice de Bessemoulin indique que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1079$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,74$

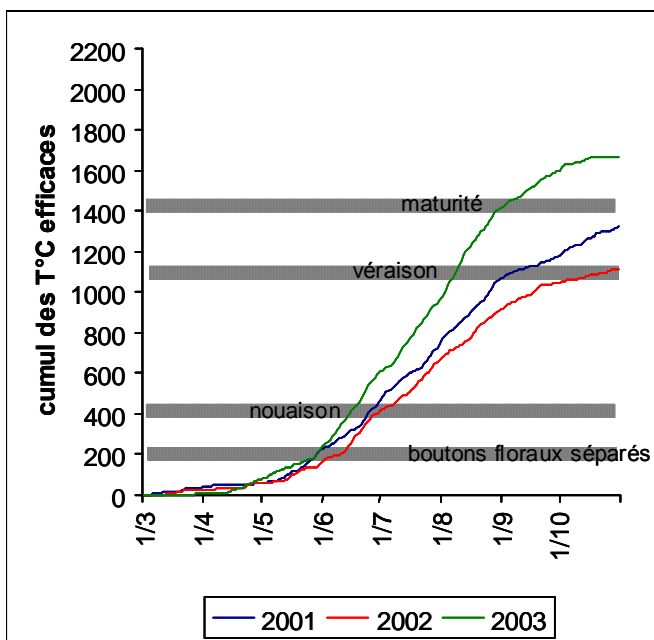
**Commentaires :** Les températures des mois de Juillet et Août sont faibles ainsi que l'indice de Winkler. L'indice de Bessemoulin est élevé en liaison avec les températures plus fraîches et les pluies plus importantes des mois de Juin, Août, Octobre et Novembre.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1652$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,22$

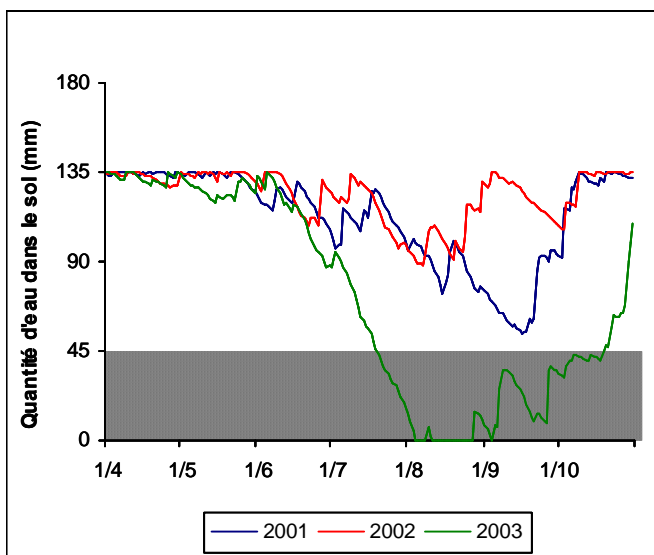
**Commentaires :** Les températures des mois de Juin à Septembre sont élevées et les pluies très faibles. L'année est très sèche et chaude. L'indice de Bessemoulin est très faible indiquant un déficit hydrique important.

➤ **Températures efficaces**



La somme des températures efficaces montre que la maturité théorique n'est pas atteinte en 2001 et 2002 et confirme que le climat est limitant pour une bonne maturation des raisins. Cependant, il n'est pas tenu compte de l'exposition de la parcelle qui joue un rôle important car elle permet d'augmenter considérablement l'apport énergétique. Aussi, sur ce type de terroir l'effet millésime est très important : en 2003 la date de maturité théorique est proche de celles obtenues sur les autres terroirs.

➤ **Bilans hydriques**



La parcelle est peu sensible au stress hydrique. En 2002 et 2003 la quantité d'eau contenue dans le sol est toujours suffisante (réserve utile non épuisée). En 2003, les faibles précipitations et les fortes températures ont entraîné un stress hydrique durant une période assez courte comparativement aux autres parcelles.

## 2.2. Parcelle A2

### 2.2.1. Caractéristiques générales de la parcelle

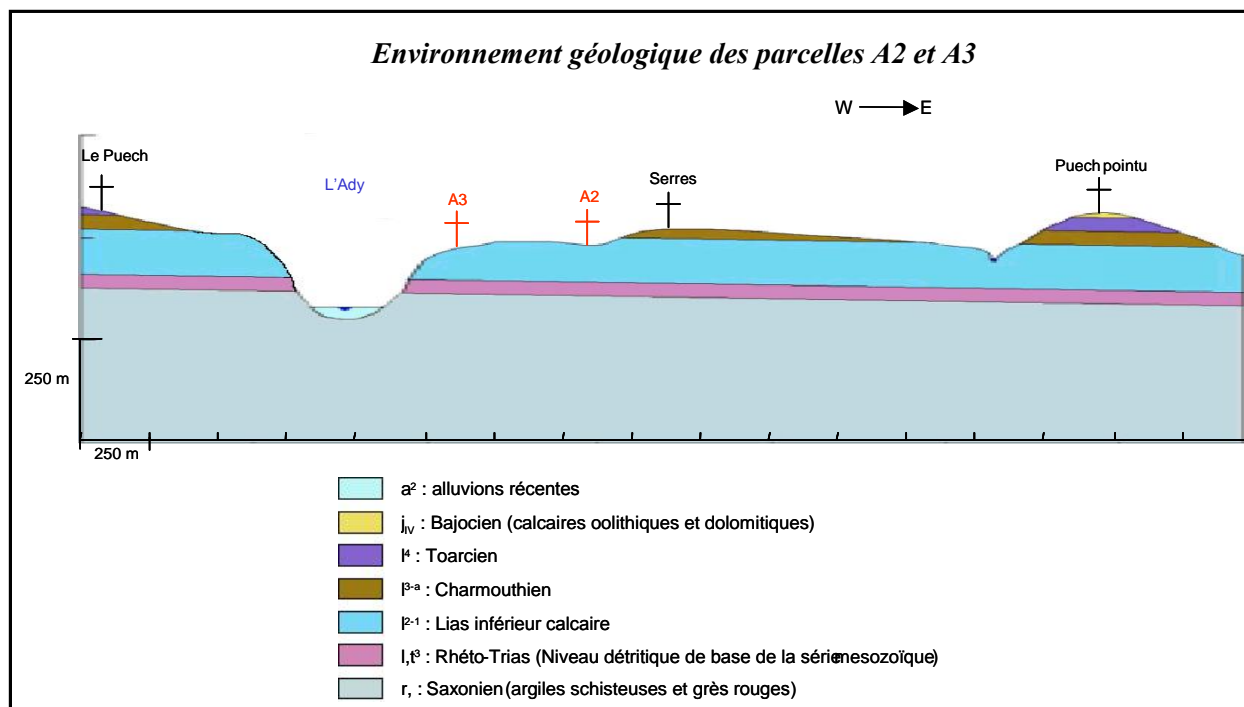
Localisation	Valady (Costecalde)
Contact	Anglade Georges Serres 12 330 Valady
Situation	Côteaux
Altitude	480 m
Topographie	Terrasse 2 rangs
Exposition	Sud-ouest
Géologie	Lias inférieur calcaire (Secondaire, Jurassique inférieur)
Type de sol	CPCS : sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire RP : calcosol dolomiteux Locale : rendzine
Drainage interne	drainage bon
Perméabilité	moyenne
Cépage	Fer servadou clone inconnu Année de plantation : 1972 PG : Riparia Gloire
Densité de plantation	5 555 pieds/ha (1,8 m x 1m)
Travail de la vigne	Taille : Guyot simple Effeillage : oui (2 faces côté talus) Rognage : oui (1,8 m) Vendange en vert : oui Rendement moyen : 50 à 55 hl/ha
Entretien du sol	Enherbement naturel et désherbage sur le rang (manuel) Aucun apport depuis 1999
Station météo	Valady

## 2.2.2. Etude géo-morpho-pédologique

### ➤ Géologie : Petits plateaux calcaires du Lias (avant causes)

Le Lias affleure en contrebas des plateaux calcaires jurassiques (causses), il comprend des étages de roches dures calcaires qui forment des petits plateaux calcaires dont la physionomie ressemble aux grands plateaux calcaires du causse.

Le Jurassique inférieur ou Lias est composé d'étages de roches dures dominants dans sa partie inférieure (Hettangien, Sinémurien) et d'étages de roches tendres dominants dans sa partie supérieure (Carixien, Bomérien).



### ➤ Lithologie :

Le faciès dolomitique est prédominant. Le Sinémurien est composé essentiellement de calcaire plus ou moins dolomitique, compact et dur, à grains fins, grisâtre ou blanchâtre, souvent blanc. Les calcaires sont karstifiés.

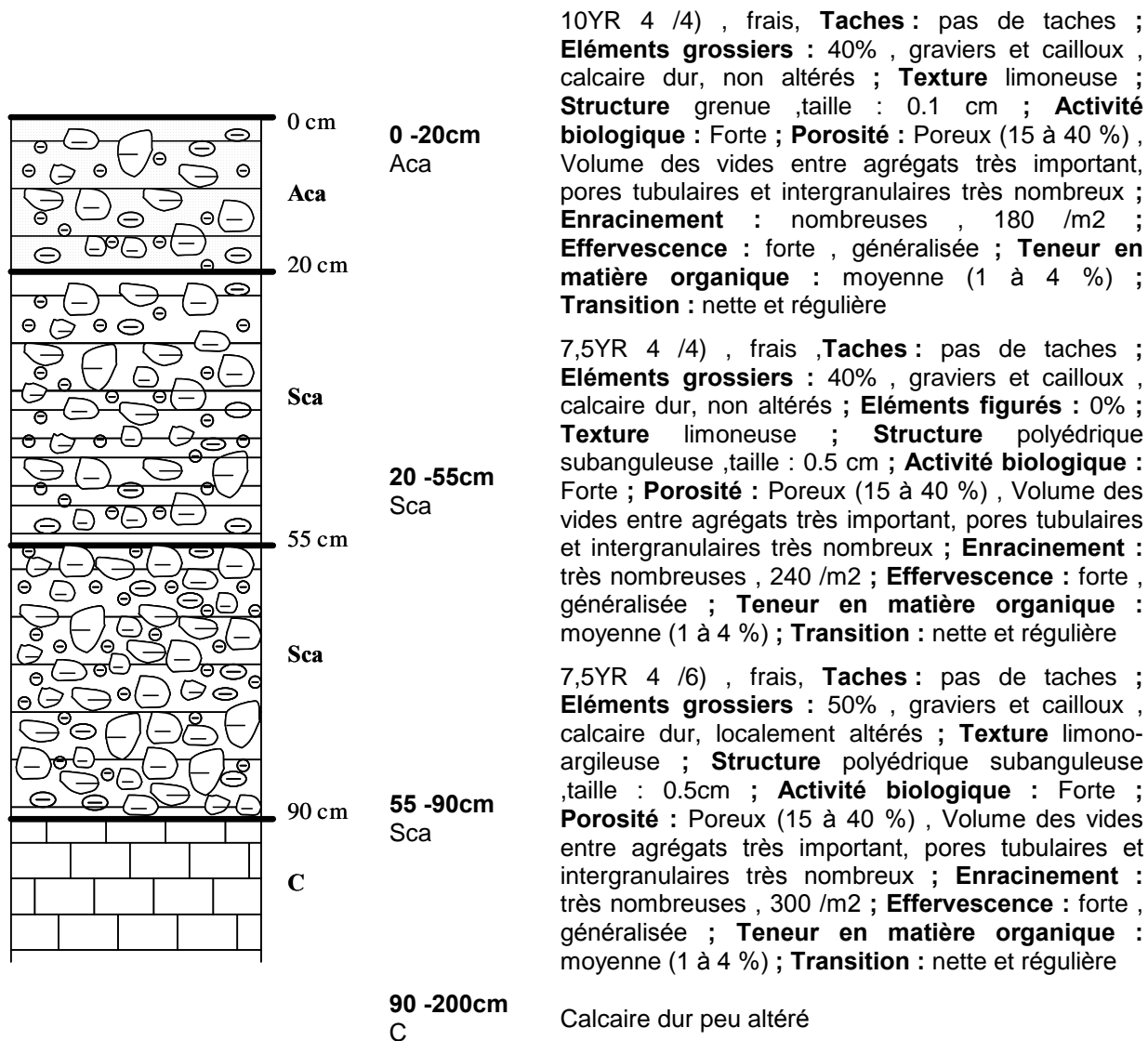
### ➤ Géomorphologie :

Paysage de plateaux karstifiés avec des dépressions fermées (dolines) formées à partir de roches dures à grains fins (Sinémurien).

### ➤ Pédogénèse :

Elle est marquée par la prédominance de roches dures et cohérentes, résistantes à l'altération et à la décomposition. Les roches à grains grossiers (dolomie) et calcaire donnent des sols sableux très souvent profonds. Les roches à grains fins sont moins altérées et donnent des sols plus superficiels et argileux. La richesse en calcium et magnésium de la roche mère donne des sols calcimagnésiques à pH basique.

➤ Profil pédologique :

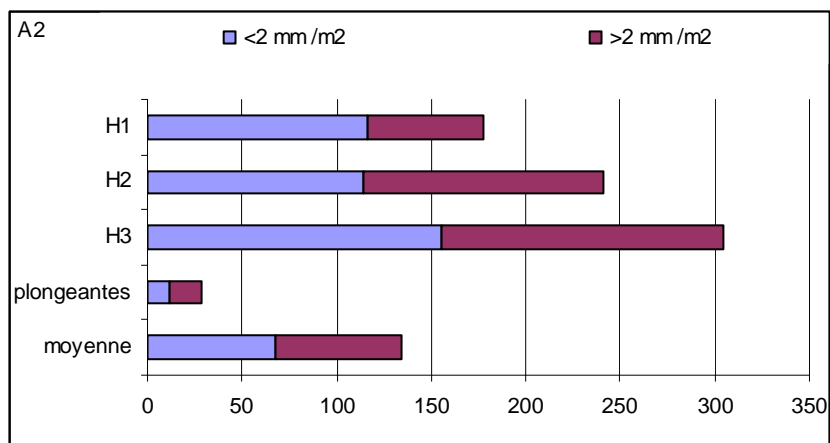


**Commentaires** : Sol moyennement profond, limoneux, très caillouteux, calcaire. Très bonne teneur en matière organique et activité biologique intense sur l'ensemble du profil. Sol léger et bien aéré.



**Photo 2.** Photo du profil de la parcelle A2

➤ **Profil racinaire :**



**Commentaires :** Très nombreuses racines sur l'ensemble du profil et racines plongeantes assez nombreuses permettant une alimentation hydrique correcte au cours de la saison sèche.



➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil****Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-20 cm	18	52	12	4	14
20-55 cm	20	50	10	5	15
55-90 cm	23	48	9	5	15

**Commentaires :**

- texture La (Limono-argileuse)
- sol léger à moyen
- Stabilité : instable
- Capacité de rétention : bonne (120 mm/m)
- Battance : battant (IB=1,7)
- Risque d'asphyxie : moyen
- Aptitude à la fissuration : moyenne

**pH , calcaire total et actif (%CaCO3)**

limites	pH eau	pH Kcl	Calc. total	Calc Actif
0-20 cm	7.6	7.9	62	3,4
20-55 cm	7.9	8.2	68	4,5
55-90 cm	8.1	8.4	55	4,9

**Commentaires :**

- pH alcalin
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol très calcaire et porte-greffe peu adapté

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-20 cm	1.4	2.6	1.3	14.7
20-55 cm	1.2	2.1	1.2	4.4
55-90 cm	0.9	1.5	0.8	8.7

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique élevée
- C/N = 10 : bonne activité biologique et présence d'humus stable
- Teneur en azote élevée (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Olsen) faible (faible biodisponibilité)

**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-20 cm	9.2	2.1	0.84	16.4
20-55 cm	9.9	2.2	0.61	13.4
55-90 cm	10.1	2.6	0.51	17.8

- Commentaires :**
- CEC moyenne, taux de saturation élevé
  - Teneur en K élevée (5% de la CEC), biodisponibilité moyenne
  - Teneur en Ca élevée (60 % de la CEC), forte biodisponibilité
  - Teneur en Mg satisfaisante (15 % de CEC), faible biodisponibilité
  - Sol fertile, riche en calcium et potassium, bien équilibré

**2.2.3. Analyses foliaires**

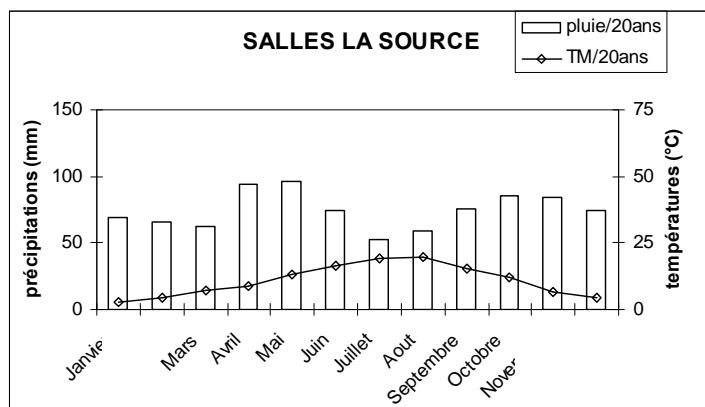
	2001		2003	
	floraison	veraison	floraison	veraison
K	1,1	0,9	0,7	0,6
Ca	2,2	2,7	1,9	2,45
Mg	0,30	0,47	0,20	0,23
N	2,70	1,83	2,23	1,66

- Commentaires :**
- Teneurs en calcium, magnésium et azote correctes
  - Teneurs en potassium faibles
  - Rapports cationiques K/Ca, K/Mg et K/Ca+Mg faibles

La nutrition minérale est correcte mais relativement faible en potassium. Une fertilisation potassique diminuerait les risques de carence potassique.

**2.2.4. Etude climatologique**

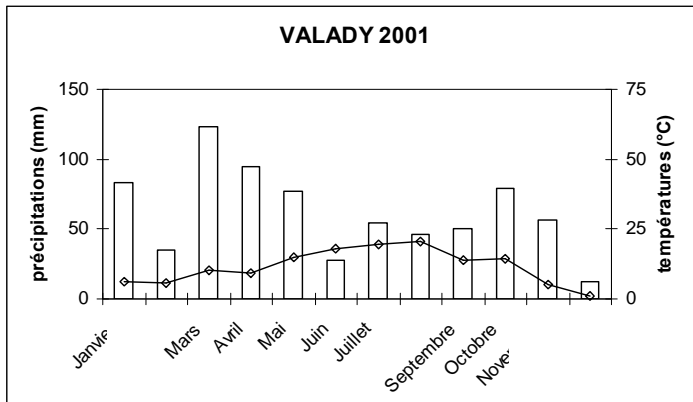
➤ **Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002**



- Aridité de Martone : Iq = 43
- Quotient pluviométrique : Q = 228

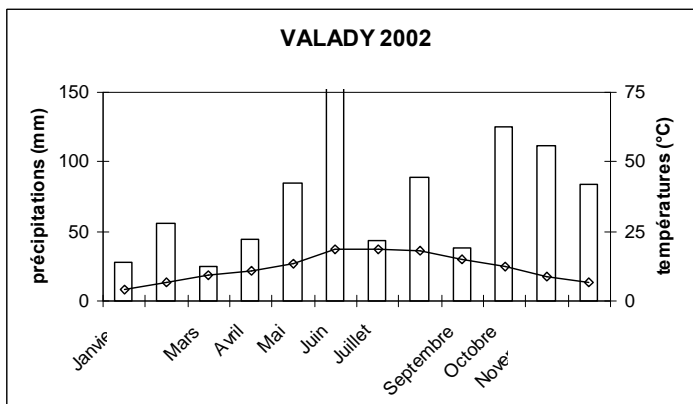
**Commentaires :** Le climat est humide et frais. Les pluies sont assez bien réparties et seuls deux mois sont secs.

➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



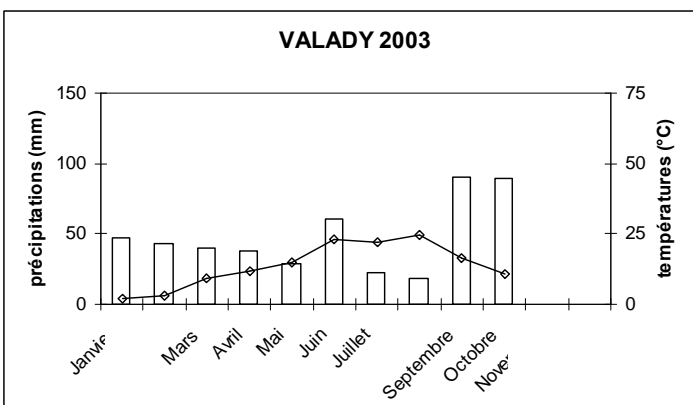
- Indice de Winkler :  $I_w = 1313$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,54$

**Commentaires :** L'année est légèrement plus chaude et sèche que la normale surtout en juin et septembre. L'indice de Winkler indique que le climat est limite pour la culture de la vigne. L'indice de Bessemoulin indique que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1154$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,80$

**Commentaires :** Les températures des mois de Juillet et Août sont faibles ainsi que l'indice de Winkler. L'indice de Bessemoulin est élevé en liaison avec les températures plus fraîches et les pluies plus importantes des mois de Juin, Août, Octobre et Novembre.

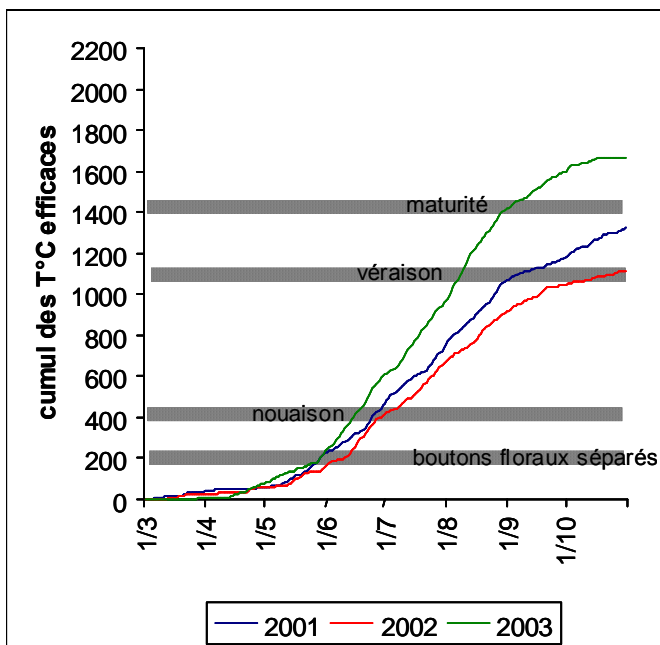


- Indice de Winkler :  $I_w = 1721$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,22$

**Commentaires :** Les températures des mois de Juin à Septembre sont élevées et les pluies très faibles. L'année est très sèche et chaude. L'indice de Bessemoulin est très faible indiquant un déficit hydrique important.

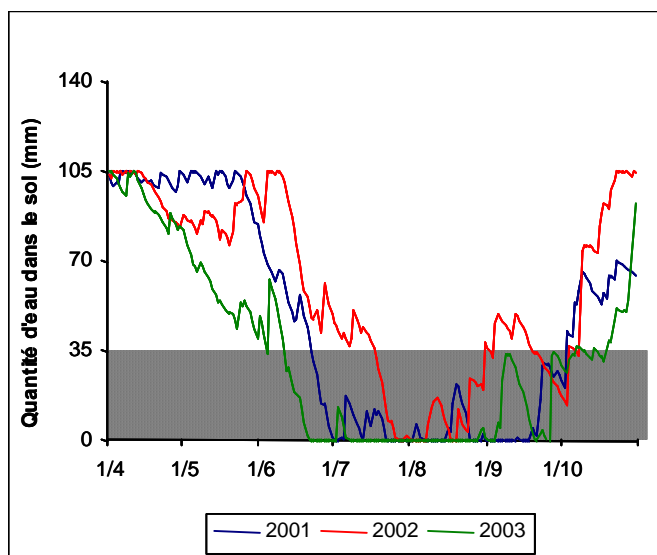
**Remarque :** Le microclimat de cette parcelle est plus chaud et sec que celui de la parcelle A1.

➤ Températures efficaces



**Commentaires :** La somme des températures efficaces montre que la maturité théorique n'est pas atteinte en 2001 et 2002 et confirme que le climat est limitant pour une bonne maturation des raisins. Cependant, il n'est pas tenu compte de l'exposition de la parcelle qui joue un rôle important car elle permet d'augmenter considérablement l'apport énergétique. Aussi, sur ce type de terroir, l'effet millésime est très important : en 2003 la date de maturité théorique est proche de celles obtenues sur les autres terroirs.

➤ Bilans hydriques



**Commentaires :** La parcelle est assez sensible au stress hydrique. Au cours des trois années d'étude, des déficits hydriques sont observés : de fin juin à début octobre 2001, de mi-juillet à début septembre 2002 et de mi-juin à fin octobre 2003. Ces stress sont assez long et peuvent par conséquent provoquer des blocages de maturité.

### 2.3. Parcelle A3

#### 2.3.1. Caractéristiques générales de la parcelle

Localisation	Valady (Cazorgues)
Contact	Anglade Georges Serres 12 330 Valady
Situation	Coteaux
Altitude	480 m
Topographie	Pente assez importante (10%)
Exposition	Sud ouest
Géologie	Lias inférieur calcaire (Secondaire, Jurassique inférieur)
Type de sol	CPCS : calcimagnésique carbonaté brun calcaire à pseudogley RP : calcosol redoxique Locale : rendzine
Drainage interne	drainage bon
Perméabilité	moyenne
Cépage	Fer servadou clone inconnu Année de plantation : 1972 PG : Riparia Gloire
Densité de plantation	5 555 pieds/ha (1,8m x 1 m)
Travail de la vigne	Taille : guyot simple Effeillage : oui (1,8 m) Rognage : oui Vendange en vert : oui Rendement moyen : 50-55 hl/ha
Entretien du sol	Enherbement naturel et désherbage sur le rang (manuel) Aucun apport depuis 1999
Station météo	Valady

### 2.3.2. Etude géo-morpho-pédologique

#### ➤ Géologie, Lithologie, Géomorphologie, Pédogénèse :

Cf. parcelle A2 (p. 101)

#### ➤ Profil pédologique :

<b>0 -40cm</b> Aca	10YR 4 /3) , frais ; <b>Eléments grossiers</b> : 20% , graviers et cailloux , calcaire dur, non altérés ; <b>Texture</b> argilo-limoneuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; <b>Activité biologique</b> : Moyenne ; <b>Porosité</b> : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats important, pores intergranulaires très nombreux ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 200 /m2 ; <b>Effervescence</b> : forte , généralisée ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : distincte et régulière
<b>40 -70cm</b> Sca	7,5YR 3 /2) , frais ; <b>Taches</b> : taches peu étendues de couleur 10 YR 5/3 ; <b>Eléments grossiers</b> : 30% , graviers et cailloux , calcaire dur, non altérés à altérés dans la masse ; <b>Texture</b> argileuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; <b>Activité biologique</b> : Moyenne ; <b>Porosité</b> : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats important, pores intergranulaires très nombreux ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 140 /m2 ; <b>Effervescence</b> : forte , généralisée ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : nette et ondulée
<b>70 -80cm</b> Sca	10YR 4 /4) , frais , <b>Taches</b> : pas de taches ; <b>Eléments grossiers</b> : 10% , graviers et cailloux , calcaire dur, non altérés à altérés dans la masse ; <b>Texture</b> argileuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 5cm ; <b>Activité biologique</b> : Faible ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores intersticiels ; <b>Enracinement</b> : peu nombreuses , 90 /m2 ; <b>Effervescence</b> : forte , généralisée ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %) , restes invisibles ; <b>Transition</b> : nette et ondulée
<b>80 -100cm</b> Scag	2,5Y 5 /4) , frais ; <b>Taches</b> : nombreuses taches de couleur 10 YR 5/8 ; autres taches (gley2 6/10 b) , <b>Taches d'oxydation</b> : assez nombreuses (5 à 15 %) , <b>Taches de réduction</b> : assez nombreuses (5 à 15 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 10% , graviers et cailloux , calcaire dur, non altérés à altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 10% ; éléments ferrugineux sous forme diffuse, gley ; <b>Texture</b> argileuse ; <b>Structure</b> continue ou massive ; <b>Activité biologique</b> : Faible ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores intersticiels ; <b>Enracinement</b> : très peu nombreuses , 20 /m2 ; <b>Effervescence</b> : forte , généralisée ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %) ; <b>Transition</b> : distincte et ondulée
<b>100 -200cm</b> Scag	2,5Y 5 /4) , frais ; <b>Taches</b> : très nombreuses taches de couleur gley2 6/5 b ; nombreuses autres taches (7,5 YR 5/8) , <b>Taches d'oxydation</b> : nombreuses (15 à 40 %) , <b>Taches de réduction</b> : nombreuses (15 à 40 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 10% , graviers et cailloux , calcaire dur, fortement altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 40% ; éléments ferrugineux sous forme diffuse, gley ; <b>Texture</b> argileuse ; <b>Structure</b> continue ou massive ; <b>Activité biologique</b> : Nulle ; <b>Porosité</b> : Non poreux (< 2 %) , Volume des vides entre agrégats très faible, pores intersticiels ; <b>Enracinement</b> : très peu nombreuses , 15 /m2 ; <b>Effervescence</b> : forte , généralisée ; <b>Teneur en matière organique</b> : absente

**Commentaires :** Sol profond, argileux, assez caillouteux, calcaire. Teneur en matière organique et activité biologique moyennes. Les horizons profonds sont hydromorphes.

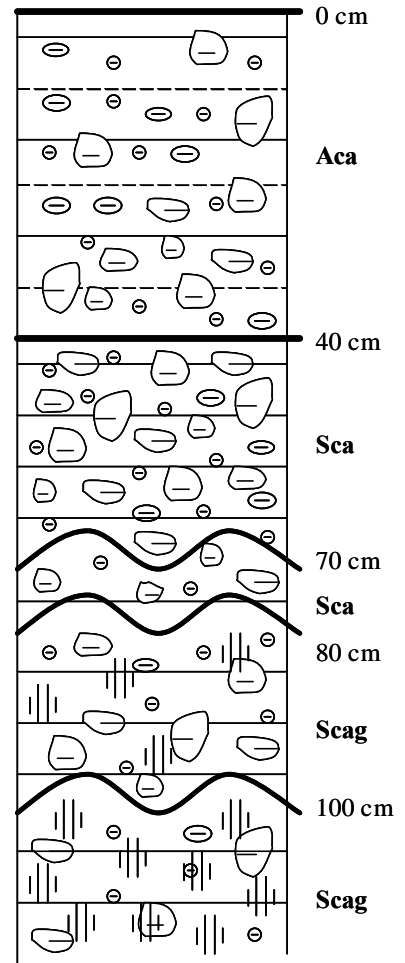
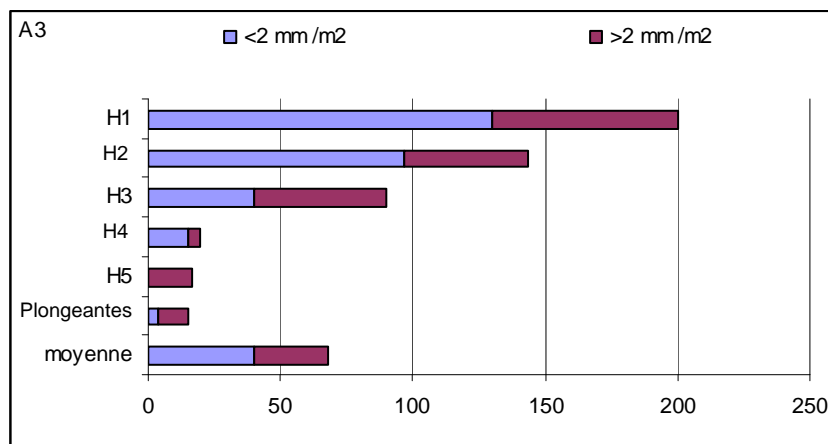


Photo 3. Photo du profil de la parcelle A3

➤ Profil racinaire :



**Commentaires :** Le développement racinaire est important en surface mais il diminue rapidement en profondeur car le sol devient compact et hydromorphe. Seules quelques racines plongeantes parviennent à pénétrer ces horizons compacts ne permettant qu'une alimentation hydrique faible au cours de la saison sèche.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil****Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-40 cm	36	42	8	4	11
40-70 cm	45	40	6	2	7
70-80 cm	54	36	4	2	4
80-100 cm	50	40	5	2	3
100-200 cm	48	44	1	1	7

**Commentaires :**

- texture Al (argileuse), sol lourd
- Stabilité : stable
- Capacité de rétention : très bonne (160 mm/m)
- Battance : non battant (IB<0,9)
- Risque d'asphyxie : très grand
- Aptitude à la fissuration : très bonne

**pH , calcaire total et actif (%CaCO3)**

limites	pH eau	pH KCl	Calc. total	Calc Actif
0-40 cm	7.6	7.7	31	3,5
40-70 cm	7.6	7.5	16	3,5
70-80 cm	7.7	7.6	4	2,8
80-100 cm	7.9	7.9	15	4,5
100-200 cm	8	8.1	18	8,8

**Commentaires :**

- pH alcalin
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol calcaire et porte-greffe peu adapté

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	MO	Azote totale	Phosphore
0-40 cm	1.5	2.8	1.6	9
40-70 cm	1.4	2.6	1.3	2.9
70-80 cm	0.8	1.5	0.9	1.3
80-100 cm	0.3	0.6	0.4	0.8
100-200 cm	ND	ND	0.4	1.4

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique normale
- C/N < 10 : bonne activité biologique et Mo en voie de décomposition
- Teneur en azote moyenne (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Olsen) faible (faible biodisponibilité)



**Cations Echangeables en Méq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-40 cm	14.6	2.7	0.89	22
40-70 cm	21.7	3.8	0.66	28.1
70-80 cm	17.3	3.9	0.58	26.9
80-100 cm	12.2	3.4	0.62	21.5
100-200 cm	17.3	3.9	0.57	22.5

**Commentaires :**

- CEC très élevée, taux de saturation très élevé
- Teneur en K normale (2 à 4 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
- Teneur en Ca élevée (70 % de la CEC), forte biodisponibilité
- Teneur en Mg satisfaisante (15 % de CEC), faible biodisponibilité
- Sol fertile, riche, très bien équilibré

**2.3.3. Analyses foliaires**

	2001		2002		2003	
	floraison	véraison	floraison	véraison	floraison	véraison
<b>K</b>	1,2	1,0	1,3	0,9	0,8	0,9
<b>Ca</b>	2,8	2,8	2,2	3,1	1,8	2,5
<b>Mg</b>	0,35	0,32	0,28	0,5	0,18	0,22
<b>N</b>	2,36	1,59	2,31	1,62	2,06	1,52

**Commentaires :**

- Teneurs en calcium assez élevées
- Teneurs en potassium et magnésium correctes
- Teneurs en azote faibles
- Rapports cationiques K/Ca et K/Ca+Mg faibles

La nutrition minérale est bonne mais un peu faible en potassium et surtout en azote. Une fertilisation potassique et un amendement organique permettrait une alimentation minérale plus équilibrée.

### 2.3.4. Etude climatologique

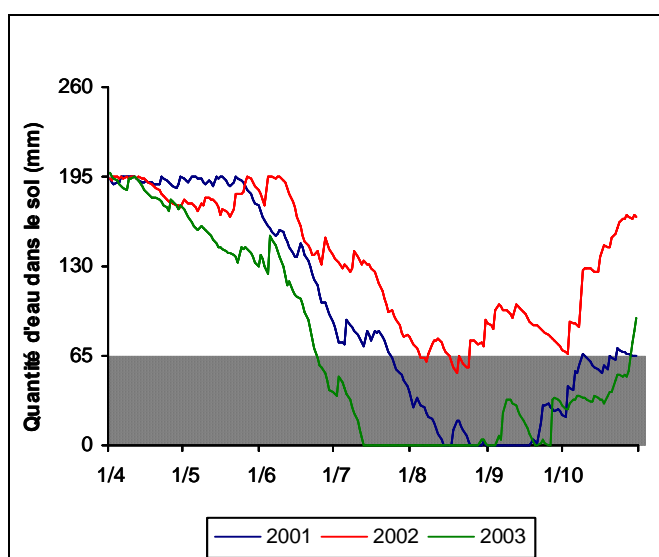
➤ **Diagrammes ombrothermiques de la période 1982 à 2002 et des années 2001, 2002 et 2003.**

Cf. parcelle A2 (p.105 et 106)

➤ **Températures efficaces**

Cf. parcelle A2 (p.107)

➤ **Bilans hydriques**



**Commentaires :** La parcelle est moyennement sensible au stress hydrique. En 2001, un déficit hydrique assez long est observé de mi-juillet à fin septembre. En 2002, la quantité d'eau contenue dans le sol est suffisante (réserve utile non épuisée). En 2003, le déficit apparaît tardivement (mi-juillet) par rapport à d'autres terroirs.

## 2.4. Parcelle A4

### 2.4.1. Caractéristiques générales de la parcelle

Localisation	Marcillac Vallon (Le Cayla)
Contact	Aurejac Patrick Cantagrel 12 330 St Christophe Vallon
Situation	Coteaux
Altitude	450m
Topographie	Terrasse 2 rangs (forte pente)
Exposition	Sud
Géologie	Lias (Secondaire, Jurassique inférieur)
Type de sol	CPCS : sols calcimagnésiques carbonatés bruns calcaires à pseudogley RP : calcosol redoxique Locale : rendzine
Drainage interne	drainage favorable
Perméabilité	moyenne
Cépage	Fer servadou (sélection massale) Année de plantation : 1976 PG : Riparia gloire
Densité de plantation	6 950 pieds/ha (1,8 m x 0,8 m)
Travail de la vigne	Taille : guyot simple (9B / 2C) Rognage à 1, 80 m Effeillage : non Vendange en vert : oui Rendement moyen : 50 à 55 hl/ha
Entretien du sol	Enherbement naturel maîtrisé Désherbage foliaire sur le rang Apport en 2001 de 200 kg/ha de patentkali
Station météo	Marcillac

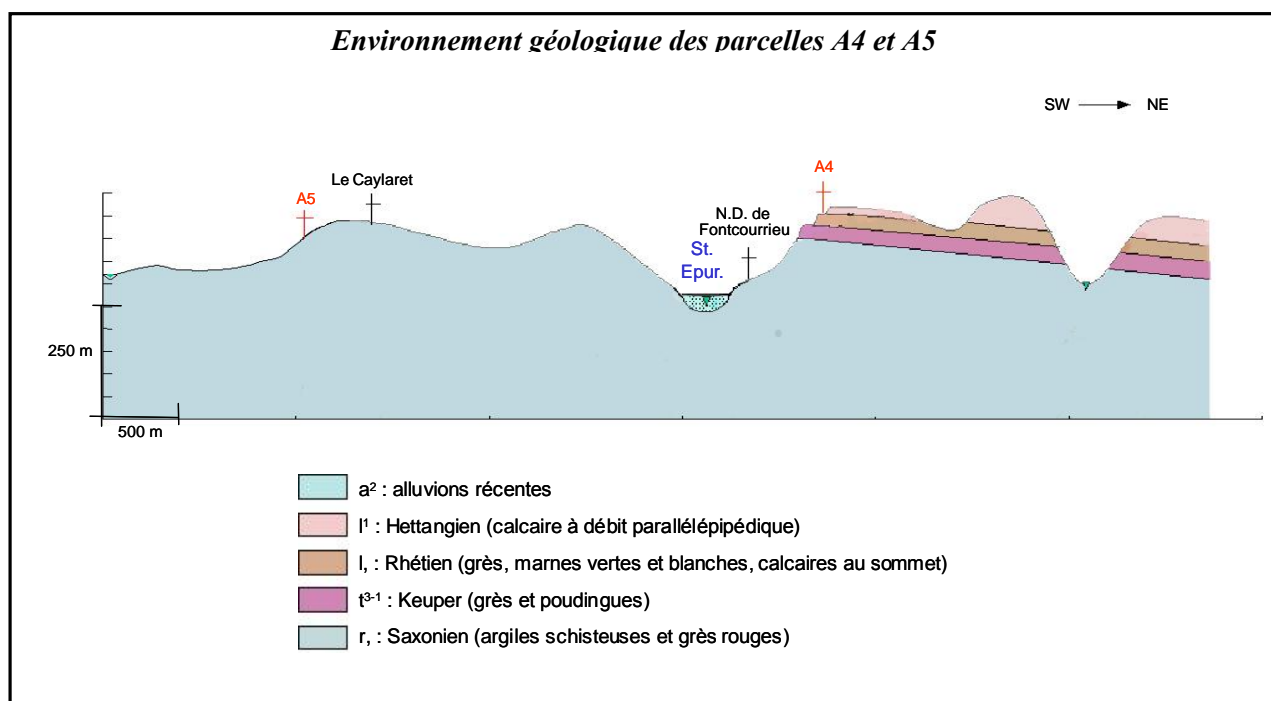
### 2.4.2. Etude géo-morpho-pédologique

#### ➤ Géologie : Petits plateaux calcaires du Lias (avant causses)

Le Lias affleure en contrebas des plateaux calcaires du Jurassique (causses). Il comprend des étages de roches calcaires dures qui forment des petits plateaux calcaires dont la physionomie ressemble aux grands plateaux calcaires des causses.

Le Jurassique inférieur ou Lias est composé :

- d'étages de roches dures (calcaires, dolomies) dans sa partie inférieure (Hettangien, Sinémurien)
- d'étages de roches tendres (marnes dominantes) dans sa partie supérieure (Carixien, Domerien, Toarcien).



#### ➤ Lithologie :

L'Hettangien est constitué :

- de calcaire marneux dans sa partie supérieure
- de calcaire à cargneules avec bancs de marnes intercalés dans sa partie médiane
- de calcaire dolomitique et de dolomie dans sa partie inférieure

En Aveyron, le faciès dolomitique est prépondérant.

#### ➤ Géomorphologie :

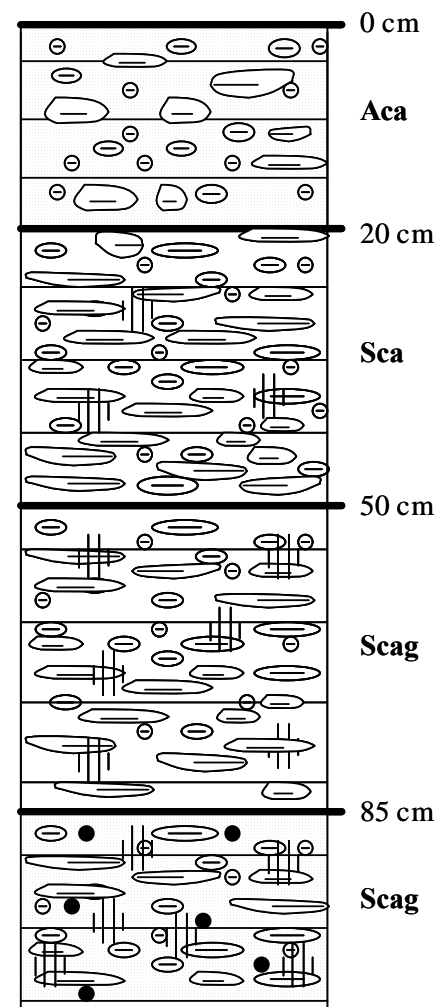
La base de l'Hettangien, composée de calcaires durs, forme des falaises en bordure du causse. Le reste de l'Hettangien donne un paysage de plateaux faiblement ondulé.

➤ **Pédogenèse :**

La pédogenèse est marquée par :

- la prédominance de roches dures et cohérentes, résistantes à l'altération et la décomposition. Les roches à grains fins sont moins altérées et donnent des sols plus superficiels et argileux. Les roches à grains grossiers (dolomies et calcaires gréseux) donnent des sols sableux et plus profonds.
- la richesse en calcium et magnésium des roches mères donnant des sols calcimagnésiques à pH basique. Les sols les plus calcaires se développent sur les calcaires marneux de l'Hettangien.
- les phénomènes de karstification qui génèrent une forte différenciation des sols : sols superficiels caillouteux avec affleurements, sols profonds des dépressions.
- la rubéfaction des argiles, phénomène d'oxydation du fer qui a coloré en rouge les argiles d'altération.

➤ **Profil pédologique :**

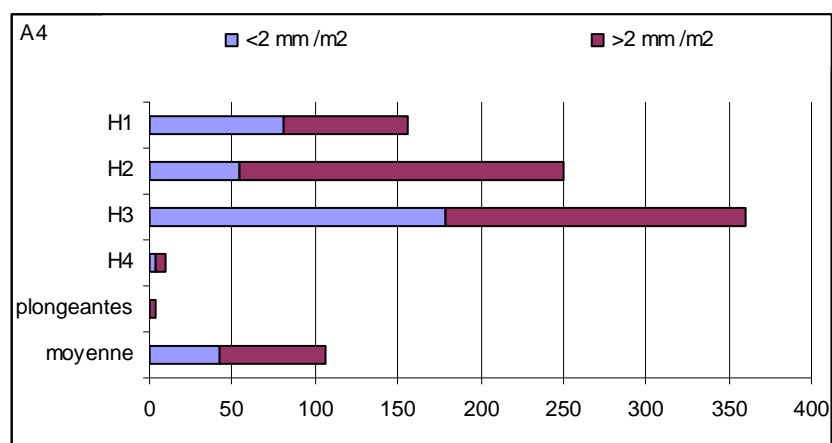


**Photo 4.** Photo du profil de la parcelle A4

- 0 -20cm**  
Aca  
7,5YR 4 /4) , frais ; **Taches** : taches de couleur 7,5 YR 3/3 liées à la vie biologique ; **Eléments grossiers** : 30% , graviers et cailloux , calcaire dur, non altérés ; **Texture** limono-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; **Activité biologique** : Très forte ; **Porosité** : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important, pores tubulaires et intergranulaires très nombreux ; **Enracinement** : nombreuses , 160 /m2 ; **Effervescence** : forte , généralisée ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : nette et régulière
- 20 -50cm**  
Sca  
10YR 4 /4) , frais ; **Taches** : taches de couleur 7,5 YR 3/3 liées à la vie biologique , **Taches d'oxydation** : peu nombreuses (2 à 5 %) ; **Eléments grossiers** : 70% , graviers et cailloux , calcaire dur, faiblement altérés ; **Eléments figurés** : 5% ; taches ferrugineuses liées aux éléments grossiers ; **Texture** limono-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 5cm ; **Activité biologique** : Très forte ; **Porosité** : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important, pores tubulaires et intergranulaires très nombreux ; **Enracinement** : très nombreuses , 250 /m2 ; **Effervescence** : forte , généralisée ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : nette et régulière
- 50 -85cm**  
Sca(g)  
10YR 4 /3) , frais , **Taches d'oxydation** : assez nombreuses (5 à 15 %) ; **Eléments grossiers** : 60% , cailloux (2 à 6 cm) , calcaire dur, faiblement altérés ; **Eléments figurés** : 10% ; revêtements ferrugineux sur éléments grossiers ; **Texture** limono-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; **Activité biologique** : Forte ; **Porosité** : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important, pores intergranulaires très nombreux ; **Enracinement** : très nombreuses , 360 /m2 ; **Effervescence** : forte , généralisée ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : nette et régulière
- 85 -200cm**  
Scag  
2,5Y 6 /4) , frais ; **Taches** : taches arrondies de couleur 10 YR 6/6 , **Taches d'oxydation** : nombreuses (15 à 40 %) , **Taches de réduction** : peu nombreuses (2 à 5 %) ; **Eléments grossiers** : 60% , cailloux (2 à 6 cm) , calcaire dur, faiblement altérés à altérés ; **Eléments figurés** : 20% ; taches et revêtements ferrugineux sur éléments grossiers, concrétions fe-mn ; **Texture** limono-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; **Activité biologique** : Faible ; **Porosité** : Moyennement poreux (5 à 15 %) , Volume des vides entre agrégats assez important, pores intergranulaires nombreux ; **Enracinement** : très peu nombreuses , 10 /m2 ; **Effervescence** : forte , généralisée ; **Teneur en matière organique** : faible (< 1 %)

**Commentaires** : Sol profond, limono-sableux, très caillouteux, calcaire. Bonne activité biologique et teneur en matière organique moyenne sur l'ensemble du profil. Les horizons profonds sont peu hydromorphes

➤ **Profil racinaire :**



**Commentaires :** Le développement racinaire est important et il augmente de la surface jusqu'à environ 80 cm. En profondeur, quelques racines plongeantes permettent d'assurer l'alimentation hydrique au cours de la saison sèche.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil**

**Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
<b>0-20 cm</b>	15	48	10	7	20
<b>20-50 cm</b>	15	50	9	5	21
<b>50-85 cm</b>	10	54	7	5	24
<b>85-200 cm</b>	12	47	10	7	24

**Commentaires :**

- texture LSa (limono-sableuse), sol léger
- Stabilité : très instable
- Capacité de rétention : assez bonne (100 mm/m)
- Battance : très battant (IB=2,23)
- Risque d'asphyxie : moyen
- Aptitude à la fissuration : moyenne

**pH , calcaire total et actif (%CaCO<sub>3</sub>)**

limites	pH eau	pH KCl	Calc. total	Calc Actif
0-20 cm	7.6	8	49	3,3
20-50 cm	7.7	8.1	57	3,1
50-85 cm	7.5	7.9	49	2,9
85-200 cm	8.2	8.6	68	2,9

**Commentaires :**

- pH alcalin
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol très calcaire mais calcaire actif faible (porte-greffe peu adapté)

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-20 cm	1.1	2	0.8	21
20-50 cm	0.7	1.3	0.6	5.8
50-85 cm	1.5	2.7	1.3	2.3
85-200 cm	0.2	0.3	0.1	2.4

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique élevée
- C/N = 13 : bonne activité biologique et présence d'humus stable
- Teneur en azote moyenne (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Olsen) faible (faible biodisponibilité)

**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-20 cm	5.5	1.6	1.06	12.5
20-50 cm	5	1.3	0.76	13.2
50-85 cm	4.6	2.1	0.58	16.4
85-200 cm	2.6	1	0.52	8.3

**Commentaires :**

- CEC moyenne, taux de saturation moyen
- Teneur en K très élevée (6 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
- Teneur en Ca (40 % de la CEC), forte biodisponibilité
- Teneur en Mg élevée (10 % de CEC), faible biodisponibilité
- Sol fertile, riche, bien équilibré.



**2.4.3. Analyses foliaires**

	2001		2002		2003	
	floraison	veraison	floraison	veraison	floraison	veraison
<b>K</b>	1,5	1,0	0,9	0,75	0,8	0,7
<b>Ca</b>	2,1	2,5	2,0	2,95	1,9	2,7
<b>Mg</b>	0,29	0,31	0,27	0,4	0,21	0,28
<b>N</b>	2,43	1,87	2,52	1,85	2,22	1,86

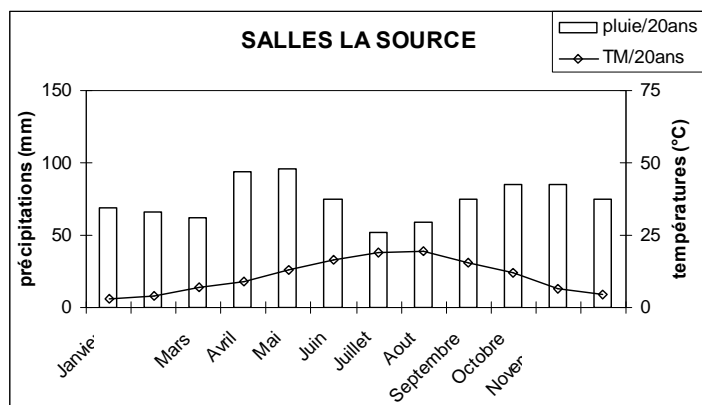
**Commentaires :**

- Teneurs en calcium, magnésium et azote bonnes
- Teneurs en potassium faibles
- Rapports cationiques K/Ca et K/Mg faibles

La nutrition minérale est bonne mais un peu faible en potassium en raison de la faible biodisponibilité de cet élément et des antagonismes K-Ca et K-Mg.

**2.4.4. Etude climatologique**

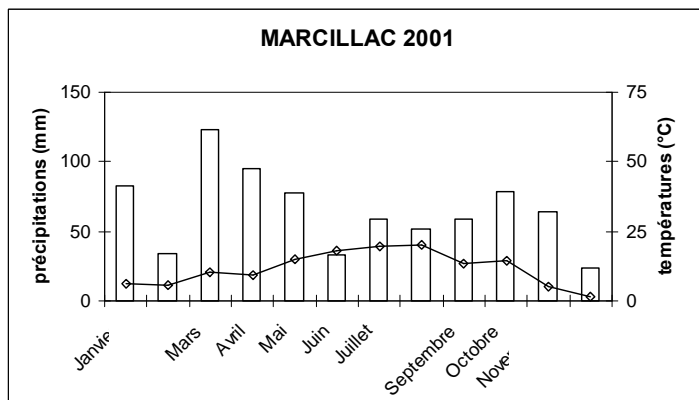
➤ **Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002**



- Aridité de Martone :  $I_q = 43$   
 - Quotient pluviométrique :  $Q = 228$

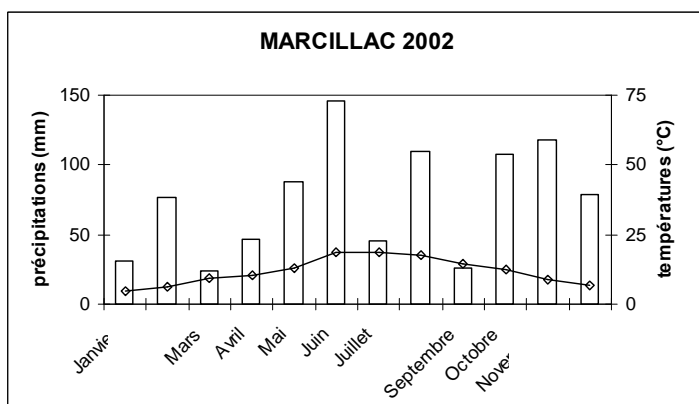
Commentaires : Le climat est humide et frais. Les pluies sont assez bien réparties et seuls deux mois sont secs.

➤ **Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003**



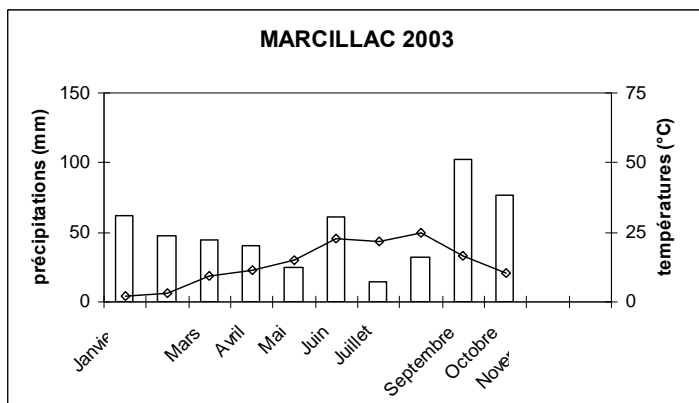
- Indice de Winkler :  $I_w = 1278$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,57$

**Commentaires :** L'année est légèrement plus chaude et sèche que la normale surtout en juin et septembre. L'indice de Winkler indique que le climat est limite pour la culture de la vigne. L'indice de Bessemoulin indique que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1105$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,82$

**Commentaires :** Les températures des mois de Juillet et Août sont faibles ainsi que l'indice de Winkler. L'indice de Bessemoulin est élevé en liaison avec les températures plus fraîches et les pluies plus importantes des mois de Juin, Août, Octobre et Novembre.

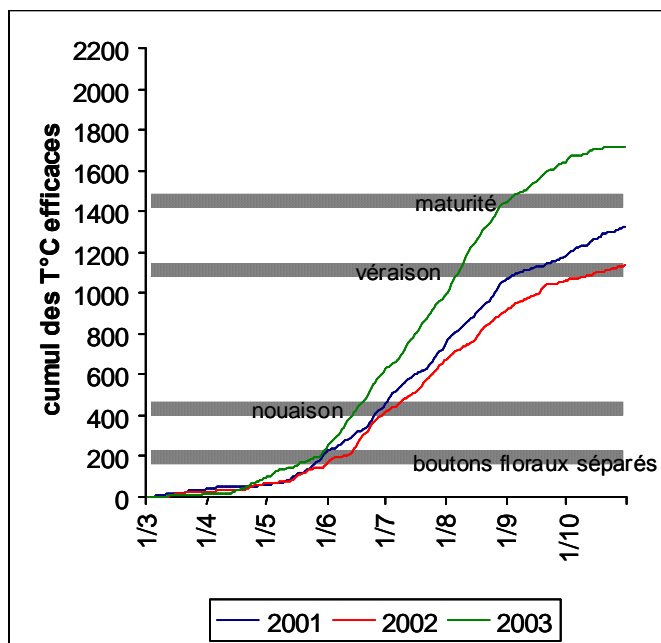


- Indice de Winkler :  $I_w = 1699$   
 - Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,23$

**Commentaires :** Les températures des mois de Juin à Septembre sont élevées et les pluies très faibles. L'année est très sèche et chaude. L'indice de Bessemoulin est très faible indiquant un déficit hydrique important.

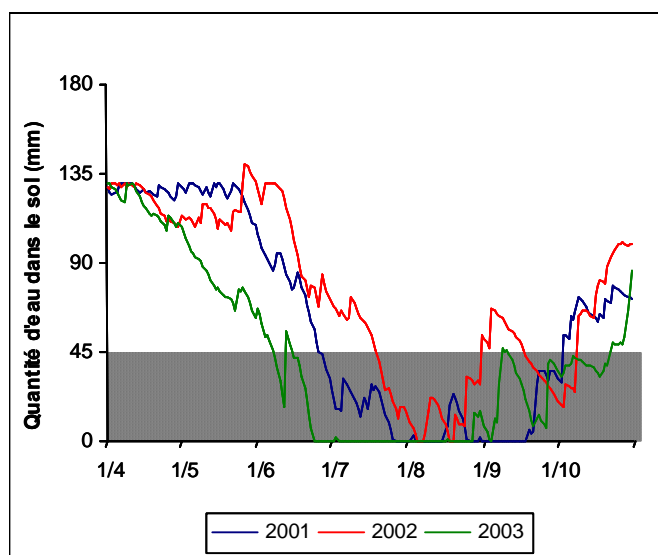
**Remarque :** Le microclimat de cette parcelle est plus humide que celui de la parcelle A1 et moins chaud que celui des parcelles A2, A3 et A5.

➤ Températures efficaces



**Commentaires :** La somme des températures efficaces montre que la maturité théorique n'est pas atteinte en 2001 et 2002 et confirme que le climat est limitant pour une bonne maturation des raisins. Cependant, il n'est pas tenu compte de l'exposition de la parcelle qui joue un rôle important car elle permet d'augmenter considérablement l'apport énergétique. Aussi, sur ce type de terroir l'effet millésime est très important : en 2003 la date de maturité théorique est proche de celles obtenues sur les autres terroirs.

➤ Bilans hydriques



**Commentaires :** La parcelle est sensible au stress hydrique. Au cours des trois années étudiées des déficits sont observés : de fin juin à début octobre 2001, de mi-juillet à fin août 2002 et de mi-juin à fin octobre 2003. Ces stress sont assez longs et peuvent par conséquent provoquer des blocages de maturité.

## 2.5. Parcelle A5

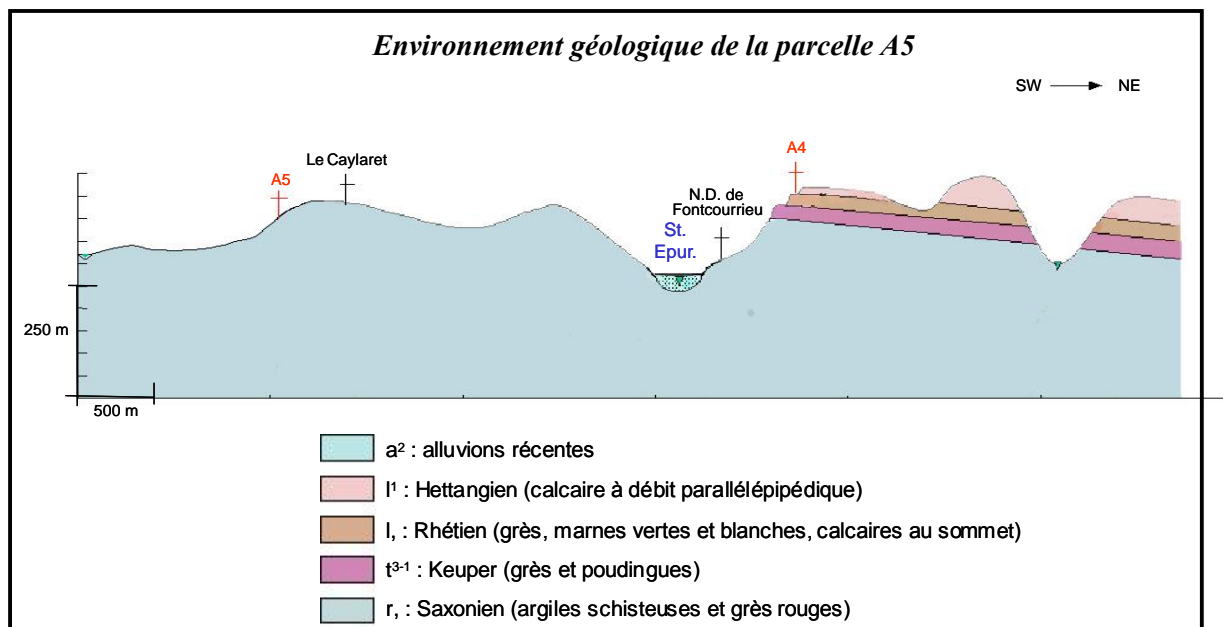
### 2.5.1. Caractéristiques générales de la parcelle

Localisation	St Christophe Vallon (Le Caylaret)
Contact	Aurejac Patrick Cantagrel 12 330 St Christophe Vallon tel : 05 65 72 77 95 / 06 15 49 39 89
Situation	Bas du coteau
Altitude	400 m
Topographie	Terrasse 2 rangs
Exposition	Ouest
Géologie	Argiles schisteuses et grès rouge (Primaire, Permien, Saxonien)
Type de sol	CPCS : sols peu évolués non climatiques d'apport colluvial RP : colluviosol recarbonaté Locale : rougier
Drainage interne	drainage favorable
Perméabilité	moyenne
Cépage	Fer servadou clones 421 et 671 Année de plantation : 1992 PG : Riparia gloire
Densité de plantation	5 500 pieds/ha (2,2 m x 0,9 m)
Travail de la vigne	Taille : guyot simple (9B / 2C) Rognage à 1, 70 m Effeuillage : 1 face (côté rang intérieur et talus haut) Vendange en vert : oui Rendement moyen : 55 à 60 hl/ha
Entretien du sol	Enherbement naturel maîtrisé Désherbage foliaire sur le rang Apport en 2003 de 50 U/ha de potassium
Station météo	Valady

## 2.5.2. Etude géo-morpho-pédologique

### ➤ Géologie, Lithologie, Géomorphologie, Pédogenèse :

Cf. parcelle A1 (p. 93)



### ➤ Profil pédologique :

10R 3 /4) , sec ; **Taches** : taches de couleur 2,5 YR 4/8 , **Taches d'oxydation** peu nombreuses (2 à 5 %) ; **Eléments grossiers** : 5% , graviers (0,2 à 2 cm) , calcaire dur, non altérés ; **Eléments figurés** : 5% ; taches ferrugineuses ; **Texture** limono-sablo--argileuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; **Activité biologique** : Moyenne ; **Porosité** : Moyennement poreux (5 à 15 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores intergranulaires nombreux ; **Enracinement** : nombreuses , 130 /m<sup>2</sup> ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : nette et régulière

0 -30cm

A

10R 3 /4) , sec ; **Taches** : très nombreuses taches de couleur noire (Fe-Mn); autres taches (2,5 YR 4/8) , **Taches d'oxydation** : assez nombreuses (5 à 15 %) , **Taches de réductions** :très nombreuses (40 à 80 %) ; **Eléments grossiers** : 5% , graviers (0,2 à 2 cm) , calcaire dur, non altérés ; **Eléments figurés** : 40% ; taches ferrugineuses et éléments ferromanganiques sous forme diffuse ; **Texture** Limono-argilo-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; **Activité biologique** : Faible ; **Porosité** : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores peu visibles ; **Enracinement** : nombreuses , 160 /m<sup>2</sup> ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : faible (< 1 %) ; **Transition** : distincte et irrégulière

30 -70cm

S

70 cm

Cg

pélite à débit cubique, bleutée (revêtements ferromanganiques et argileux)

**Commentaires** : Sol moyennement profond, limoneuse, non calcaire, stable et bien structuré. Les teneurs en matière organique et l'activité biologique sont assez faibles. Les horizons profonds sont compacts et très hydromorphes.

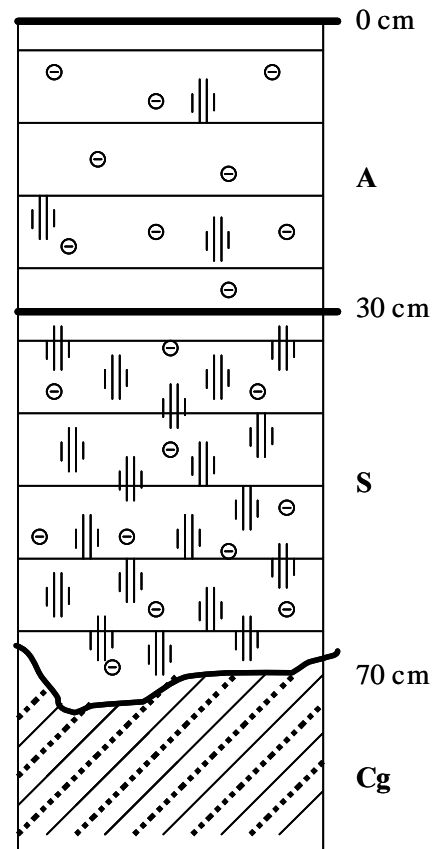
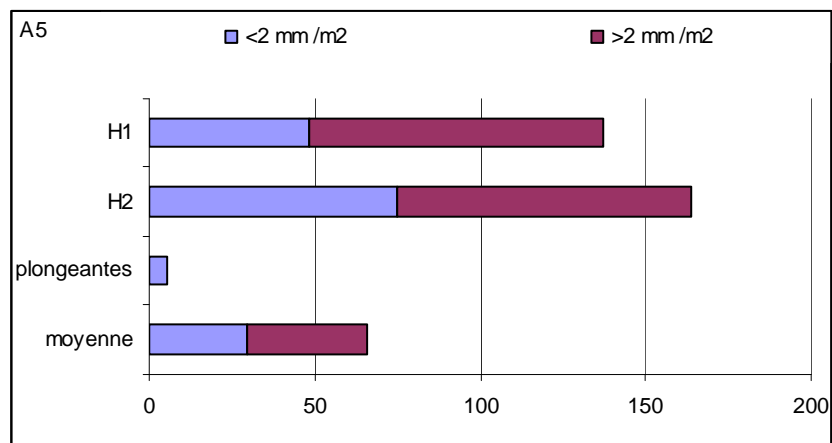


Photo 5. Photo du profil de la parcelle A5

➤ Profil racinaire :



**Commentaires :** Le système racinaire est assez bien développé en surface mais seules quelques petites racines arrivent à pénétrer le dernier horizon très compact et hydromorphe.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil****Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
<b>0-30 cm</b>	12	38	11	28	11
<b>30-70 cm</b>	27	26	16	18	13

**Commentaires :**

- Texture LSa (limoneuse)
- Sol léger à moyen
- Stabilité : instable
- Capacité de rétention : moyenne (90 mm/m)
- Battance : très battant (IB=2,97)
- risque d'asphyxie : moyen à élevé
- Aptitude à la fissuration moyenne

**pH**

limites	pH eau	pH Kcl
<b>0-30 cm</b>	6.8	6.5
<b>30-70 cm</b>	6.8	6.4

**Commentaires :**

- pH neutre
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
<b>0-30 cm</b>	0.6	1	0.7	3.2
<b>30-70 cm</b>	0.1	0.3	0.3	2.3

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique assez faible
- C/N < 10 : vie biologique intense et MO en voie de décomposition
- Teneur en azote moyenne (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Olsen) faible (biodisponibilité moyenne)

**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-30 cm	5.5	2.8	0.80	17.2
30-70 cm	6	3.7	0.58	17.7

**Commentaires :**

- CEC moyenne, taux de saturation assez faible
- Teneur en K élevée (5% de la CEC), bonne biodisponibilité
- Teneur en Ca faible (30 % de la CEC), bonne biodisponibilité
- Teneur en Mg élevée (20 % de la CEC), bonne biodisponibilité
- Sol fertile, riche en potassium et magnésium, assez bien équilibré.

Un amendement calcaire permettrait d'augmenter la teneur en calcium et le taux de saturation.

**2.5.3. Analyses foliaires**

	2001		2002		2003	
	floraison	veraison	floraison	veraison	floraison	veraison
<b>K</b>	1,2	1,2	1,1	0,95	1,0	1,3
<b>Ca</b>	2,4	2,3	2,0	2,55	1,7	2,8
<b>Mg</b>	0,33	0,25	0,23	0,275	0,16	0,24
<b>N</b>	2,73	1,93	2,63	1,80	2,23	1,71

**Commentaires :**

- Teneurs en azote, potassium, calcium et magnésium satisfaisantes
- Rapports cationiques normaux

L'alimentation minérale est satisfaisante et très équilibrée.

**2.5.4. Etude climatologique**

➤ **Diagrammes ombrothermiques de la période 1982 à 2002 et des années 2001, 2002 et 2003**

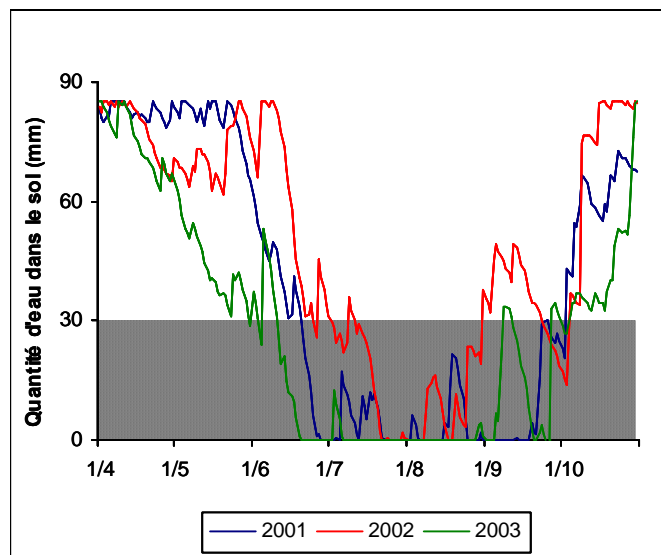
Cf. parcelle A2 (p. 105 et 106)

➤ **Températures efficaces**

Cf. parcelle A2 (p.107)



## ➤ Bilans hydriques



**Commentaires :** Cette parcelle est sensible au stress hydrique. Sur les trois années étudiées des déficits hydriques sont observés : de mi-juin à début octobre 2001, de mi-juillet à fin août 2002 et de mi-juin à début octobre 2003. Ces stress hydriques sont assez longs et peuvent entraîner un blocage de maturité.

### 3. Appellation Coteaux du Bruhlois (Parcelle B1)

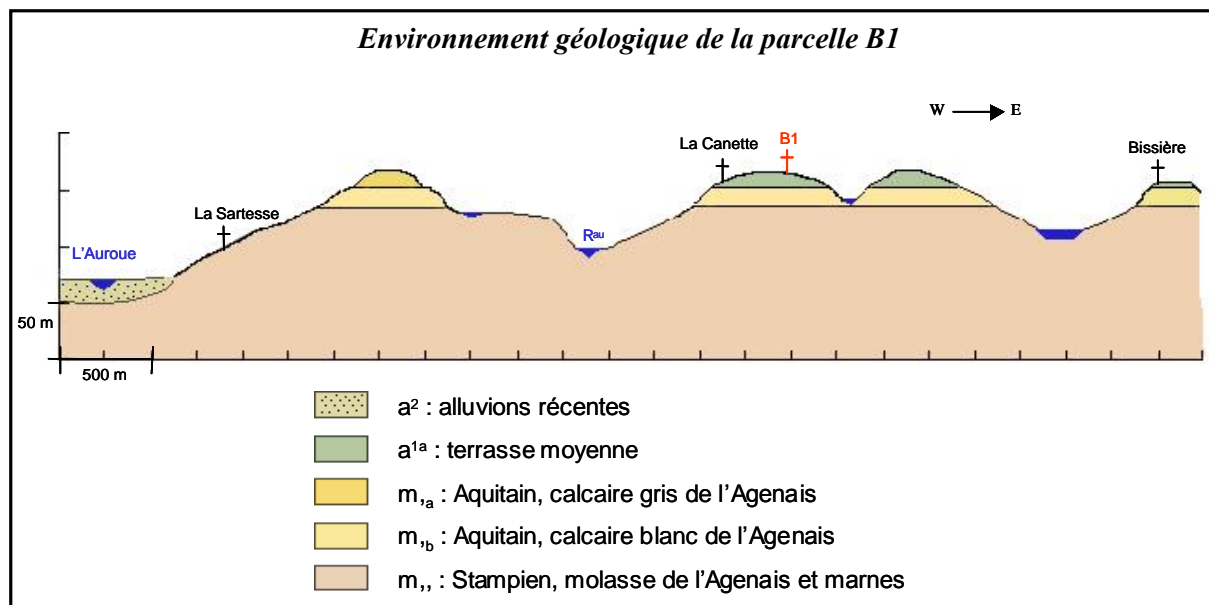
#### 3.1. Caractéristiques générales de la parcelle

Localisation	Dunes
Contact	Delpech Michel Croque 82 340 Dunes
Situation	Terrasse alluviale de la Garonne
Altitude	100 m
Topographie	Pente nulle
Exposition	sud
Géologie	Moyenne terrasse sur calcaire blanc de l'Agenais (Quaternaire, Riss)
Type de sol	CPCS : sol brunifié des climats tempérés humides lessivé glossique RP : luvisol redoxisol dégradé Locale : Boulbène
Drainage interne	drainage faible
Perméabilité	faible
Cépage	Fer servadou clone inconnu Année de plantation : 1992 PG : 3309 C (clone 143)
Densité de plantation	4 000 pieds/ha (2,5 m x 1 m)
Travail de la vigne	Taille : guyot simple Effeillage : non Rognage : oui (1,8m) Vendange en vert : non Rendement moyen : 60 à 65 hl/ha
Entretien du sol	Enherbement naturel maîtrisé (gyrobroyeur) Désherbage sur le rang Apport en 2003 : carbonate de chaux
Station météo	Dunes

### 3.2. Etude géo-morpho-pédologique

#### ➤ Géologie : Terrasses anciennes découpées

Le paysage vallonné est composé de morceaux de terrasses plus ou moins larges et de versants résultant généralement de l'érosion des terrasses les plus anciennes de la Garonne (terrasse Riss).



#### ➤ Lithologie :

Les alluvions anciennes des terrasses moyennes de la Garonne recouvrent les marnes et molasses du tertiaire (Miocène).

#### ➤ Géomorphologie :

Les terrasses anciennes sont découpées et démantelées par le réseau hydrographique. Le paysage globalement vallonné est formé de :

- lambeaux de terrasses anciennes en position sommitale dominante, de topographie plane ou ondulée
- vallons et vallées ayant entaillé les terrasses
- versants de pentes variables : dans les fortes pentes peuvent affleurer les marnes et molasses et parfois le calcaire dur du Miocène.

#### ➤ Pédogenèse :

Deux phases sont imbriquées :

- pédogenèse des sols lessivés : lessivage des cations et du fer, acidification, lessivage des argiles, dégradation des argiles et hydromorphie
- pédogenèse d'érosion : l'érosion tronque ou décape les sols en place.

➤ **Profil pédologique :**

<b>0 -10cm</b> LE	10YR 4 /4) , humide ; <b>Taches</b> : taches de couleur 2,5Y 4/3 ; <b>Éléments grossiers</b> : 5% , graviers et cailloux , métamorphiques, durs, faiblement altérés ; <b>Texture</b> limono-sableuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entres agrégats faible, pores tubulaires et vacuolaires nombreux ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 180 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : distincte et régulière
<b>10 -35cm</b> Eg	2,5Y 4 /3) , frais ; <b>Taches</b> : taches de couleur SGY 6/1 (gley) , <b>Taches d'oxydation</b> : assez nombreuses (5 à 15 %) , <b>Taches de réduction</b> : assez nombreuses (5 à 15 %) ; <b>Éléments grossiers</b> : 3% , graviers (0,2 à 2 cm) , métamorphiques, durs, faiblement altérés ; <b>Éléments figurés</b> : 15% ; concrétions ferromanganiques, taches ferrugineuses et gleys ; <b>Texture</b> limono-argileuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; <b>Activité biologique</b> : Moyenne ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entres agrégats faible, pores tubulaires et vacuolaires peu visibles ; <b>Enracinement</b> : très nombreuses , 330 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : nette et ondulée
<b>35 -95cm</b> Btg	2,5Y 5 /6) , frais ; <b>Taches</b> : très nombreuses taches de couleur SGY 6/1 (gley), quelques autres taches (2,5 Y 4/3) , <b>Taches d'oxydation</b> : nombreuses (15 à 40 %) , <b>Taches de réduction</b> : nombreuses (15 à 40 %) ; <b>Éléments figurés</b> : 30% ; concrétions ferromanganiques, taches ferrugineuses et gleys en traînées verticales ; <b>Texture</b> argilo-limoneuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; <b>Activité biologique</b> : Nulle ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entres agrégats faible, pores vacuolaires peu visibles ; <b>Enracinement</b> : peu nombreuses , 30 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %) ; <b>Transition</b> : nette et régulière
<b>95 -200cm</b> Btg-fe	2,5Y 6 /6) , frais ; <b>Taches</b> : très nombreuses taches de couleur SGY 6/1 (gley) , <b>Taches d'oxydation</b> : très nombreuses (40 à 80 %) , <b>Taches de réduction</b> : très nombreuses (40 à 80 %) ; <b>Éléments figurés</b> : 80% ; concrétions ferromanganiques, taches ferrugineuses et gleys en traînées verticales ; <b>Texture</b> argilo-limoneuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; <b>Activité biologique</b> : Nulle ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entres agrégats très faible, pores vacuolaires peu visibles ; <b>Enracinement</b> : très peu nombreuses , <10 /m2 ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %)

**Commentaires :** Sol profond, limono-argileux, peu stable. La teneur en matière organique, et l'activité biologique sont correctes dans les horizons de surface mais diminuent rapidement en profondeur. Les horizons profonds sont compacts et fortement hydromorphes.

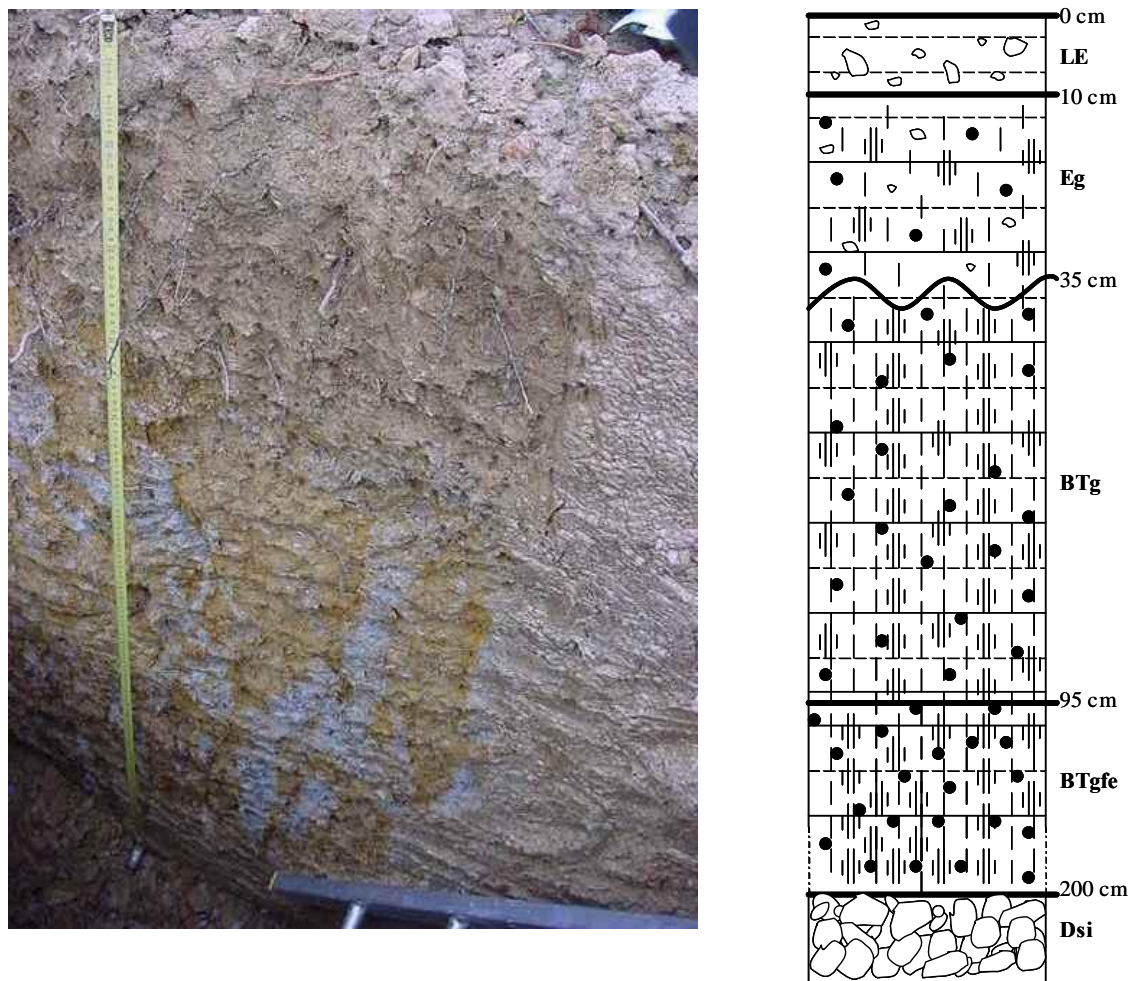
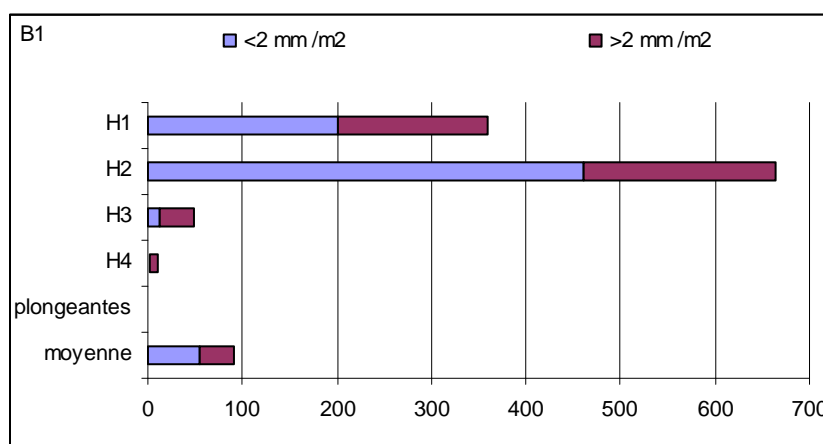


Photo 6. Photo du profil de la parcelle B1

➤ Profil racinaire :



**Commentaires :** Le développement racinaire est très important dans les horizons de surfaces mais il est rapidement limité en profondeur en raison de compacité et de l'hydromorphie du sol. Seules quelques racines arrivent à pénétrer les horizons profonds ne permettant qu'une alimentation hydrique faible au cours de la saison sèche.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil****Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
<b>0-10 cm</b>	16	27	31	20	6
<b>10-35 cm</b>	20	25	33	14	8
<b>35-95 cm</b>	31	31	23	12	3
<b>95-200 cm</b>	34	31	27	5	3

**Commentaires :**

- Texture LSa (limono-sableuse) à argileuse en profondeur
- Sol moyen à lourd
- Stabilité : instable
- Capacité de rétention : bonne (110 mm/m)
- Battance : battant (IB=1,99)
- Très grand risque d'asphyxie
- Aptitude à la fissuration bonne

**pH**

limites	pH eau	pH KCl
<b>0-10 cm</b>	6.5	5.8
<b>10-35 cm</b>	6.5	5.4
<b>35-95 cm</b>	5.8	4.8
<b>95-200 cm</b>	5.6	4.1

**Commentaires :**

- pH faiblement acide à acide (horizons profonds)
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
<b>0-10 cm</b>	0.9	1.6	0.8	63
<b>10-35 cm</b>	0.7	1.3	0.7	42.5
<b>35-95 cm</b>	0.2	0.3	0.4	0
<b>95-200 cm</b>	0.1	0.2	0.3	0

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique élevée
- C/N = 10 : bonne activité biologique, présence d'humus stable
- Teneur en azote moyenne (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Bray) satisfaisante (bonne biodisponibilité)

**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-10 cm	6.7	1.8	0.7	9.2
10-35 cm	7	2	1.03	9.5
35-95 cm	6.9	3.6	0.39	8.8
95 cm	7.9	4.7	0.25	9.1

**Commentaires :**

- CEC faible, sol saturé
- Teneur en K élevée (8% de la CEC), bonne biodisponibilité
- Teneur en Ca correcte (70 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
- Teneur en Mg correcte (20 % de la CEC), bonne biodisponibilité
- Sol moyennement fertile mais très bien équilibré

**3.1 Analyses foliaires**

	2001		2002		2003	
	floraison	veraison	floraison	veraison	floraison	veraison
<b>K</b>	1,1	1,2	1,1	1,25	1,3	1,3
<b>Ca</b>	2,1	2,4	1,5	2,35	1,7	2,0
<b>Mg</b>	0,32	0,31	0,23	0,225	0,20	0,20
<b>N</b>	1,98	1,68	2,23	1,55	1,72	1,50

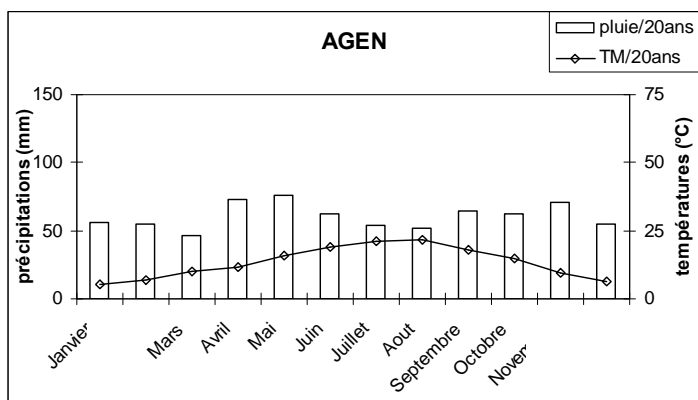
**Commentaires :**

- Teneurs en azote faibles
- Teneurs en calcium et magnésium médiocres
- Teneurs en potassium élevées
- Rapports cationiques K/Ca assez élevés

Excepté pour le potassium, l'alimentation minérale est médiocre. Le sol étant saturé une fertilisation par voie foliaire pourrait être envisagée.

### 3.3. Etude climatologique

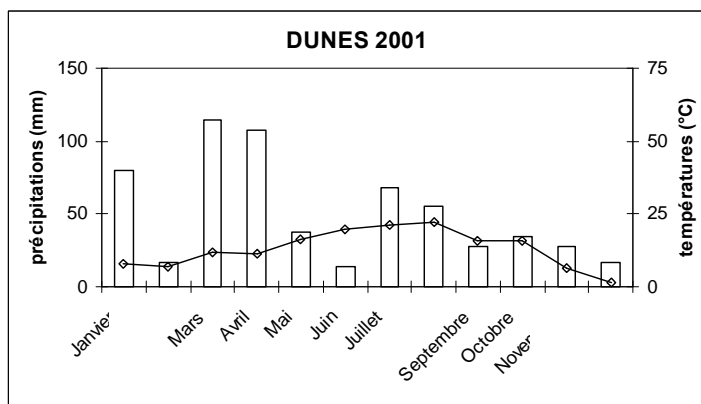
#### ➤ Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002



- Aridité de Martone :  $I_q = 31$
- Quotient pluviométrique :  $Q = 170$

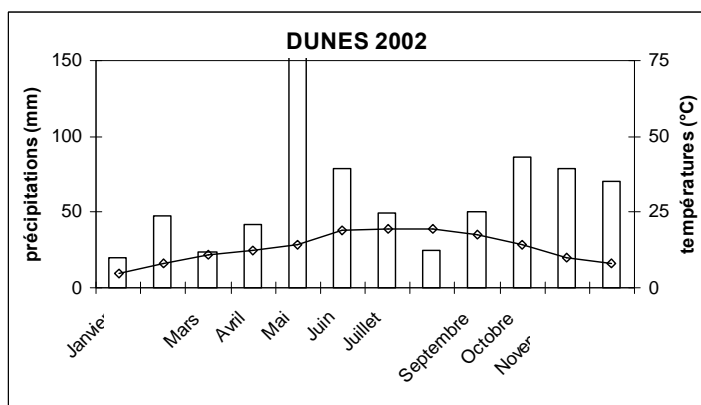
Commentaires : Le climat est assez sec mais les pluies assez bien réparties sur l'année. Les températures sont douces en hiver et les étés sont secs (4 mois).

#### ➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



- Indice de Winkler :  $I_w = 1620$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,45$

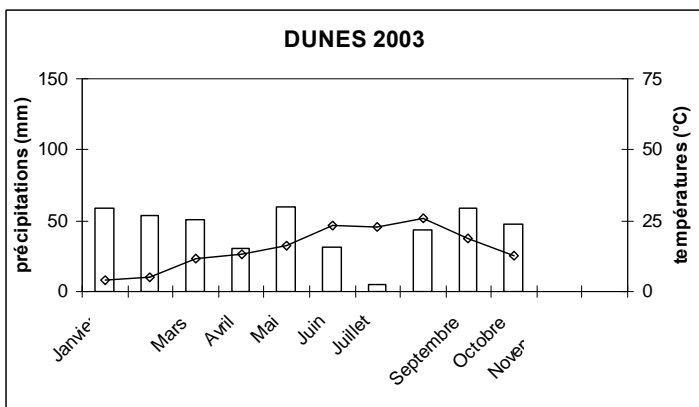
Commentaires : Cette année présente un printemps et automne plus chauds et plus secs que la normale (6 mois secs). Au contraire, l'hiver est plus frais. L'indice de Winkler montre que le climat est favorable pour la vigne et l'indice de Bessemoulin montre que les apports d'eau sont assez faibles.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1421$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,8$

Commentaires : Le climat de l'année est semblable à la normale avec cependant des précipitations plus importantes en Mai et Juin et plus faibles en Août. L'indice de Winkler montre que le climat est assez favorable pour la vigne et l'indice de Bessemoulin indique que les apports d'eau sont très satisfaisants.

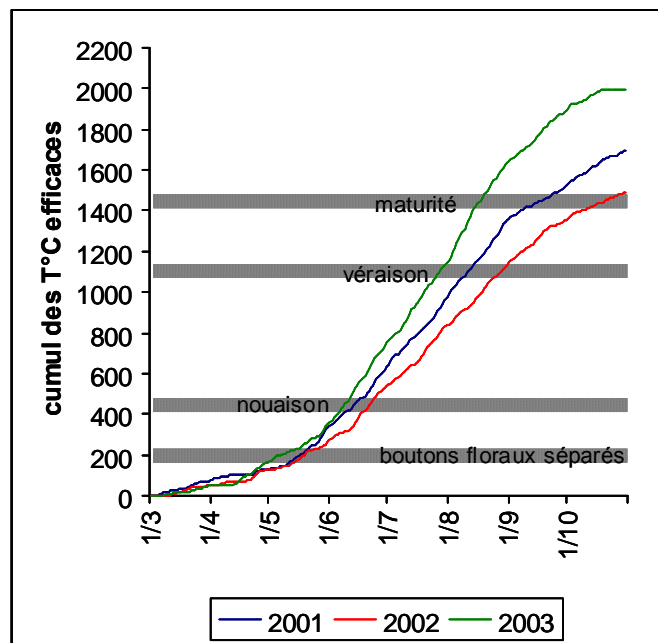




- Indice de Winkler :  $I_w = 1947$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,23$

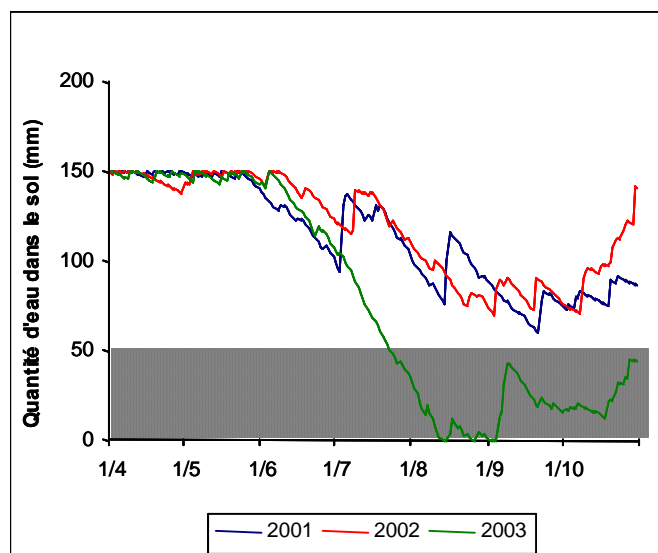
Commentaires : Le climat de l'année est plus chaud et plus sec que la normale et présente sept mois secs. L'indice de Winkler montre que les températures sont très favorables pour la vigne mais l'indice de Bessemoulin indique un grave déficit hydrique.

➤ **Températures efficaces**



Commentaires : Cette parcelle présente un climat favorable pour le développement précoce de la vigne. Les stades (théoriques) boutons floraux séparés, nouaison, véraison et maturité sont toujours précoces. L'année 2001 présente le climat le plus favorable à une bonne maturation du raisin (28 jours entre les stades véraison et maturité théoriques).

➤ **Bilans hydriques**



Commentaires : Cette parcelle est peu sensible au stress hydrique. Au cours des années 2001 et 2002 la quantité d'eau contenue dans le sol est toujours suffisante (réserve utile non épuisée). En 2003, le déficit hydrique s'installe tardivement (fin juillet) par rapport aux autres terroirs étudiés.

## 4. Appellation Fronton (Parcelle F1)

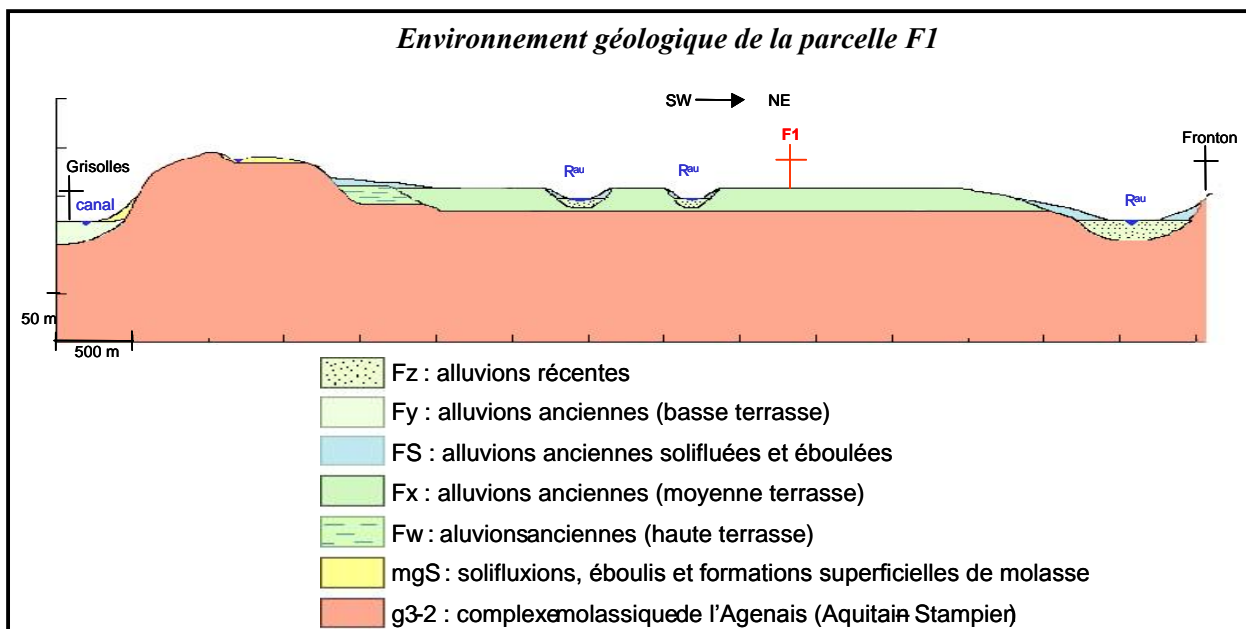
### 4.1. Caractéristiques générales de la parcelle

<b>Localisation</b>	Fronton
<b>Contact</b>	Mr Espagnet 875 route de Grisolle 31 620 Fronton
<b>Situation</b>	Moyenne terrasse du Tarn
<b>Altitude</b>	150 m
<b>Topographie</b>	Pente nulle
<b>Exposition</b>	sud
<b>Géologie</b>	Terrasse planes d'alluvions anciennes (Quaternaire, Riss)
<b>Type de sol</b>	CPCS : sol brunifié des climats tempérés humides, lessivé hydromorphe RP : luvisol redoxique Locale : Boulbène
<b>Drainage interne</b>	drainage faible
<b>Perméabilité</b>	faible
<b>Cépage</b>	Fer servadou clone inconnu Année de plantation : environ 20 ans PG : 3309C
<b>Densité de plantation</b>	4 300 pieds/ha (2,1 m x 1,1m) Taille : guyot simple Effeillage : non
<b>Travail de la vigne</b>	Rognage : oui (1,8 m) Vendange en vert : non Rendement moyen : 60 à 70 hl/ha
<b>Entretien du sol</b>	Enherbement naturel maîtrisé (gyrobroyeur) Désherbage sur le rang Apports : Chaux magnésienne tous les 2 ans et germiflore tous les 3 ans
<b>Station météo</b>	Fronton

## 4.2. Etude géo-morpho-pédologique

### ➤ Géologie : Terrasses planes d'alluvions anciennes mal drainée à boubènes

Cette unité géomorpho-pédologique est caractérisée par de vastes terrasses planes étagées en rive gauche du Tarn (alluvions anciennes du Würm et du Riss : Fy et Fx). Les boubènes sont particulièrement marquées : faible taux d'argile et d'humus, hydromorphie prononcée.



### ➤ Lithologie :

Cailloutis, cailloutis enrobé d'argile, argiles et limons de recouvrement.

### ➤ Géomorphologie :

La 1ère terrasse (Würm) est très étendue surtout au nord (zone de Lavilledieu), elle est de topographie globale très plane.

La 2ème terrasse (Riss), plus ancienne et plus réduite, se situe plutôt au sud - sud-est : il s'agit des terrasses de Fronton. La topographie est moins régulière mais les pentes entre les deux terrasses ou les recreusements des ruisseaux restent peu prononcés.

Les dépôts de terrasses sont constitués de limons plus ou moins sableux, peu épais recouvrant des couches argileuses ou argilo-caillouteuses qui affleurent sur les mamelons, les rebords de terrasses et les versants de recreusement. Sur les parties planes on trouve les sols développés sur limons plus ou moins sableux : ce sont des sols lessivés hydromorphes ou boubènes. Ces dernières se différencient par l'épaisseur de la couche limoneuse (profonde, moyenne, superficielle) et par la texture de la couche de surface sablo-limoneuse (boubène sableuse) ou limoneuse (boubène blanche). Les boubènes sableuses se rencontrent surtout sur la basse terrasse, les boubènes plus limoneuses sur la moyenne terrasse. Sur les mamelons, les rebords, les talus de terrasse et les versants des recreusements, la couche limoneuse est décapée et les couches caillouteuses ou argilo-caillouteuses affleurent.

➤ **Pédogenèse :**

Les dépôts anciens ont subi des phénomènes d'acidification, de lessivage et de dégradation des argiles. La pédogenèse est aussi marquée par l'hydromorphie.

Les sols lessivés hydromorphes des terrasses du Tarn se distinguent de ceux de la Garonne par une teneur en argile plus faible.

➤ **Profil pédologique :**

<b>0 -25cm</b> LE	2,5Y 7 /3) , sec ; <b>Taches</b> : quelques taches de couleur 10 YR 6/2 liées à la vie biologique , quelques autres taches (10 YR 7/6) , <b>Taches d'oxydation</b> : peu nombreuses (2 à 5 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 5% , graviers (0,2 à 2 cm) , métamorphiques, durs, altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 5% ; éléments ferrugineux sous forme diffuse ; <b>Texture</b> limoneuse ; <b>Structure</b> grenue ,taille : 0.1cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important; pores intergranulaires très nombreux ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 120 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : graduelle et ondulée
<b>25 -40cm</b> Eg	2,5Y 7 /4) , sec ; <b>Taches</b> : taches de couleur 10YR 6/8 liées à la vie biologique, autres taches (2,5 Y 7/2) , <b>Taches d'oxydation</b> : assez nombreuses (5 à 15 %) ; <b>Eléments figurés</b> : 15% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; <b>Texture</b> limoneuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Moyennement poreux (5 à 15 %) , Volume des vides entre agrégats faible ; pores tubulaires et vacuolaires nombreux ; <b>Enracinement</b> : très nombreuses , 190 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : nette et ondulée
<b>40 -65cm</b> Bt	2,5Y 7 /6) , frais ; <b>Taches</b> : nombreuses taches de couleur 10 YR 6/8 liées à la vie biologique, nombreuses autres taches (2,5 Y 7/2) , <b>Taches d'oxydation</b> : nombreuses (15 à 40 %) ; <b>Eléments figurés</b> : 30% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; <b>Texture</b> limono-argileuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats très faible ; pores tubulaires et vacuolaires nombreux ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 100 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : nette et ondulée
<b>65 cm</b> Btg	2,5Y 6 /6) , frais ; <b>Taches</b> : nombreuses taches de couleur 10 YR 6/8, autres taches (5 GY 6/1) , <b>Taches d'oxydation</b> : nombreuses (15 à 40 %) , <b>Taches de réduction</b> : assez nombreuses (5 à 15 %) ; <b>Eléments figurés</b> : 40% ; taches ferrugineuses, concrétions ferromanganiques, gley ; <b>Texture</b> argileuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; <b>Activité biologique</b> : Moyenne ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats très faible ; pores tubulaires et vacuolaires nombreux ; <b>Enracinement</b> : peu nombreuses , 20 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %)

**Commentaires :** Sol assez profond, limoneux, peu stable. La teneur en matière organique, l'activité biologique sont correctes dans les horizons de surface mais la porosité est faible et diminue rapidement en profondeur. Aussi, les horizons profonds sont compacts et hydromorphes.

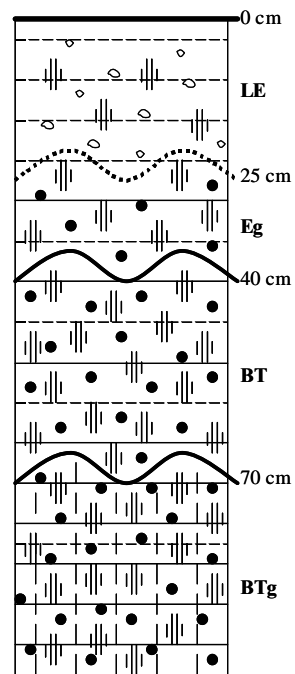
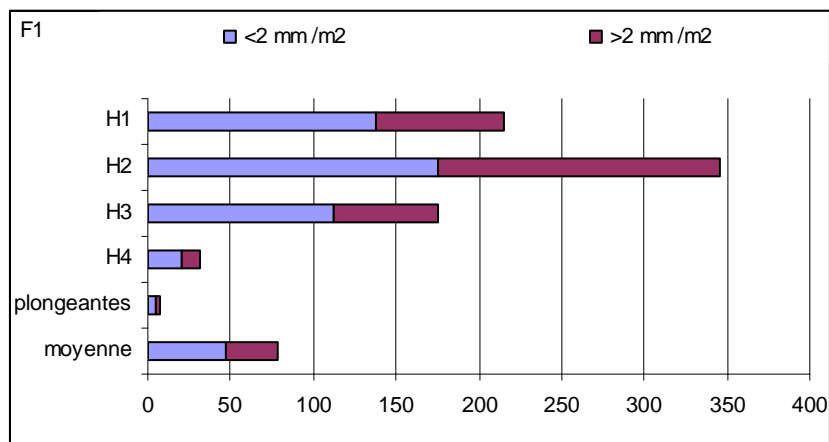


Photo 7. Photo du profil de la parcelle F1

➤ Profil racinaire :



**Commentaires :** Le développement racinaire est important dans les horizons de surface mais il est rapidement limité en profondeur en raison de la compacité et de l'hydromorphie du sol. Seules quelques racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds ne permettant qu'une alimentation hydrique faible au cours de la saison sèche.

## ➤ Analyses physico-chimiques des horizons du profil

**Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-25 cm	14	33	33	14	6
25-40 cm	15	32	37	10	6
40-65 cm	23	31	35	7	4
65-200 cm	39	36	15	6	4

**Commentaires :**

- Texture L (limoneuse)
- Sol léger
- Stabilité : instable
- Capacité de rétention : moyenne (110 mm/m)
- Battance : très battant (IB=2,97)
- risque d'asphyxie : moyen à élevé
- Aptitude à la fissuration faible

**pH**

limites	pH eau	pH KCl
0-25 cm	7	6.1
25-40 cm	6.5	5.6
40-65 cm	5.8	4.8
65-200 cm	4.6	3.7

**Commentaires :**

- pH neutre à acide en profondeur
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-25 cm	0.6	1.1	0.7	30.7
25-40 cm	0.5	1	0.6	3.6
40-65 cm	0.4	0.7	0.4	1.6
65-200 cm	0.4	0.7	0.5	0.1

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique moyenne
- C/N = 10 : vie biologique correcte et présence d'humus stable
- Teneur en azote moyenne (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Bray) médiocre (biodisponibilité moyenne)

**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-25 cm	6.5	0.9	0.43	7.6
25-40 cm	6	0.5	0.44	6.7
40-65 cm	6.7	0.9	0.34	8.7
65-200 cm	7.9	1.7	0.29	14.6

- Commentaires :**
- CEC très faible, sol saturé
  - Teneur en K satisfaisante (6% de la CEC), biodisponibilité moyenne
  - Teneur en Ca élevée (80 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
  - Teneur en Mg correcte (10 % de la CEC), bonne biodisponibilité
  - Sol naturellement peu fertile mais bien équilibré

**4.3. Analyses foliaires**

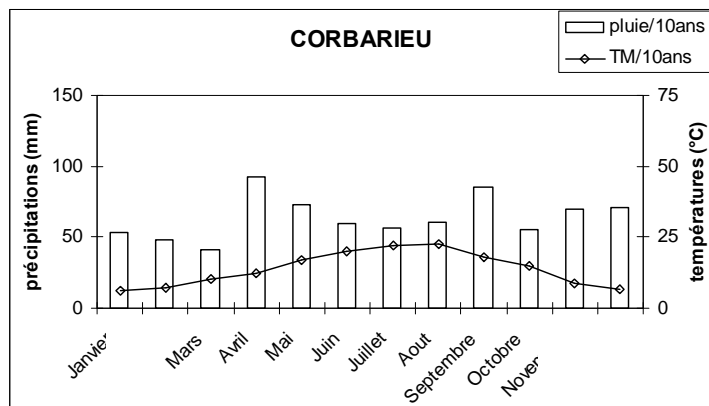
	2001		2002		2003	
	floraison	veraison	floraison	veraison	floraison	veraison
<b>K</b>	1,5	1,2	1,3	1,2	0,9	0,9
<b>Ca</b>	1,6	2,0	1,2	1,75	1,6	2,2
<b>Mg</b>	0,26	0,25	0,22	0,2	0,19	0,26
<b>N</b>	2,58	2,07	2,32	1,79	2,18	1,80

- Commentaires :**
- Teneurs en azote, calcium et magnésium satisfaisantes
  - Teneurs en potassium élevées
  - Rapports cationiques K/Ca élevés

L'alimentation minérale est correcte mais l'alimentation potassique est assez élevée.

**4.4. Etude climatologique**

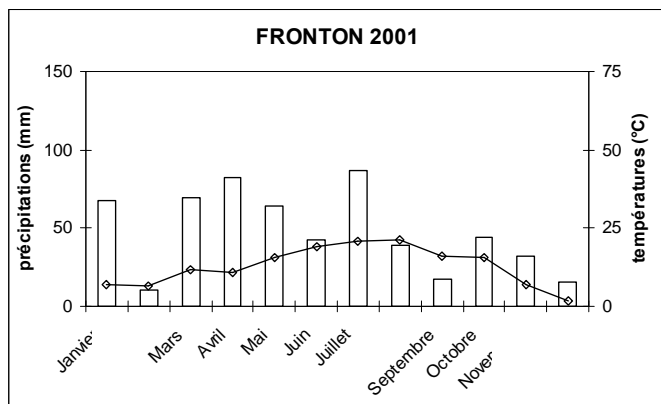
➤ **Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002**



- Aridité de Martone : Iq = 32
- Quotient pluviométrique : Q = 165

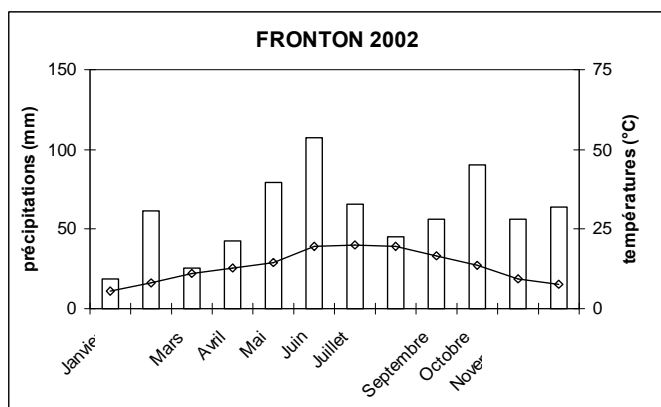
**Commentaires :** Le climat est assez sec mais les pluies assez bien réparties sur l'année. Les températures sont douces en hiver et les étés sont secs (4 mois).

➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



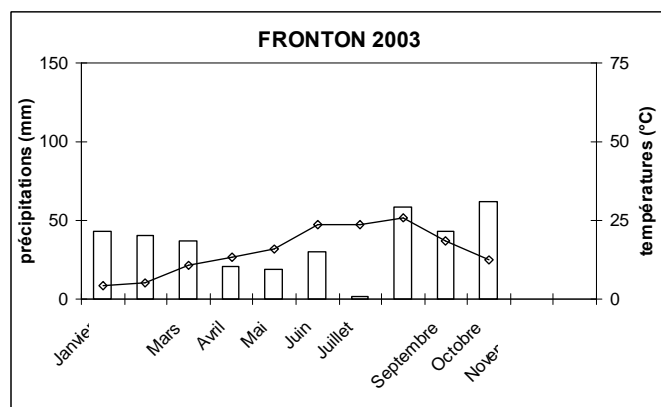
- Indice de Winkler :  $I_w = 1540$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,54$

**Commentaires :** Le climat est plus chaud mais le printemps et le mois d'août sont plus humides que la normale. Aussi, les températures hivernales sont plus fraîches. L'indice de Winkler indique que le climat est favorable pour la vigne. L'indice de Bessemoulin indique que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1395$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,58$

**Commentaires :** Le climat est semblable à la normale avec cependant des précipitations plus importantes au printemps et des températures légèrement plus fraîches. L'indice de Winkler indique que le climat est assez favorable pour la vigne. L'indice de Bessemoulin indique que les apports en eau sont satisfaisants.

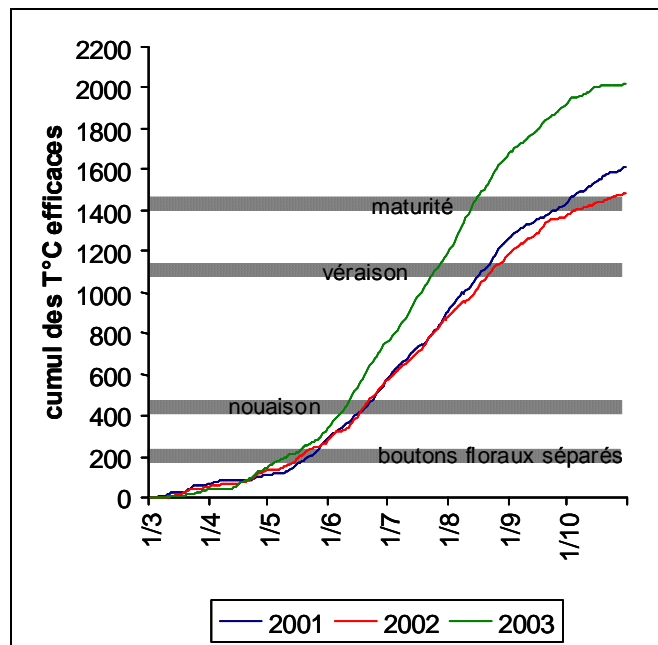


- Indice de Winkler :  $I_w = 1942$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,165$

**Commentaires :** Le climat est très sec et chaud avec sept mois de sécheresse consécutifs. L'indice de Winkler montre que les températures sont très favorables pour la vigne. L'indice de Bessemoulin est très faible indiquant un déficit hydrique important.

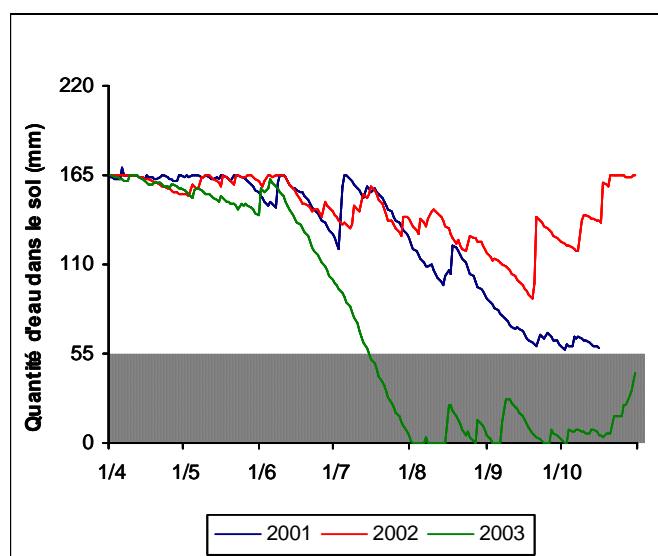


➤ Températures efficaces



**Commentaires :** Cette parcelle présente un climat favorable pour le développement précoce de la vigne. Les stades théoriques boutons floraux séparés, nouaison, véraison et maturité sont assez précoces. Les années 2001 et 2002 présentent une climatologie assez favorable pour une bonne maturité (respectivement 37 et 43 jours entre les stades véraison et maturité théorique).

➤ Bilans hydriques



**Commentaires :** Cette parcelle est peu sensible au stress hydrique. Au cours des années 2001 et 2002 la quantité d'eau contenue dans le sol est toujours suffisante (réserve utile non épuisée). En 2003, le déficit hydrique s'installe assez tardivement (mi-juillet) par rapport à d'autres terroirs.

## 5. Appellation Gaillac

### 5.1. Parcelle G1

#### 5.1.1. Caractéristiques générales de la parcelle

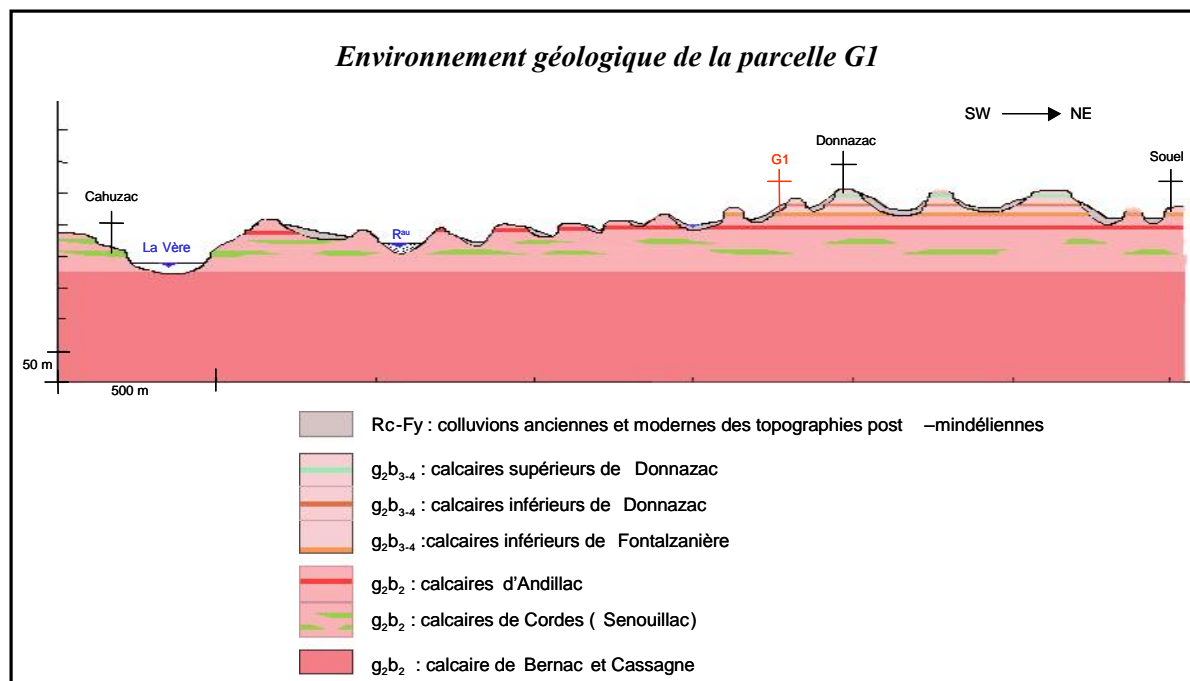
Localisation	Donnazac
Contact	Mr Ribot Mas d'Aurel 81 170 Donnazac
Situation	Plateau cordais
Altitude	290 m
Topographie	Pente nulle
Exposition	Sud ouest
Géologie	Calcaire supérieur de Donnazac (Tertiaire, Oligocène)
Type de sol	CPCS : sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire RP : calcosol dolomiteux Locale : Terrefort
Drainage interne	drainage favorable
Perméabilité	forte
Cépage	Fer servadou clone inconnu Année de plantation : 1978 PG : 41 B
Densité de plantation	4000 pieds/ha (2,5 m x 1 m)
Travail de la vigne	Taille : cordon de royat (5C x 2Y) Effeillage : oui (1 ou 2 face à la floraison et à la véraison) Rognage : oui (2 ou 3 à 1,8m) Vendange en vert : non Rendement moyen : 45 à 50 hl/ha
Entretien du sol	Désherbage sur le rang au printemps Désherbage total en été Apport annuel : germiflore (250 kg/ha)
Station météo	Frauseille

### 5.1.2. Etude géo-morpho-pédologique

#### ➤ Géologie : Plateaux sur calcaire tendre (tertiaire)

Cette unité géo-morpho-pédologique est constituée de plateaux de calcaire tendre, friable, plus ou moins épais, avec souvent des intercalations de petits bancs marneux. Ces plateaux sont faiblement à moyennement ondulés, on y trouve en association des rendzines et des sols bruns calcaires.

Les calcaires d'Albi, de Cordes et Bernac sont de l'oligocène



#### ➤ Lithologie :

Les calcaires sont hétérogènes, à bancs d'épaisseurs variées et souvent intercalés de marnes rouges ou brunes.

Les variations des dépôts correspondent aux différentes périodes de sédimentation au cours du tertiaire :

- roches calcaires lorsque les dépôts se font en condition lacustre. Ces dépôts sont d'autant plus calcaire que le lac est profond et ainsi plus indépendant des dépôts alluviaux.
- marnes et argiles calcaires lorsque les dépôts sont continentaux : ce sont des alluvions calcaires déposés dans de vastes plaines où les fleuves divaguaient. Les marnes brunes sont souvent issues de l'érosion des Pyrénées alors qu'en bordure du massif central, les marnes sont souvent rouges suite à l'érosion des rouges fersiallitiques qui recouvraient ce massif.
- les argiles à graviers sont des dépôts continentaux fluviaux à palustres, essentiellement mis en place par des écoulements en nappe, issu du massif central suite à l'altération des sols rouges fersiallitiques et d'altérites de socle.

Les calcaires de Bernac ont souvent des faciès plus argileux.

Les calcaires de Cordes se présentent, soit sous forme de puissantes assises bien individualisées de calcaires lacustres, soit sous forme de bancs de calcaires plus minces alternant avec des faciès argilo-carbonatés. Les faciès argileux sont souvent rouges.

### ➤ Géomorphologie :

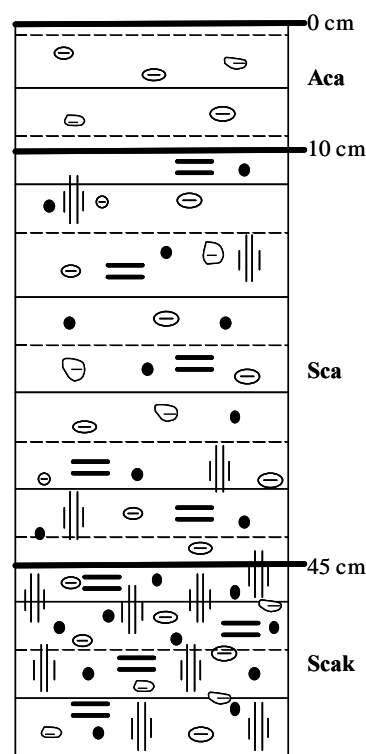
Le causse de Cordes est faiblement à moyennement ondulé avec des phénomènes karstiques peu fréquents.

Sur les pentes fortes des plateaux se trouvent des lithosols et des rendzines blanches. Sur les plateaux, les rendzines blanches dominent avec la présence de quelques rendzines noires plus profondes. Lorsque l'érosion est moins marquée les sols sont plus profonds avec présence de sols bruns calcaires et plus rarement des sols bruns calciques. Dans certains bas fonds, ou dans des cuvettes, des sols bruns lessivés sont observés avec présence de traces d'hydromorphie. Des sols rouges sont aussi présents mais la couleur rouge est héritée de la roche mère. Lorsque la roche calcaire présente un faciès plus marneux (calcaire argileux, présence de petits bancs marneux) les sols deviennent plus argileux.

### ➤ Pédogenèse :

Les ions Ca et Mg sont présents en surabondance. L'horizon Aca est souvent riche en éléments grossiers calcaires. La matière organique et les éléments minéraux y forment un complexe stable. Les sols profonds présentent un horizon Sca plus ou moins épais.

### ➤ Profil pédologique :

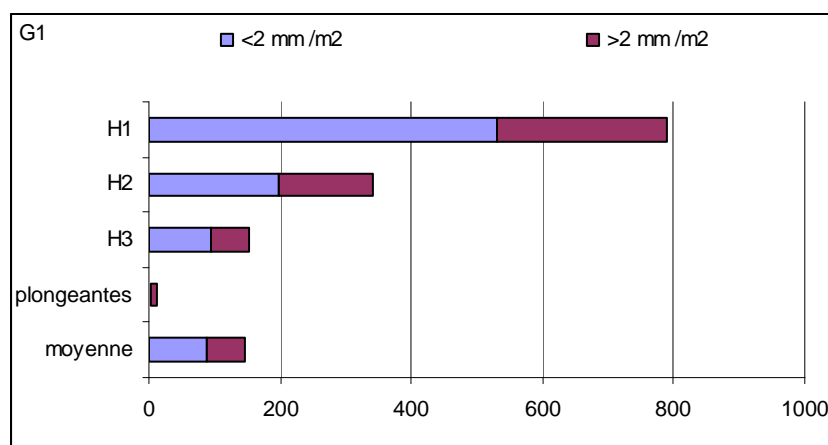


**Photo 8.** Photo du profil de la parcelle G1

<b>0 -10cm</b> Aca	2.5Y 5 /4) , humide ; <b>Taches</b> : taches peu étendues liées à la vie biologique, de couleur 10 YR 3/2 ; <b>Eléments grossiers</b> : 5% , graviers (0,2 à 2 cm) , calcaire tendre, altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 5% ; nodules calcaire friables ; <b>Texture</b> argileuse ; <b>Structure</b> grumeleuse ,taille : 0.2 cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Poreux (15 à 40 %) , Pores nombreux, tubulaires et intergranulaires ; <b>Enracinement</b> : très nombreuses , 400 /m2 ; <b>Effervescence</b> : forte , généralisée ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : nette et régulière
<b>10 -45cm</b> Sca	2,5Y 5 /4) , frais ; <b>Taches</b> : taches de couleur 2,5 Y 4/3 liées à la vie biologique, quelques autres taches (10 YR 6/6) , peu nombreuses (2 à 5 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 5% , graviers (0,2 à 2 cm) , calcaire tendre, altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 15% ; taches ferrugineuses, concrétions ferro-manganiques, nodules calcaires friables ; <b>Texture</b> argileuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 5cm ; <b>Activité biologique</b> : Moyenne ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Pores peu visibles, interstitiels ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 150 /m2 ; <b>Effervescence</b> : forte , généralisée ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %) , restes invisibles ; <b>Transition</b> : nette et régulière
<b>45 cm</b> Scak	2,5Y 6 /4) , frais ; <b>Taches</b> : taches peu étendues, de couleur 10 YR 6/6 , assez nombreuses (5 à 15 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 5% , graviers (0,2 à 2 cm) , calcaire tendre, altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 30% ; taches ferrugineuses, concrétions ferro-manganiques et nodules calcaires friables ; <b>Texture</b> argileuse ; <b>Structure</b> prismatique ,taille : 5cm ; <b>Activité biologique</b> : Faible ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Pores peu visibles, très fins, interstitiels ; <b>Enracinement</b> : peu nombreuses , 75 /m2 ; <b>Effervescence</b> : forte , généralisée ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %)

**Commentaires** : Sol profond, argileux, stable, bien structuré, très calcaire. La teneur en matière organique, l'activité biologique et la porosité sont faibles dans tous les horizons. Aussi, les horizons profonds sont compacts et présentent des traces d'hydromorphie.

➤ **Profil racinaire :**



**Commentaires** : Le développement racinaire est très important dans les horizons de surface mais il est plus limité en profondeur en raison de la compacité du sol. Quelques grosses racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds permettant ainsi une alimentation hydrique correcte au cours de la saison sèche.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil****Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-10 cm	44	35	6	7	8
10-45 cm	43	29	9	7	12
45-200 cm	40	33	8	7	12

**Commentaires :**

- Texture A (argileuse)
- Sol lourd (A>30%)
- Stabilité : stable
- Capacité de rétention : très bonne (140 mm/m)
- Battance : non battant (IB=0,9)
- Très grand risque d'asphyxie
- Aptitude à la fissuration très bonne

**pH , calcaire total et actif (%CaCO3)**

limites	pH eau	pH KCl	Calc. total	Calc Actif
0-10 cm	8	7.5	45	10,5
10-45 cm	8	7.5	38	10
45-200 cm	7.8	7.5	47	10,1

**Commentaires :**

- pH alcalin
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol très calcaire

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-10 cm	1	1.8	1	7.21
10-45 cm	0.6	1.1	0.6	0.67
45-200 cm	0.3	0.6	0.4	0.38

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique faible pour ce type de sol riche argileux
- C/N = 10 : vie biologique intense et présence d'humus stable
- Teneur en azote moyenne (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Olsen) faible (biodisponibilité très faible)

**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-10 cm	25.2	5	0.84	26.7
10-45 cm	26.2	5.5	0.52	27.1
45-200 cm	34.2	5.1	0.17	29.8

- Commentaires :**
- CEC élevée, sol saturé
  - Teneur en K faible (3% de la CEC), biodisponibilité faible
  - Teneur en Ca élevée (95 % de la CEC), bonne biodisponibilité
  - Teneur en Mg élevée (20 % de la CEC), faible biodisponibilité
  - Sol très fertile, riche mais assez pauvre en potassium

**5.1.3. Analyses foliaires**

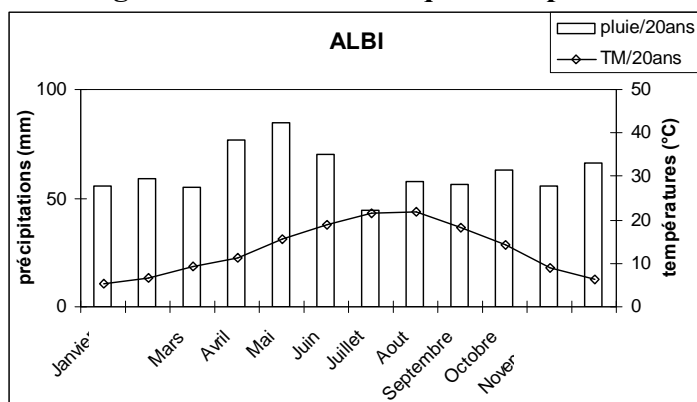
	2001		2002		2003	
	floraison	véraison	floraison	véraison	floraison	véraison
<b>K</b>	1,1	0,9	2,2	0,75	0,8	0,7
<b>Ca</b>	1,7	2,5	1,8	2,8	2,1	3,4
<b>Mg</b>	0,42	0,57	0,43	0,45	0,36	0,56
<b>N</b>	2,82	1,89	2,53	1,66	2,00	1,61

- Commentaires :**
- Teneurs en azote et calcium correctes
  - Teneurs en potassium faibles
  - Teneurs en magnésium élevées
  - Rapports cationiques K/Mg très bas

Alimentation minérale bonne mais déséquilibrée : les risques de carence potassique sont importants (carence induite par Ca et Mg)

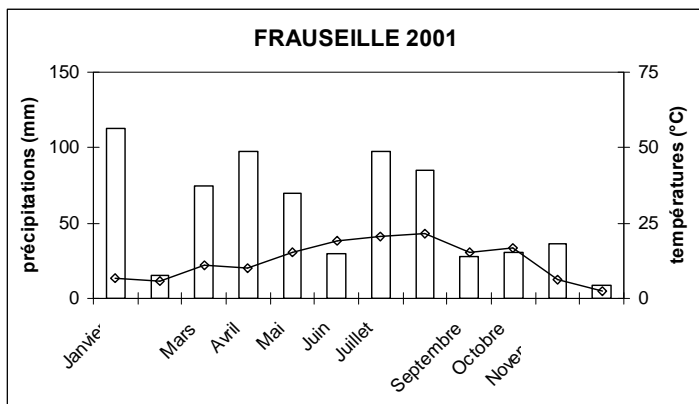
**5.1.4. Etude climatologique**

➤ **Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002**



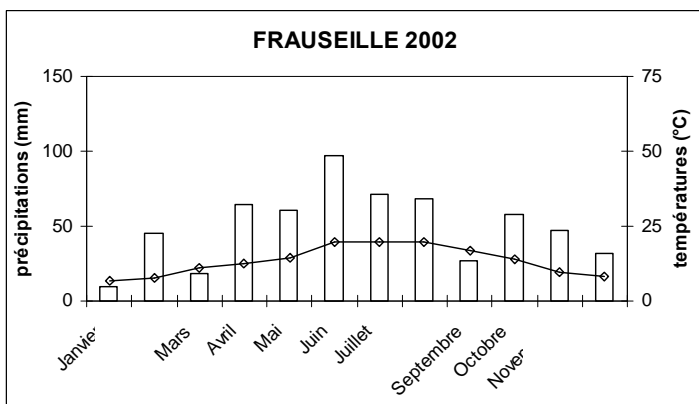
- Aridité de Martone :  $I_q = 29$
  - Quotient pluviométrique :  $Q = 145$
- Commentaires :** Le climat est assez chaud et sec. Les pluies sont plus importantes en hiver et au printemps et les mois de Juin à Octobre sont secs et chauds.

➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



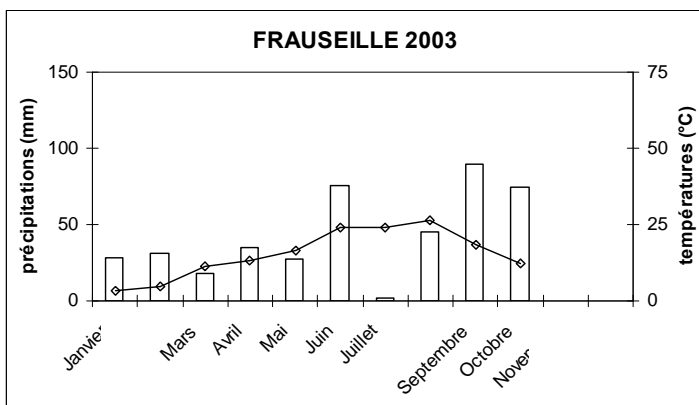
- Indice de Winkler :  $I_w = 1537$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,59$

**Commentaires :** L'année est un peu plus humide que la normale avec de faibles précipitations en juin, septembre et octobre. Les précipitations des mois de juillet et août sont importantes en raison de fortes pluies orageuses. L'indice de Winkler indique que le climat est assez favorable pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1357$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,61$

**Commentaires :** L'année est plus humide que la normale avec seulement trois mois secs. Les précipitations sont importantes d'avril à août. L'indice de Winkler indique que le climat est limite pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont satisfaisants.

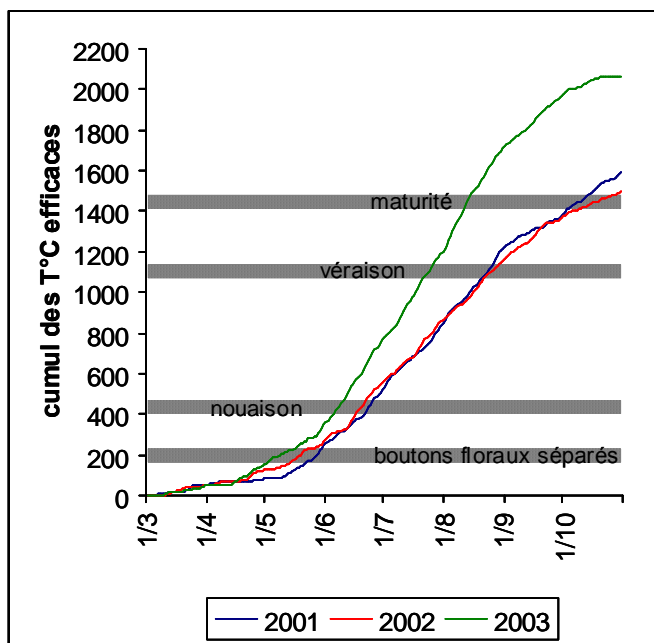


- Indice de Winkler :  $I_w = 2017$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,22$

**Commentaires :** L'année est plus chaude et sèche que la normale. Les précipitations sont très faibles de janvier à début septembre et les températures sont plus élevées. L'indice de Winkler indique que le climat est très favorable à la vigne mais l'indice de Bessemoulin indique un déficit hydrique important.

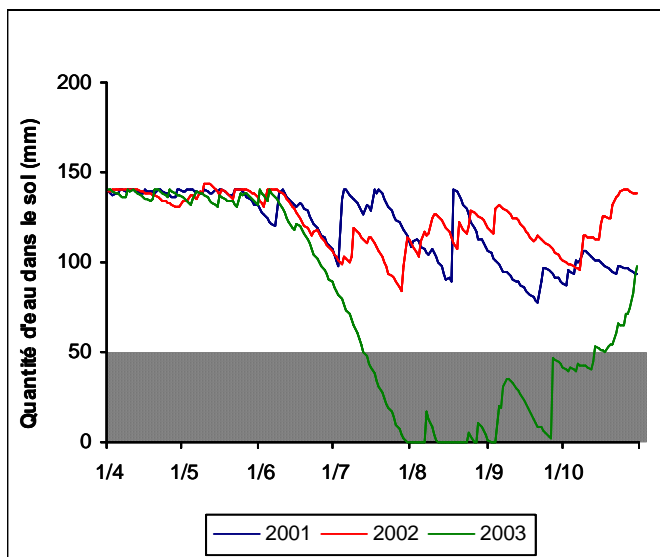


➤ **Températures efficaces**



**Commentaires :** Cette parcelle présente un climat permettant un développement assez tardif de la vigne. Excepté en 2003, les stades théoriques boutons floraux séparés, nouaison, véraison et maturité sont relativement tardifs. L'année 2001 présente le climat le plus favorable pour la maturation du raisin (41 jours entre les stades véraison et maturité théoriques).

➤ **Bilans hydriques**



**Commentaires :** Cette parcelle est peu sensible au stress hydrique. Au cours des années 2001 et 2002 la quantité d'eau contenue dans le sol est suffisante (réserve utile non épuisée). En 2003, le déficit hydrique s'installe assez tardivement (mi-juillet).

## 5.2. Parcelle G2

### 5.2.1. Caractéristiques générales de la parcelle

<b>Localisation</b>	Senouillac
<b>Contact</b>	Mr Rech Lagarrigue 81 600 Senouillac
<b>Situation</b>	coteau
<b>Altitude</b>	217m
<b>Topographie</b>	pente faible
<b>Exposition</b>	Ouest
<b>Géologie</b>	Calcaire de Senouillac (Tertiaire, Oligocène)
<b>Type de sol</b>	CPCS : sol calcimagnésique carbonaté brun calcaire à encroûtement calcaire RP : calcosol calcarique Locale : terrefort
<b>Drainage interne</b>	drainage favorable
<b>Perméabilité</b>	moyenne
<b>Cépage</b>	Fer Servadou clone 421 Année de plantation : 1979 PG : SO4
<b>Densité de plantation</b>	4 000 pieds/ha (2,5 m x 1 m)
<b>Travail de la vigne</b>	Taille : guyot simple Effeuilage : non Rognage : oui (2 ou 3 à 1,8 m) Vendange en vert : non Rendement moyen : 50 hl/ha
<b>Entretien du sol</b>	Enherbement naturel maîtrisé (gyrobroyage) Désherbage sur le rang Apport annuel : 50 U d'azote (NH4) au débourrement
<b>Station météo</b>	Sénoillac

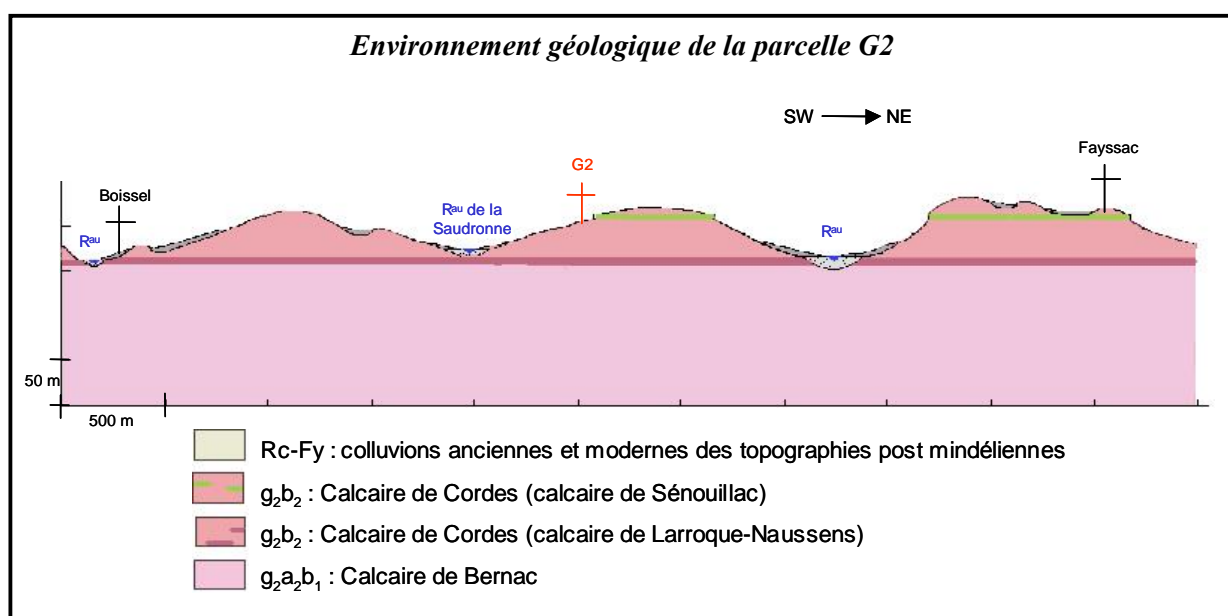
## 5.2.2. Etude géo-morpho-pédologique

### ➤ Géologie : Coteaux sur marnes et calcaires

Les coteaux molassiques sur marnes présentent de nombreuses barres calcaires. Les versants marneux sont de pentes moyennes à fortes, des affleurements rocheux et des barres calcaires arment le sommet des collines, des buttes et des petits calcaires résiduels sont visibles.

Les sols sont le plus souvent des terreforts calcaires : sols bruns calcaires plus ou moins caillouteux reposant sur la marne et parfois le calcaire.

Entre Gaillac et Cordes les formations datent de l'Oligocène (Stampien g2b2) et correspondent principalement au niveau de calcaire de Cordes et des faciès molassiques qui l'accompagnent.



### ➤ Lithologie :

Entre les secteurs sur calcaire tendre du tertiaire et les secteurs sur marnes et calcaires, les couches géologiques sont souvent identiques pour le géologue. Seuls les faciès changent et surtout leur importance relative. La cartographie entre ces différents secteurs est souvent délicate, les variations étant souvent progressives.

Dans les secteurs calcaires, les bancs de calcaires lacustres sont épais et dominants, et les bancs marneux sont peu épais et peu fréquents. Dans les secteurs sur marnes et calcaires, les bancs calcaires se réduisent à quelques mètres d'épaisseur et les bancs marneux sont dominants.

Les faciès calcaires ou marneux prennent souvent une couleur rouge, vers l'est, lorsque l'on se rapproche du massif central.

➤ **Géomorphologie :**

C'est une succession de petits plateaux calcaires étroits et disséqués, de collines résiduelles aux sommets calcaires, de collines armées par des barres calcaires qui affleurent localement. Les versants sont souvent abrupts sur calcaire, ils ont des pentes moyennes à fortes sur molasse.

Suite à la présence de ces barres calcaires qui arment le relief, les pentes sont souvent plus fortes que sur les coteaux molassiques. Lorsque les cours d'eau sont peu encaissés, les pentes restent alors modérées.

Dans les zones calcaires on trouve quelques lithosols et rendzines blanches ainsi que des sols bruns calcaires, caillouteux, plus ou moins profonds.

Dans les zones marneuses (qui sont les plus fréquentes), les sols sont typiques des terreforts calcaires.

➤ **Pédogenèse :**

Sur les roches calcaires, les ions Ca et Mg sont présents en surabondance. Les sols peu profonds (moins de 40 cm) ont un profil A/C avec une structure grumeleuse très développée et une charge caillouteuse très importante (Rendzines). Sur les sols plus profonds un horizon Aca apparaît, plus ou moins épais.

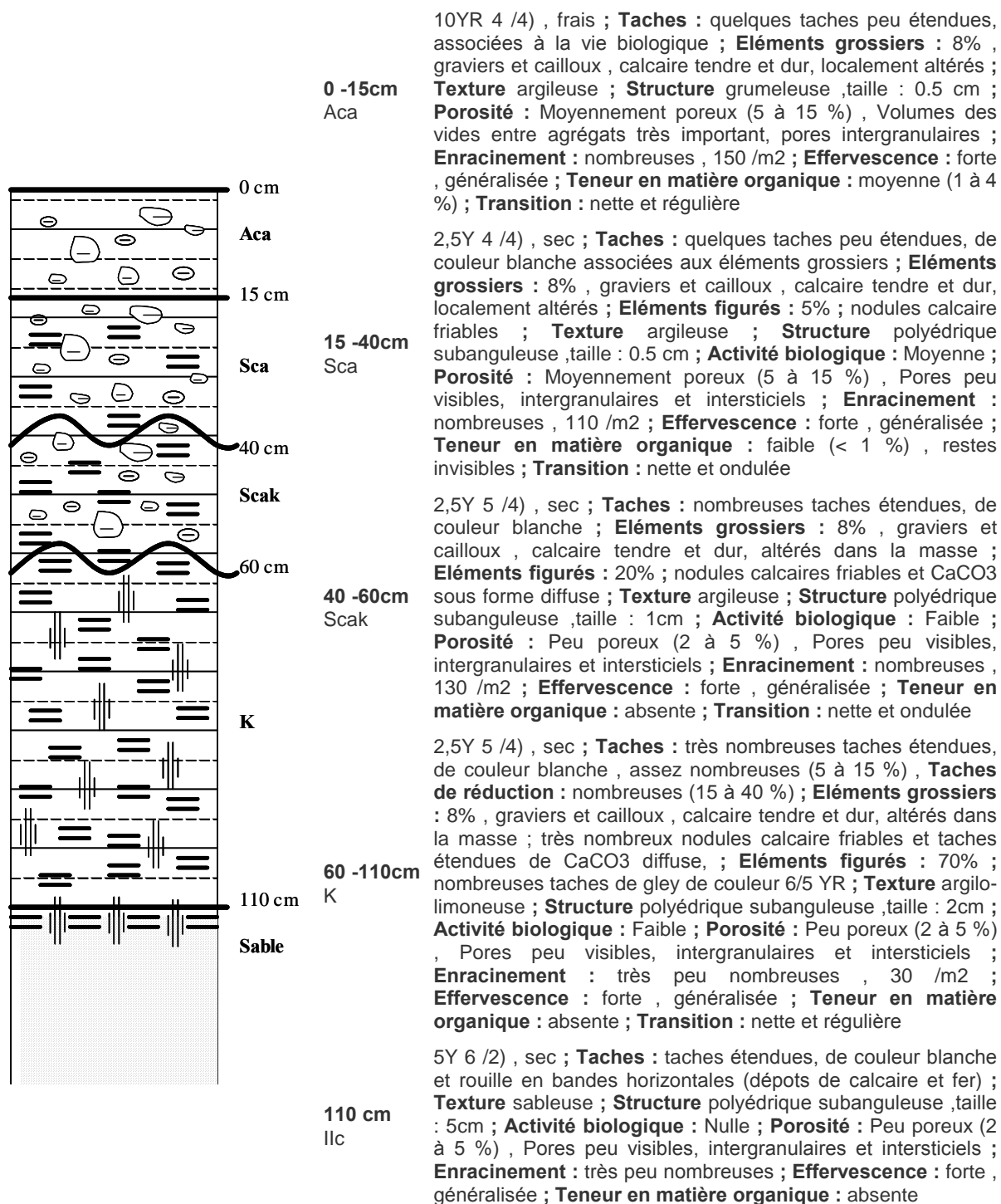
Sur les roches marneuses, les sols sont bruns calciques ou calcaires plus ou moins profonds et lessivés. Etant donné les pentes souvent marquées et la présence de nombreuses barres calcaires, les sols présentent souvent une charge caillouteuse calcaire importante et un lessivage peu marqué du calcium (les sols bruns calcaires et peu lessivés sont les plus fréquents).

Sur les marnes rouges, la présence d'argile à graviers compacte donne des sols marqués par l'hydromorphie, moins calcaires voir acides.

➤ **Profil pédologique :**

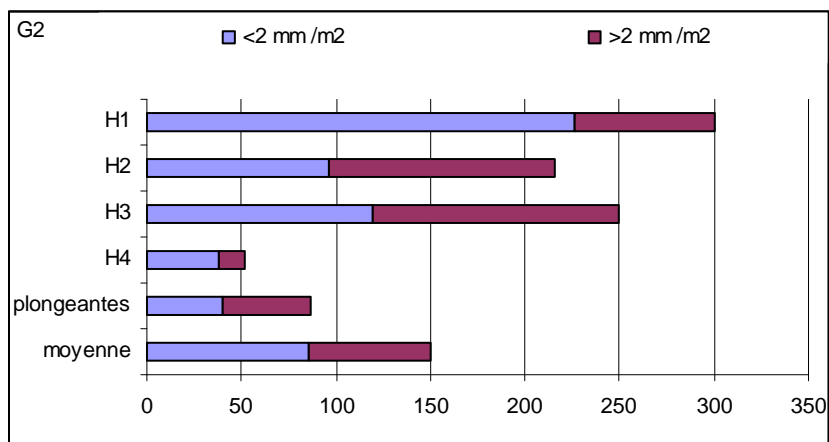


**Photo 9.** Photo du profil de la parcelle G2



**Commentaires :** Sol moyennement profond, argileux, stable et bien structuré. La teneur en matière organique, l'activité biologique et la porosité sont faibles surtout dans les horizons profonds. Les horizons profonds sont compacts et hydromorphes.

➤ **Profil racinaire :**



**Commentaires :** Le développement racinaire est important dans les horizons de surface mais il est rapidement limité en profondeur en raison de la compacité et de l'hydromorphie du sol. Des racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds permettant une alimentation hydrique correcte au cours de la saison sèche.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil**

limites	Granulométrie en %				
	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-15 cm	42	24	8	15	11
15-40 cm	45	25	7	12	11
40-60 cm	44	32	7	9	8
60-110 cm	40	26	5	12	17
110-200 cm	7	16	2	29	46

**Commentaires :**

- Texture A (argileuse)
- Sol lourd (A>30%)
- Stabilité : stable
- Capacité de rétention : très bonne (130 mm/m)
- Battance : non battant (IB=0,71)
- Très grand risque d'asphyxie
- Aptitude à la fissuration bonne

**pH, calcaire total et actif (%CaCO<sub>3</sub>)**

limites	pH eau	pH KCl	Calc. total	Calc Actif
0-15 cm	8.3	7.4	31	7,9
15-40 cm	8.3	7.4	26	8,8
40-60 cm	8.4	7.5	34	9,9
60-110 cm	8.4	7.7	36	10,5
110-200 cm	8.6	8	18	2,4

**Commentaires :**

- pH alcalin
- pH permettant une faible biodisponibilité des éléments minéraux
- sol calcaire

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-15 cm	0.9	1.7	1	3.74
15-40 cm	0.5	1	0.6	0
40-60 cm	0.3	0.5	0.4	0
60-110 cm	0.2	0.3	0.3	0
110-200 cm	-	0	0.1	0

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique faible pour ce type de sol riche en argile
- C/N < 10 : vie biologique intense et MO en voie de décomposition
- Teneur en azote moyenne (biodisponibilité moyenne)
- Teneur en phosphore (Olsen) faible (biodisponibilité faible)

**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-15 cm	26.2	1.7	0.67	20.2
15-40 cm	27	2.2	0.68	26
40-60 cm	27.9	2.2	0.45	23
60-110 cm	31.5	1.6	0.30	24.7
110-200 cm	27.2	1.1	0.21	18.5

**Commentaires :**

- CEC élevée, sol saturé
- Teneur en potassium faible (3 % de la CEC), biodisponibilité faible
- Teneur en calcium élevée (CEC saturée), biodisponibilité élevée
- Teneur en magnésium faible (8 % de la CEC), faible biodisponibilité
- Sol fertile, très riche en calcium, mais pauvre en potassium et magnésium (risques de carences importants)

### 5.2.3. Analyses foliaires

	2001		2002	
	floraison	veraison	floraison	veraison
<b>K</b>	1,4	1,0	1,8	0,9
<b>Ca</b>	2,1	2,8	2,4	3,25
<b>Mg</b>	0,21	0,23	0,26	0,225
<b>N</b>	2,60	1,60	2,58	1,58

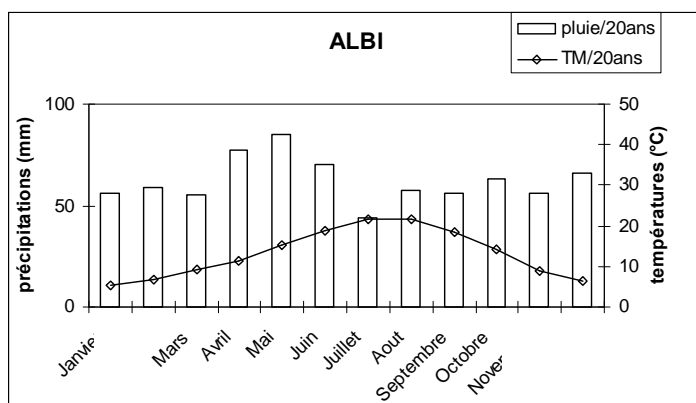
**Commentaires :**

- Teneurs en azote et magnésium médiocres
- Teneurs en potassium satisfaisantes
- Teneurs en calcium élevées
- Rapports cationiques Ca/Mg très bas

Alimentation minérale correcte mais les risques de carence magnésienne sont très importants. Le sol étant saturé on peut envisager un apport de magnésie par voie foliaire.

### 5.2.4. Etude climatologique

#### ➤ Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002

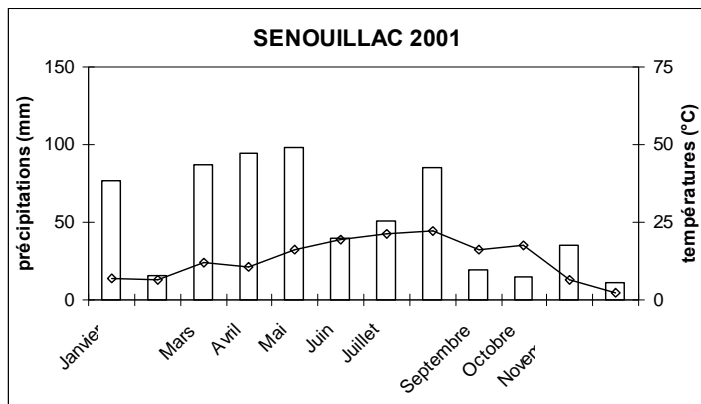


- Aridité de Martone :  $I_q = 29$
- Quotient pluviométrique :  $Q = 145$

**Commentaires :** Le climat est assez chaud et sec. Les pluies sont plus importantes en hiver et au printemps et les mois de Juin à Octobre sont secs et chauds.

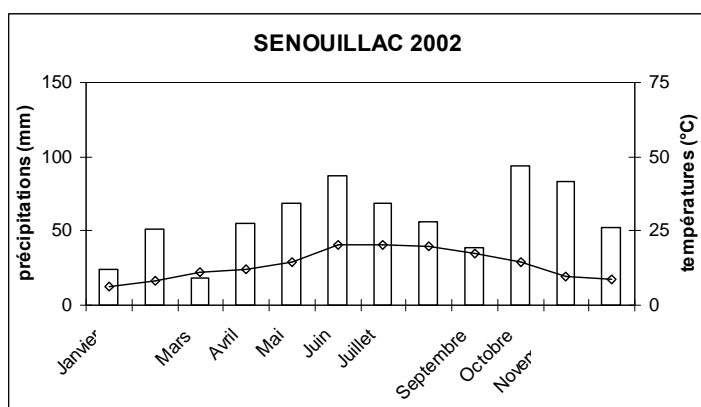


➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



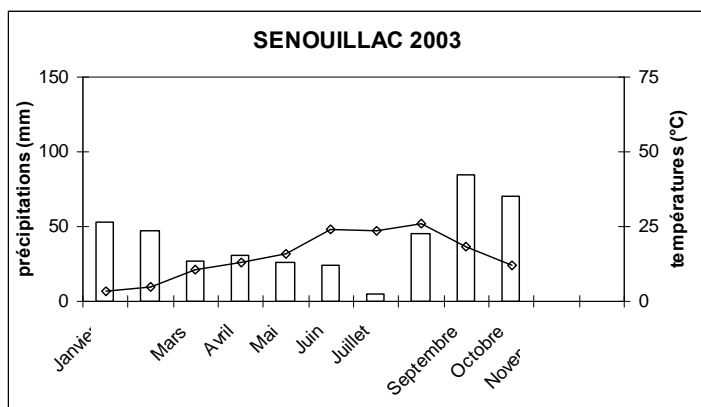
- Indice de Winkler :  $I_w = 1562$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,57$

**Commentaires :** L'année est un peu plus sèche que la normale avec quatre mois secs. Les précipitations du mois d'août sont importantes en raison d'un fort orage. L'indice de Winkler indique que le climat est assez favorable pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1395$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,56$

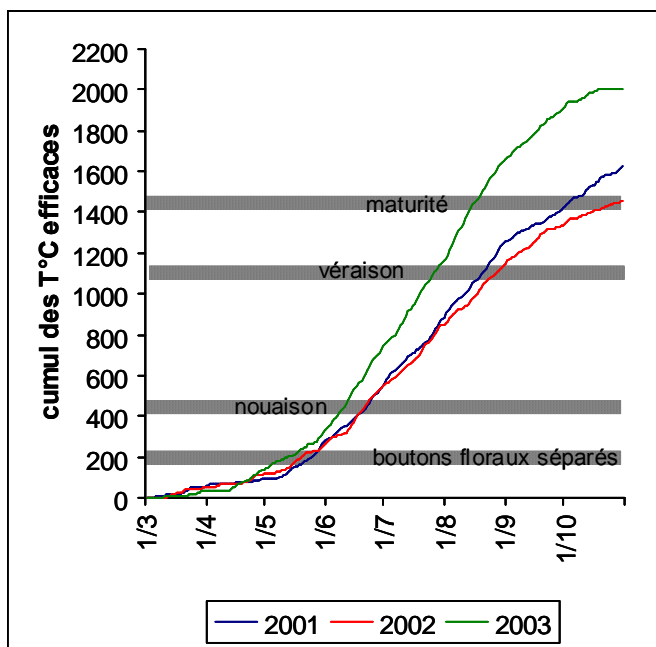
**Commentaires :** L'année est plus humide que la normale avec seulement trois mois secs. Les précipitations sont importantes d'avril à août. L'indice de Winkler indique que le climat est limite pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1942$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,17$

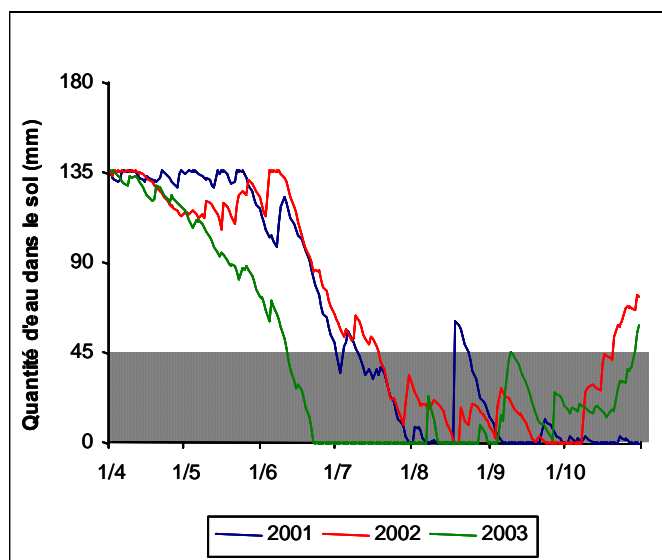
**Commentaires :** L'année est plus chaude et sèche que la normale. Les précipitations sont très faibles de mars à début septembre et les températures sont plus élevées. L'indice de Winkler indique que le climat est très favorable à la vigne mais l'indice de Bessemoulin indique un déficit hydrique très important.

➤ Températures efficaces



**Commentaires :** Le climat de cette parcelle permet un développement moyennement précoce de la vigne. L'année 2001 présente une climatologie assez favorable pour l'obtention d'une bonne maturité (39 jours entre les stades véraison et maturité théoriques).

➤ Bilans hydriques



**Commentaires :** Cette parcelle est assez sensible au stress hydrique. En 2001 et 2002 les déficits hydriques s'installent tardivement (à partir de la mi-juillet) mais sont durables. En 2003, le déficit hydrique s'installe assez rapidement (mi-juin). Ces stress hydriques sont assez prononcés et sont susceptibles d'entraîner des blocages de maturité.

### 5.3. Parcelle G3

#### 5.3.1. Caractéristiques générales de la parcelle

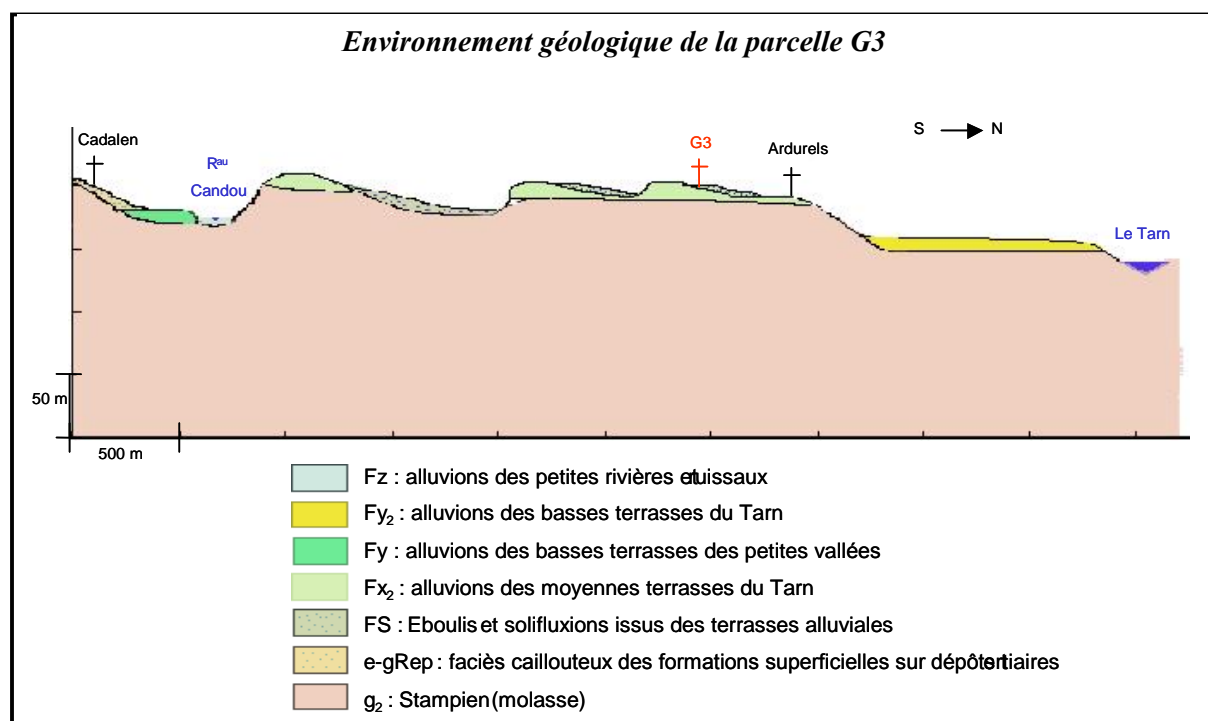
<b>Localisation</b>	Lagrange
<b>Contact</b>	Candia Claude Dom. Balagès 81 150 Lagrange
<b>Situation</b>	Rive gauche du Tarn
<b>Altitude</b>	180 m
<b>Topographie</b>	Pente nulle
<b>Exposition</b>	Est
<b>Géologie</b>	Moyenne terrasse du Tarn (Quaternaire, Riss)
<b>Type de sol</b>	CPCS : sols peu évolués non climatiques d'apport colluvial RP : colluviosol Locale : Graves
<b>Drainage interne</b>	drainage favorable
<b>Perméabilité</b>	forte
<b>Cépage</b>	Fer Servadou clone 421 Année de plantation : 1989 PG : 3309 C (clone 111)
<b>Densité de plantation</b>	4 500 pieds/ha (2,2 m x 1 m)
<b>Travail de la vigne</b>	Taille : guyot simple (6b / 2c) Effeillage : non Rognage : 3 passage (1,80 m) Vendange en vert : non Rendement moyen : 45 à 55 hl/ha
<b>Entretien du sol</b>	Enherbement naturel maîtrisé (gyrobroyeur) 2 ou 3 desherbage sur le rang (Round-up) Apport en 2003 de 1 T/ha de scorie potassique
<b>Station météo</b>	Montans

### 5.3.2. Etude géo-morpho-pédologique

#### ➤ Géologie : Terrasse plane d'alluvions anciennes mal drainées à boubènes

Les terrasses du Tarn sont bien individualisées et se sont développées presque uniquement sur la rive gauche de la rivière.

Les sols sont lessivés et hydromorphes avec apparition de l'horizon BT à des profondeurs variables suivant l'importance de l'érosion et du colluvionnement. La texture de surface est limoneuse, parfois graveleuse et plus rarement argileuse. La basse terrasse (Wurm) est plane et bien conservée, la moyenne terrasse est beaucoup plus bosselée suite à une érosion plus marquée.



#### ➤ Lithologie :

La basse terrasse est constituée de dépôts caillouteux intégrés au sein d'une matrice plus ou moins rubéfiée. Ces cailloux sont constitués principalement de quartz et quartzites patinés.

La moyenne terrasse est formée d'alluvions très caillouteuses de 4 à 5 mètres d'épaisseur, avec presque exclusivement des quartz et quartzites patinés, parfois cariés et infiltrés de rouille selon leurs cassures, souvent gélifractés. Un dépôt limoneux recouvre le plus souvent ces formations caillouteuses.

#### ➤ Géomorphologie :

Les basses et moyennes terrasses du Tarn se situent presque exclusivement sur la rive gauche. Elles sont généralement 10 à 30 mètres au dessus de la basse plaine. Les moyennes terrasses dominent la basse plaine de 50 à 80 mètres.

Les terrasses sont étagées et le substratum molassique affleure localement sur les talus des terrasses. Ces deux niveaux de terrasses sont recoupés transversalement par des ruisseaux secondaires issus des coteaux avoisinants et formant ainsi une succession de lobes.

Les basses terrasses sont encore bien conservées avec un niveau plat bien marqué dans le paysage.

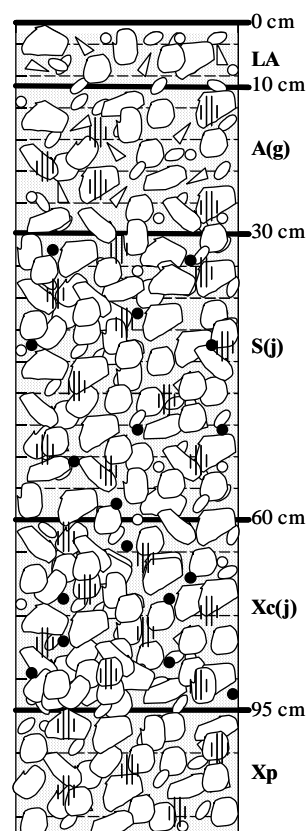
Les moyennes terrasses sont beaucoup plus découpées, leur morphologie générale est modérément ondulée, bosselée. Les vallées des ruisseaux secondaires présentent une dissymétrie marquée : les versants exposés sud – sud-ouest sont pentus et le substratum molassique affleure tandis que les versants nord – nord-est ont des faibles pentes et sont recouverts de puissantes coulées de solifluxion.

#### ➤ Pédogenèse :

Les processus pédogénétiques qui ont conditionné la formation de ces sols hydromorphes sont :

- le lessivage du calcium et des cations avec une acidification des sols
- le lessivage du fer et des argiles
- l'altération des argiles
- un fractionnement intense des grains de quartz, les débris allant enrichir les classes granulométriques les plus fines.
- l'hydromorphie

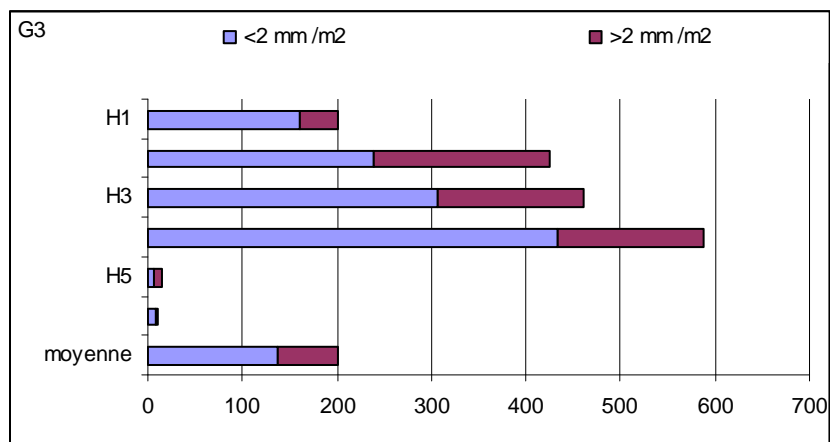
#### ➤ Profil pédologique :



**Photo 10.** Photo du profil de la parcelle G3

<b>0 -10cm</b> LA	10YR 4 /4) , humide ; <b>Taches</b> : taches de couleur 10 YR 4/3 liées à la vie biologique ; <b>Eléments grossiers</b> : 50% , divers types , métamorphique, faiblement altérés à altérés dans la masse ; <b>Texture</b> limono-sableuse ; <b>Structure</b> grumeleuse ,taille : 0.5cm ; <b>Activité biologique</b> : Très forte ; <b>Porosité</b> : Très poreux (> 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important, pores tubulaires et intergranulaires très nombreux ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 110 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : distincte et régulière
<b>10 -30cm</b> Ag	10YR 5 /8) , frais ; <b>Taches</b> : quelques taches de couleur 5 YR 4/6 , très peu nombreuses (< 2 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 50% , divers types , métamorphique, faiblement altérés à altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 5% ; taches ferrugineuses ; <b>Texture</b> limono-sableuse ; <b>Structure</b> grumeleuse ,taille : 0.5cm ; <b>Activité biologique</b> : Très forte ; <b>Porosité</b> : Très poreux (> 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important, pores tubulaires et intergranulaires très nombreux ; <b>Enracinement</b> : très nombreuses , 200 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : diffuse et régulière
<b>30 -60cm</b> Sj	7,5YR 4 /6) , frais , <b>taches d'oxydation</b> assez nombreuses (5 à 15 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 80% , divers types , métamorphique, faiblement altérés à altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 15% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques (aussi sur cailloux) ; <b>Texture</b> argilo-limoneuse ; <b>Structure</b> grumeleuse ,taille : 0.2cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Très poreux (> 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important, pores intergranulaires très nombreux ; <b>Enracinement</b> : très nombreuses , 230 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : nette et régulière
<b>60 -95cm</b> Xc	5YR 5 /8) , frais , <b>taches d'oxydation</b> : nombreuses (15 à 40 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 80% , divers types , métamorphique, faiblement altérés à altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 30% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques (aussi sur cailloux) ; <b>Texture</b> limono-sableuse ; <b>Structure</b> grumeleuse ,taille : 0.2cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Très poreux (> 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important, pores intergranulaires très nombreux ; <b>Enracinement</b> : très nombreuses , 280 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : nette et régulière
<b>95 cm</b> Xp	10YR 7 /1) , frais ; <b>Taches</b> : taches peu étendues, associées aux éléments grossiers, de couleur 7,5 YR 5/8 , <b>Taches d'oxydation</b> : nombreuses (15 à 40 ; <b>Eléments grossiers</b> : 90% , divers types , métamorphiques, faiblement altérés à altérés dans la masse ; <b>Eléments figurés</b> : 40% ; taches ferrugineuses, concrétions ferromanganiques (aussi sur cailloux) ; <b>Texture</b> limono-sableuse ; <b>Structure</b> grumeleuse ,taille : 0.2cm ; <b>Activité biologique</b> : Faible ; <b>Porosité</b> : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores peu visibles, intergranulaires ; <b>Enracinement</b> : très peu nombreuses , 20 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %)

**Commentaires** : Sol moyennement profond, limono-sableux, très caillouteux. La teneur en matière organique est moyenne, l'activité biologique et la porosité très importantes sur l'ensemble du profil. Aussi, les horizons profonds sont très caillouteux, compacts et présentent des traces d'hydromorphie et de rubéfaction.

➤ **Profil racinaire :**

**Commentaires :** Le développement racinaire est très important mais le dernier horizon très caillouteux et compact limite la pénétration des racines. Quelques racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds permettant une alimentation hydrique suffisante au cours de la saison sèche.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil****Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-10 cm	18	23	18	21	20
10-30 cm	20	26	23	16	15
30-60 cm	30	22	17	12	19
60-95 cm	20	23	17	14	26
95-200 cm	17	24	16	16	27

**Commentaires :**

- Texture LSa (limono-sableuse)
- Sol moyen, très caillouteux
- Stabilité : instable
- Capacité de rétention : faible (100 mm/m de terre fine)
- Battance : non battant (IB=1,3)
- Très grand risque d'asphyxie
- Aptitude à la fissuration moyenne

limites	pH	
	pH eau	pH KCl
0-10 cm	6.2	5.1
10-30 cm	4.5	3.9
30-60 cm	4.2	3.8
60-95 cm	4.8	4.1
95-200 cm	5.9	4.6

**Commentaires :**

- pH acide
- pH permettant une faible biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

#### Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-10 cm	1.1	1.9	1	68
10-30 cm	0.7	1.2	0.8	63.5
30-60 cm	0.3	0.6	0.5	10.5
60-95 cm	0.2	0.4	0.4	11.8
95-200 cm	-	-	0.3	2.2

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique moyenne
- C/N = 10 : bonne activité biologique, présence d'humus stable
- Teneur en azote moyenne (faible biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Bray) faible (faible biodisponibilité)

#### Cations Echangeables en meq/100g

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-10 cm	1	0.9	0.63	5.8
10-30 cm	1.1	0.7	0.50	4.6
30-60 cm	1.3	0.7	0.39	6.7
60-95 cm	1.1	0.5	0.17	6.1
95-200 cm	1.2	0.6	0.51	5.3

**Commentaires :**

- CEC très faible, taux de saturation faible (< 60 %)
- Teneur en K élevée (10% de la CEC), faible biodisponibilité
- Teneur en Ca faible (20 % de la CEC), faible biodisponibilité
- Teneur en Mg médiocre (5 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
- Sol peu fertile, riche en potassium.



### 5.3.3. Analyses foliaires

élément	2001		2002		2003	
	floraison	véraison	floraison	véraison	floraison	véraison
<b>K</b>	1,5	1,3	2,7	1,15	1,1	0,4
<b>Ca</b>	0,9	1,2	1,1	1,6	0,9	1,8
<b>Mg</b>	0,19	0,17	0,26	0,25	0,13	0,17
<b>N</b>	2,90	2,20	2,64	2,03	2,28	1,84

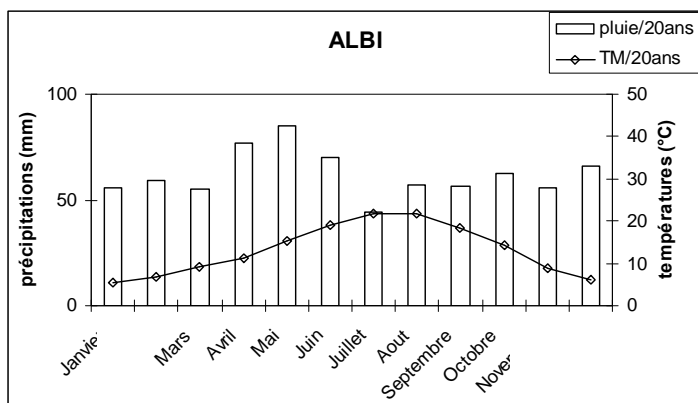
**Commentaires :**

- Teneurs en azote et potassium satisfaisantes
- Teneurs en calcium et magnésium faibles
- Rapports cationiques K/Ca élevés

Alimentation azotée et potassique très satisfaisante. Une fertilisation calco-magnésienne et/ou un apport par voie foliaire (sol très difficile à travailler et horizon de surface presque saturé) devrait être envisagée.

### 5.3.4. Etude climatologique

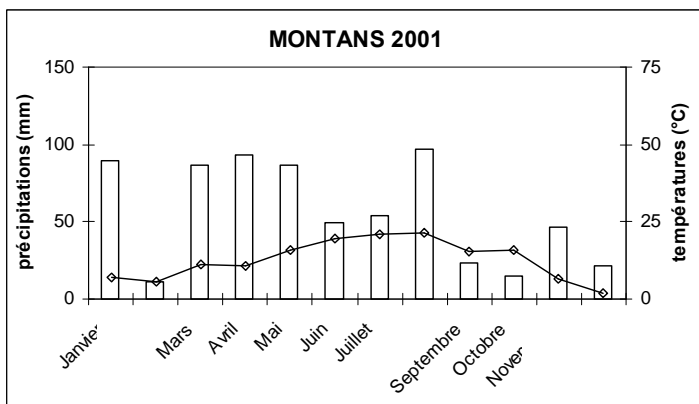
➤ **Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002**



- Aridité de Martone :  $I_q = 29$
- Quotient pluviométrique :  $Q = 145$

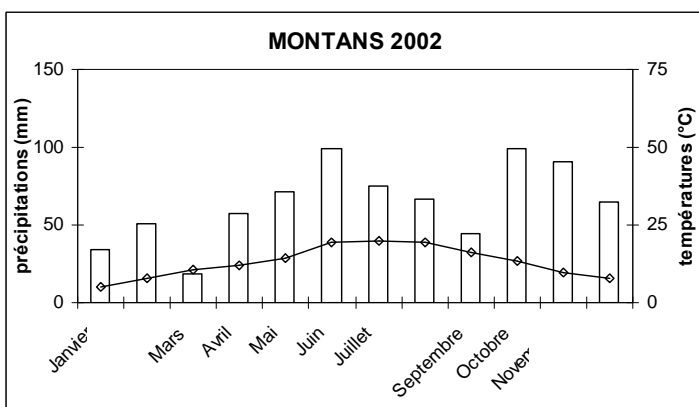
**Commentaires :** Le climat est assez chaud et sec. Les pluies sont plus importantes en hiver et au printemps et les mois de Juin à Octobre sont secs et chauds.

➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



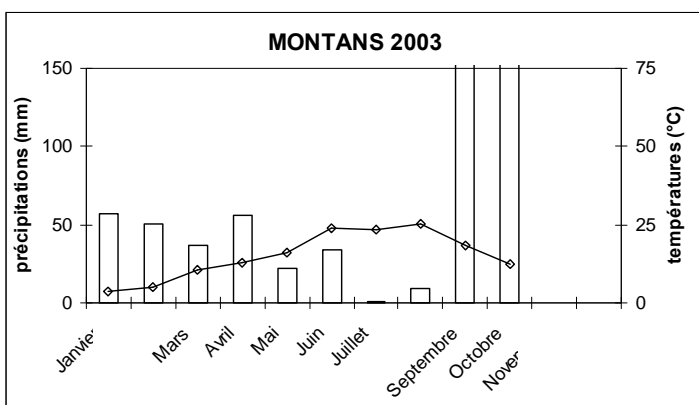
- Indice de Winkler :  $I_w = 1548$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,59$

**Commentaires :** L'année est un peu plus humide que la normale avec quatre mois secs. Les précipitations du mois d'août sont importantes en raison d'un fort orage. L'indice de Winkler indique que le climat est assez favorable pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1377$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,62$

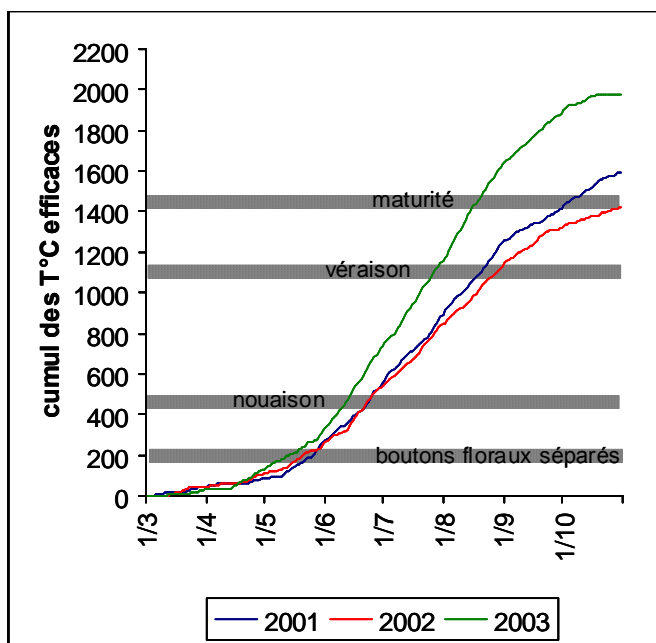
**Commentaires :** L'année est plus humide et fraîche que la normale avec seulement trois mois secs. Les précipitations sont importantes et assez bien réparties sur l'année. L'indice de Winkler indique que le climat est limite pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont très satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1952$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,15$

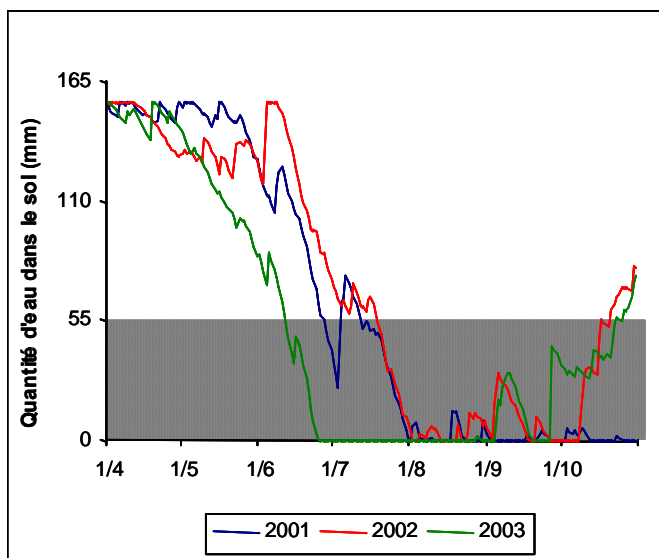
**Commentaires :** L'année est plus chaude et sèche que la normale. Les précipitations sont très faibles de mai à début septembre et les températures sont plus élevées. Les précipitations du mois de septembre sont très élevées en raison d'un fort orage à la fin du mois. L'indice de Winkler indique que le climat est très favorable à la vigne mais l'indice de Bessemoulin indique un déficit hydrique très important.

➤ Températures efficaces



**Commentaires :** Le climat de cette parcelle permet un développement moyennement précoce de la vigne. L'année 2001 présente une climatologie assez favorable pour l'obtention d'une bonne maturité (39 jours entre les stades véraison et maturité théoriques).

➤ Bilans hydriques



**Commentaires :** Cette parcelle est très sensible au stress hydrique. Au cours des trois années étudiées, des déficits hydriques prolongés sont observés : à partir du 20 juin en 2001 et 2002, et à partir de début juin en 2003. Ces stress hydriques sont précoces et durables et peuvent entraîner de graves blocages de maturité.

## 5.4. Parcelle G4

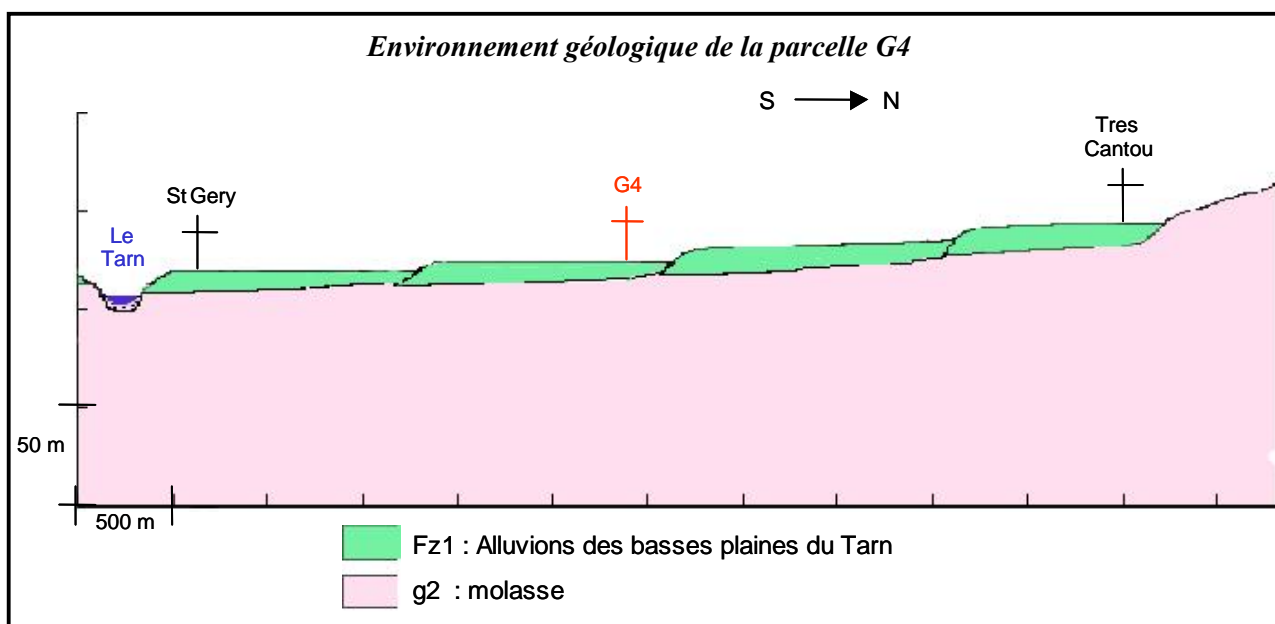
## 5.4.1. Caractéristiques générales de la parcelle

<b>Localisation</b>	Salette (Lisle/Tarn)
<b>Contact</b>	Jean-Luc Favarel ITV gaillac – V'innopole – BP 22 Bame-Aïgues 81 310 Lisle/Tarn
<b>Situation</b>	Rive droite du Tarn
<b>Altitude</b>	132 m
<b>Topographie</b>	Pente nulle
<b>Exposition</b>	Nord-ouest / sud-est
<b>Géologie</b>	Basse plaine d'alluvions récentes (Quaternaire, Olocène)
<b>Type de sol</b>	CPCS : sol brunifié des climats tempérés humides brun RP : fluviosol brunifié Locale : sol brun
<b>Drainage interne</b>	drainage faible
<b>Perméabilité</b>	moyenne
<b>Cépage</b>	Fer servadou clone 420 Année de plantation : 1984 PG : 101-14
<b>Densité de plantation</b>	4 133 pieds/ha (2,2 m x 1,1 m)
<b>Travail de la vigne</b>	Taille : cordon de Royat (8C x 2Y) Effeillage : oui (nouaison) Rognage : oui (2 rognages à 2 m) Vendange en vert : non Ebourgeonnage systématique Rendement moyen : 65 hl/ha
<b>Entretien du sol</b>	1 rang : enherbement naturel maîtrisé (désherbage sur le rang) 1 rang : désherbage chimique Aucun apport depuis 5 ans
<b>Station météo</b>	Lisle/Tarn

### 5.4.2. Etude géo-morpho-pédologique

#### ➤ Géologie : Basse plaine d'alluvions récentes

C'est à partir d'Albi et à sa sortie du massif central, que le Tarn a réellement commencé à étaler ses dépôts. Il recrée actuellement ses propres alluvions récentes. Les basses plaines dominent ainsi de 10 à 20 mètres le lit des cours d'eau. Les sols sont assez hétérogènes en texture et en évolution pédogénétique.



#### ➤ Lithologie :

La base de ces alluvions récentes est généralement caillouteuse et sableuse, alors que le sommet est souvent recouvert de dépôts plus limoneux de 1 ou 2 mètres d'épaisseur. Ces alluvions, issues d'inondations actuelles ou subactuelles, sont souvent calcaires au moment du dépôt.

L'ensemble des dépôts fait plusieurs mètres (5 à 7 m). La présence de très nombreux paliers, emboîtés les uns dans les autres, montre que la basse plaine a été modelée par une construction polygénique continue.

Le palier le plus récent (Fz3) correspond aux sols de rives situées en contrebas de la basse plaine et est régulièrement inondé. Ce palier est très étroit et discontinu.

Les cours d'eau secondaires recoupent transversalement la basse plaine et les terrasses et y déposent leurs alluvions récentes.

#### ➤ Géomorphologie :

Les rivières sont profondément encaissées dans leurs alluvions et dans le substratum molassique (tertiaire). La basse plaine domine de 10 à 20 mètres le Tarn. Des talus souvent inférieurs à 5 mètres séparent les différents paliers (Fz2, Fz1).

➤ **Pédogenèse :**

Deux processus pédogénétiques principaux marquent les sols de la basse plaine :  
- l'âge du dépôt : les alluvions récentes se sont déposées pendant plus de 10 000 ans. Suite aux processus de brunification et de lessivage du calcaire, des sols bruns calcaires, bruns calciques et bruns sont observés sur les bas paliers. Sur les paliers les plus hauts, les sols sont plus anciens et un lessivage des argiles apparaît avec la formation de sols bruns faiblement lessivés à lessivés.

- la nature des dépôts : suivant l'origine des alluvions et le mode d'apport, la texture des dépôts est variable ainsi que leur richesse en calcaire.

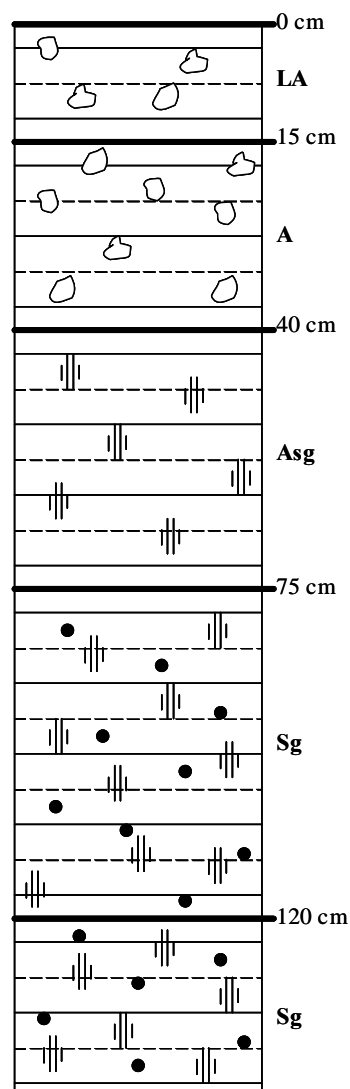
Quelques phénomènes d'érosion avec troncature et rajeunissement des sols bruns lessivés sont présents.

De plus, des phénomènes d'hydromorphie marquent les sols bruns lessivés mais aussi les sols situés dans des dépressions ou des anciens méandres.

➤ **Profil pédologique :**



**Photo 11.** Photo du profil de la parcelle G4



10YR 3/2) , humide ; **Taches** : nombreuses taches liées à la vie biologique de couleur 7,5 YR 3/1 ; **Éléments grossiers** : 3% , cailloux (2 à 6 cm) , métamorphiques, non altérés ; **Texture** argilo-limoneuse ; **Structure** grumeleuse ,taille : 0.5cm ; **Activité biologique** : Forte ; **Porosité** : Très poreux (> 40 %) , Volume des vides entre agrégats très important, pores tubulaires et intergranulaires très nombreux ; **Enracinement** : nombreuses , 150 /m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : nette et régulière

10YR 4 /3) , frais ; **Taches** : taches liées à la vie biologique de couleur 7,5 YR 3/1 ; **Éléments grossiers** : 3% , cailloux (2 à 6 cm) , métamorphiques, non altérés ; **Texture** argilo-limoneuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; **Activité biologique** : Forte ; **Porosité** : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats assez important, pores interstitiels peu visibles ; **Enracinement** : nombreuses , 130 /m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : distincte et régulière

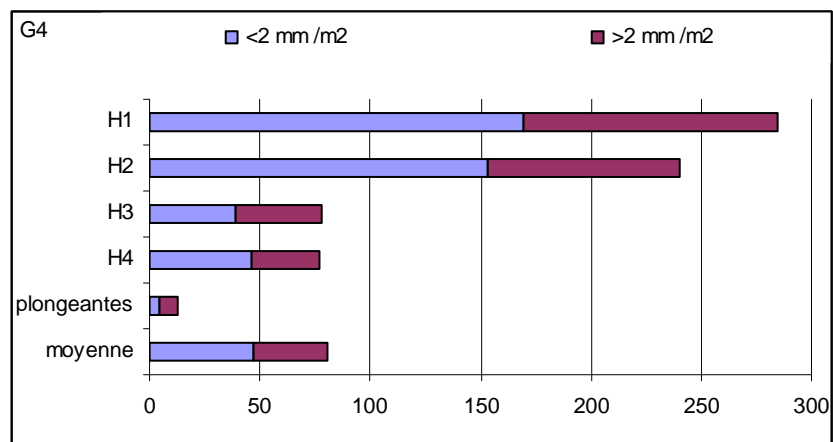
10YR 4 /3) , humide , **taches d'oxydations** : peu nombreuses (2 à 5 %) ; **Éléments figurés** : 5% ; taches ferrugineuses ; **Texture** argilo-limoneuse; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 5cm ; **Activité biologique** : Moyenne ; **Porosité** : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats assez important, pores interstitiels peu visibles ; **Enracinement** : peu nombreuses , 40 /m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : faible (< 1 %) ; **Transition** : graduelle et régulière

2,5Y 4 /3) , frais ; **Taches** : taches associées aux vides et aux racines de couleur 5 YR 5/6 , **taches d'oxydation** : assez nombreuses (5 à 15 %) ; **Éléments figurés** : 10% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; **Texture** argilo-limoneuse; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 5cm ; **Activité biologique** : Faible ; **Porosité** : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores interstitiels peu visibles ; **Enracinement** : peu nombreuses , 40 /m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : faible (< 1 %) ; **Transition** : diffuse et régulière

2,5Y 4 /3) , frais ; **Taches** : nombreuses taches associées aux vides et aux racines de couleur 5 YR 5/8 , **taches d'oxydation** : nombreuses (15 à 40 %) ; **Éléments figurés** : 20% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; **Texture** argileuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 5cm ; **Activité biologique** : Faible ; **Porosité** : Non poreux (< 2 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores interstitiels peu visibles ; **Enracinement** : très peu nombreuses ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : faible (< 1 %)

**Commentaires** : Sol profond, argilo-limoneuse, assez stable. La teneur en matière organique, l'activité biologique et la porosité sont assez importantes dans les horizons superficiels mais diminuent rapidement en profondeur. Aussi, les horizons profonds sont compacts et présentent des traces d'hydromorphie.

➤ **Profil racinaire :**



**Commentaires :** Le développement racinaire reste assez superficiel car le sous-sol compact limite la pénétration des racines. Seules quelques racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds ne permettant qu'une alimentation hydrique limitée au cours de la saison sèche.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil**

**Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-15 cm	35	25	11	20	9
15-40 cm	40	25	16	13	6
40-75 cm	37	28	14	16	5
75-120 cm	39	26	14	16	5
120-200 cm	43	28	18	8	3

**Commentaires :**

- Texture Als (argileuse)
- Sol lourd
- Stabilité : stable
- Capacité de rétention : très bonne (130 mm/m de terre fine)
- Battance : non battant (IB=0,75)
- Très grand risque d'asphyxie



limites	pH	
	pH eau	pH KCl
0-15 cm	7.2	6.6
15-40 cm	6.5	5.2
40-75 cm	6.4	5.5
75-120 cm	6.7	5.8
120-200 cm	7.4	6.3

**Commentaires :**

- pH neutre, très bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

#### Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-15 cm	1.5	2.6	1.6	76
15-40 cm	0.8	1.4	1.2	23.5
40-75 cm	0.7	1.2	1	3.3
75-120 cm	0.5	0.9	0.8	3.7
120-200 cm	-	-	0.7	4.7

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique bonne
- C/N < 10 : bonne activité biologique, présence d'humus stable
- Teneur en azote élevée (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Bray) élevée (biodisponibilité moyenne)

#### Cations Echangeables en meq/100g

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-15 cm	19.4	3.7	0.89	23
15-40 cm	18	3.2	0.44	22.8
40-75 cm	20.5	3.8	0.36	24.1
75-120 cm	20.7	4	0.45	24.9
120-200 cm	24	4.8	0.38	27.4

**Commentaires :**

- CEC élevée, sol saturé
- Teneur en K normale (4% de la CEC), forte biodisponibilité
- Teneur en Ca satisfaisante (80 % de la CEC), forte biodisponibilité
- Teneur en Mg élevée (15 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
- Sol fertile pouvant entraîner une vigueur excessive, bien équilibré

**5.4.3. Analyses foliaires**

	2001		2002		2003	
	floraison	véraison	floraison	véraison	floraison	véraison
<b>K</b>	0,9	0,8	1,2	0,75	0,9	0,8
<b>Ca</b>	2,8	3,2	2,2	3,55	1,3	2,9
<b>Mg</b>	0,35	0,36	0,33	0,35	0,17	0,23
<b>N</b>	2,54	2,19	2,69	1,92	2,28	1,85

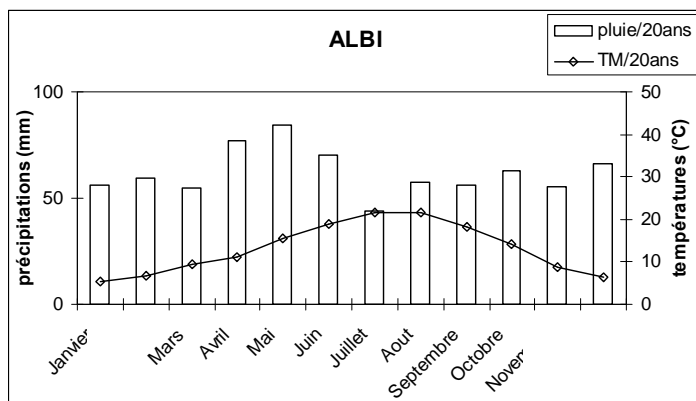
**Commentaires :**

- Teneurs en potassium satisfaisantes
- Teneurs en azote, calcium et magnésium élevées
- Rapports cationiques K/Ca et K/Mg faibles

Alimentation potassique assez faible : fort risque de carence potassique induite par Ca et Mg.

**5.4.4. Etude climatologique**

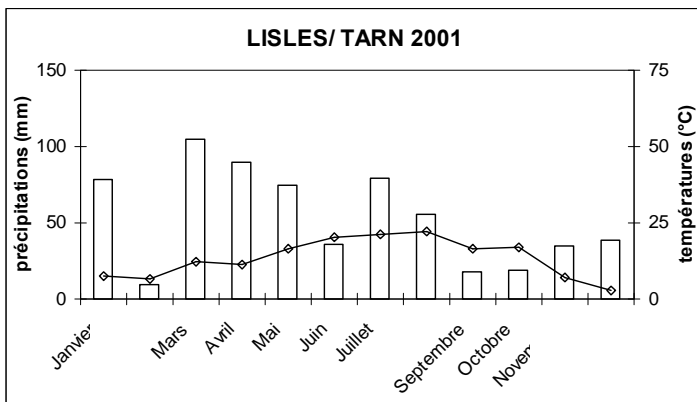
➤ **Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002**



- Aridité de Martone :  $I_q = 29$
- Quotient pluviométrique :  $Q = 145$

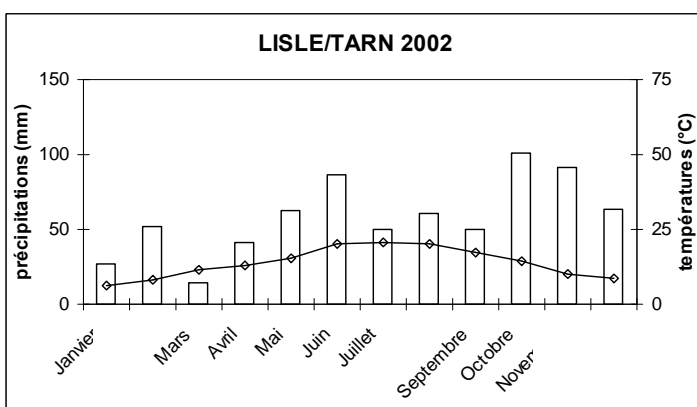
**Commentaires :** Le climat est assez chaud et sec. Les pluies sont plus importantes en hiver et au printemps et les mois de Juin à Octobre sont secs et chauds.

➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



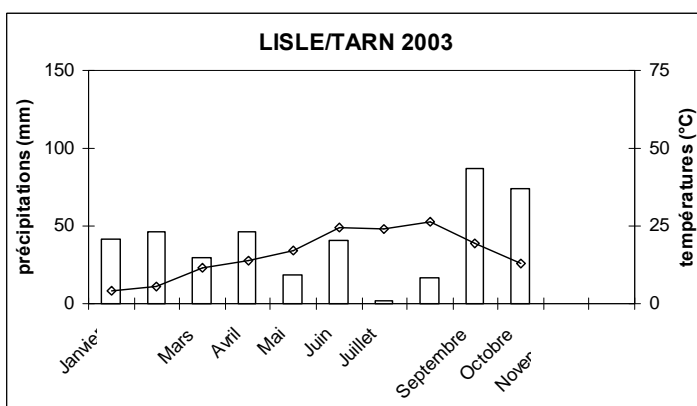
- Indice de Winkler :  $I_w = 1680$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,52$

**Commentaires :** L'année est un peu plus sèche que la normale avec cinq mois secs. L'indice de Winkler indique que le climat est favorable pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1564$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,50$

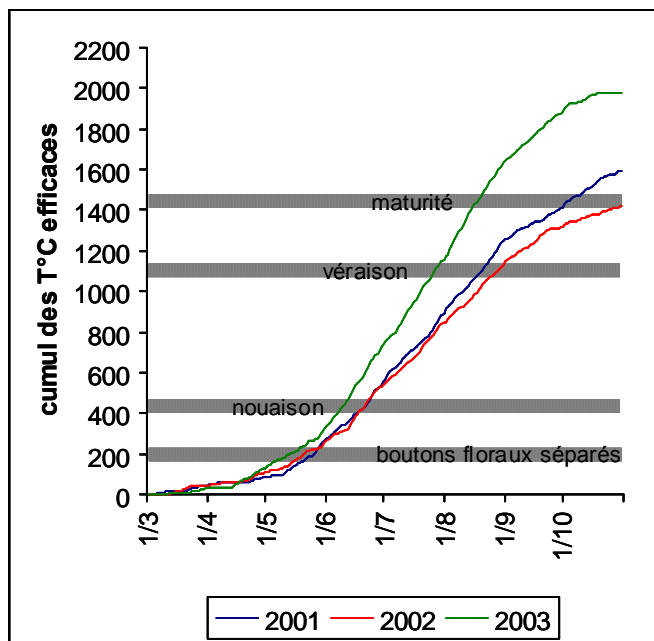
**Commentaires :** L'année est plus humide et plus chaude que la normale. Le climat est assez sec de mars à octobre. Les précipitations sont importantes et assez bien réparties sur l'année. L'indice de Winkler indique que le climat est assez favorable pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 2123$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,15$

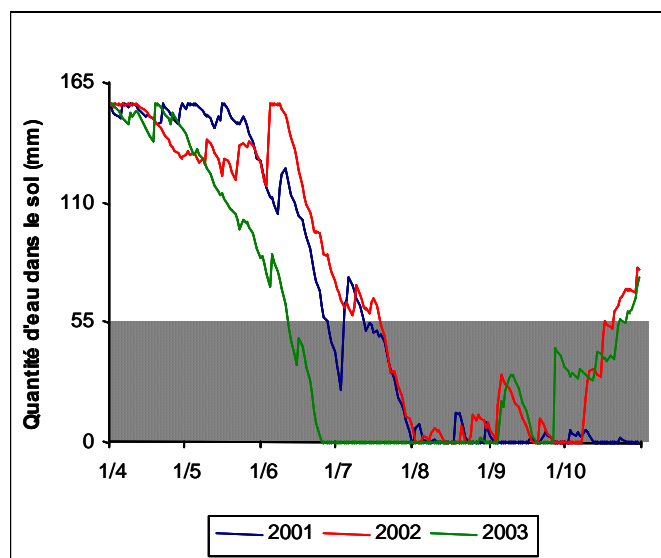
**Commentaires :** L'année est plus chaude et sèche que la normale. Les précipitations sont très faibles de mars à début septembre et les températures sont plus élevées. L'indice de Winkler indique que le climat est très favorable à la vigne mais l'indice de Bessemoulin indique un déficit hydrique très important.

➤ **Températures efficaces**



**Commentaires :** Le climat de cette parcelle permet un développement précoce de la vigne. Les stades (théoriques) boutons floraux séparés, nouaison, véraison et maturité sont toujours précoces. Les années 2001 et 2002 présentent des climats favorables à une bonne maturation du raisin (respectivement 25 et 32 jours entre les stades véraison et maturité théoriques).

➤ **Bilans hydriques**



**Commentaires :** Cette parcelle est sensible au stress hydrique. Au cours des trois années étudiées, des déficits hydriques sont observés à partir de la mi-juillet en 2001 et 2002, et à partir de mi-juin en 2003. Ces déficits sont assez tardifs mais risquent d'entraîner des blocages de maturité.

## 6. Appellation Madiran

### 6.1. Parcelle M1

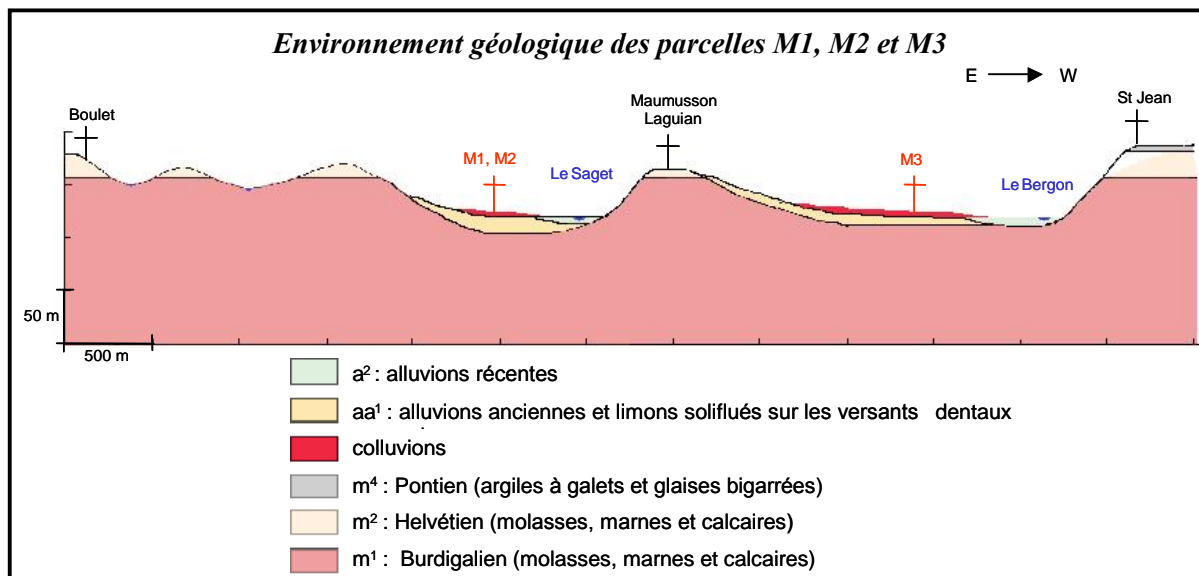
#### 6.1.1. Caractéristiques générales de la parcelle

<b>Localisation</b>	Maumusson Laguian
<b>Contact</b>	Mr Barré Dom. Berthoumieux 32 400 Maumusson-Laguian
<b>Situation</b>	vallée
<b>Altitude</b>	170m
<b>Topographie</b>	Faible pente
<b>Exposition</b>	Est
<b>Géologie</b>	Alluvions anciennes et limons soliflués (Tertiaire, Pliocène)
<b>Type de sol</b>	CPCS : sol brunifié des climats tempérés humides, lessivé hydromorphe RP : néoluvisol redoxisol Locale : grepp
<b>Drainage interne</b>	drainage faible
<b>Perméabilité</b>	faible
<b>Cépage</b>	Fer Servadou clone inconnu Année de plantation : 1968 PG : 3309 C
<b>Densité de plantation</b>	4 830 pieds/ha (2,3 m x 0,9 m)
<b>Travail de la vigne</b>	Taille : guyot simple Effeuillage : oui (face nord en juin ou juillet) Rognage : oui (1,8 m) Vendange en vert : oui Rendement moyen : 50 hl/ha
<b>Entretien du sol</b>	1 rang sur 2 enherbé et 1 rang sur 2 travail du sol : rotation tous les 2 ans Apport annuel : méthode Tonix (250 à 300 kg/ha)
<b>Station météo</b>	Viella

### 6.1.2. Etude géo-mor-pédologique

#### ➤ Géologie : Terrasses d'alluvions anciennes et glacis de limons soliflués

Ce sont de vastes zones planes ou de faibles pentes en rive droite des rivières gasconnes, développées à partir des matériaux acides de la fin du tertiaire et du début du quaternaire. Le sol dominant, limoneux et acide se dénomme régionalement Boulbène.



#### ➤ Lithologie :

Les argiles et argiles à galets sont recouvertes de limons. Ce sont des produits remaniés résultant de l'érosion quaternaire des grandes surfaces de dépôts (issus de l'érosion des Pyrénées) formés à la fin du tertiaire (Pliocène) et au début du quaternaire. Cette érosion quaternaire qui a affecté ces dépôts a donné d'importants dépôts alluviaux (terrasses) et colluviaux (glacis).

#### ➤ Géomorphologie :

En Gascogne sud, les vallées ont des profils en travers nettement dissymétriques et cette unité couvre une grande largeur :

- les versants de la rive droite sont courts et à forte pente
- les versants de la rive gauche sont longs et étendus, à faible pente sur lesquels on trouve les terrasses planes en bordure de la basse plaine puis le glacis de faible pente qui relie les terrasses aux coteaux proprement dit.

#### ➤ Pédogenèse :

La pédogenèse est marquée par :

- la nature non calcaire des matériaux d'origine
- l'importance des apports alluviaux et colluviaux
  - l'évolution du quaternaire poussée aboutissant à des sols lessivés hydromorphes voire dégradés sur les terrasses planes et à des sols bruns lessivés sur glacis.

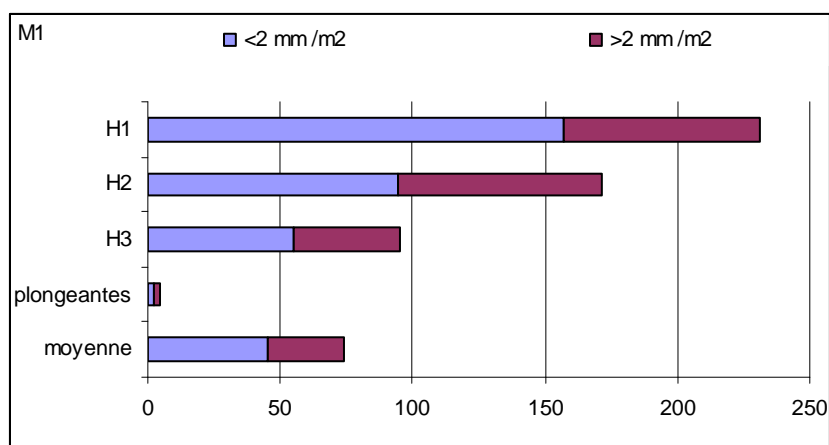
➤ **Profil pédologique :**

**0 -25cm**  
LA  
10YR 5 /3) , frais ; **Taches** : quelques taches arrondies de couleur 10 YR 6/8 ; autres taches (2,5 Y 7/4) , **Taches d'oxydation** : peu nombreuses (2 à 5 %) ; **Eléments grossiers** : 10% , graviers et cailloux , métamorphiques, non altérés ; **Eléments figurés** : 5% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; **Texture** limono-sablo-argileuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; **Activité biologique** : Moyenne ; **Porosité** : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats important, pores tubulaires et intergranulaires nombreux ; **Enracinement** : nombreuses , 160 /m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : diffuse et irrégulière

**25 -51cm**  
Eg  
10YR 6 /6) , frais ; **Taches** : taches de couleur 10 YR 6/8 ; autres taches (2,5 Y 7/4) , **Taches d'oxydation** :assez nombreuses (5 à 15 %) ; **Eléments grossiers** : 10% , graviers et cailloux , métamorphiques, non altérés ; **Eléments figurés** : 20% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; **Texture** limono-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; **Activité biologique** : Moyenne ; **Porosité** : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats important, pores vacuolaires nombreux ; **Enracinement** : nombreuses , 140 /m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : nette et ondulée

**51 cm**  
Btg  
2,5 Y 5 /4) , frais ; **Taches** : très nombreuses taches de couleur 10 YR 5/8 ; autres taches (2,5 Y 7/4) , **Taches d'oxydation** : très nombreuses (40 à 80 %) ; **Eléments grossiers** : 20% , graviers et cailloux , métamorphiques, non altérés ; **Eléments figurés** : 20% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; **Texture** limono-argileuse ; **Structure** continue, massive ; **Activité biologique** : Faible ; **Porosité** : Moyennement poreux (5 à 15 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores vacuolaires peu visibles ; **Enracinement** : peu nombreuses , 70 /m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : faible (< 1 %)

**Commentaires :** Sol peu profond, limono-sableux, peu stable. La teneur en matière organique, l'activité biologique et la porosité sont moyennes dans les horizons superficiels et diminuent rapidement en profondeur. Aussi, les horizons profonds sont très compacts et hydromorphes.

➤ **Profil racinaire :**

**Commentaires :** Le développement racinaire reste assez superficiel car le sous-sol compact limite la pénétration des racines. Seules quelques racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds ne permettant qu'une alimentation hydrique limitée au cours de la saison sèche.

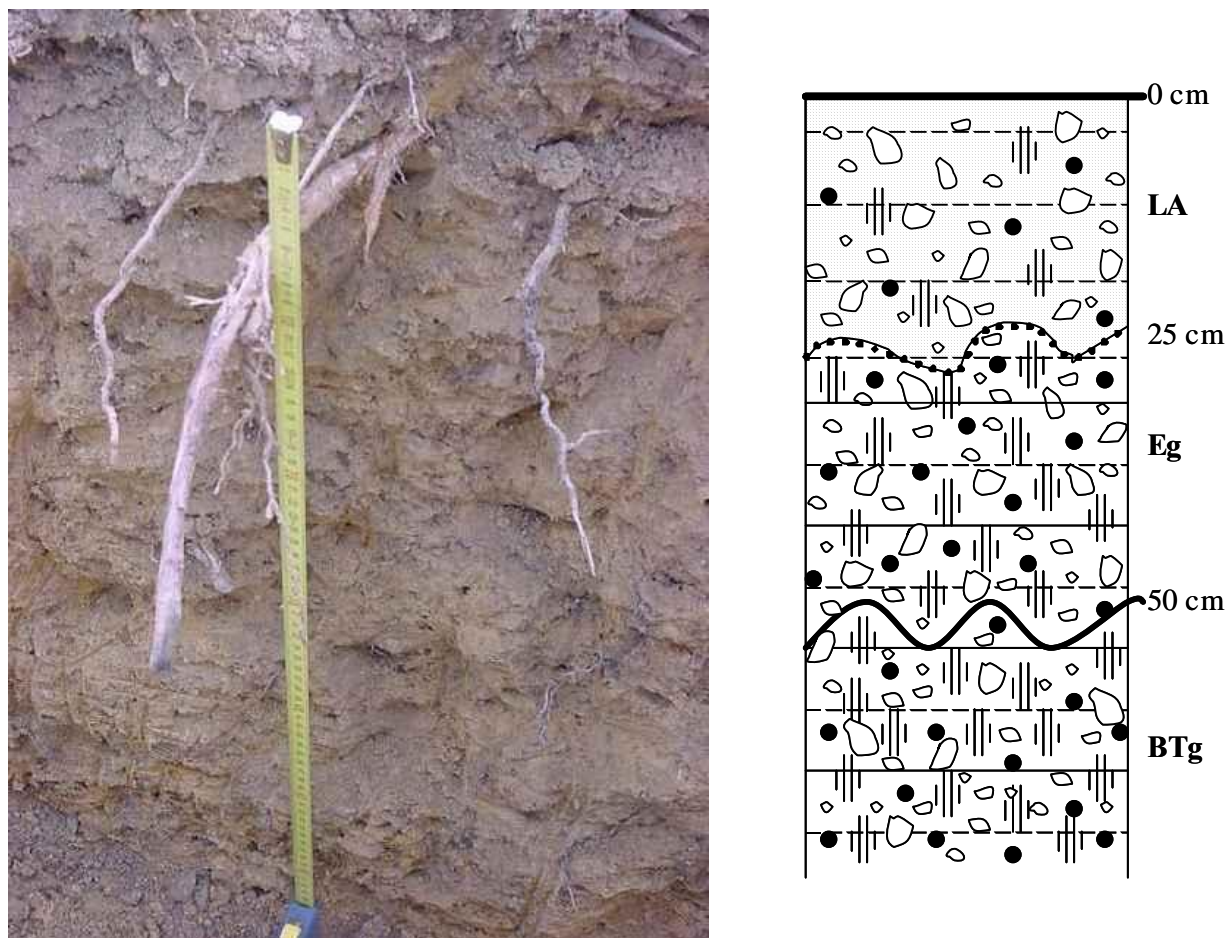


Photo 12. Photo du profil de la parcelle M1

➤ Analyses physico-chimiques des horizons du profil

limites	Granulométrie en %				
	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-25 cm	13	24	23	23	17
25-51 cm	17	28	24	18	13
51-200 cm	21	34	20	12	13

**Commentaires :**

- Texture LSa (limono-sableuse)
- Sol léger
- Stabilité : très instable
- Capacité de rétention : passable (90 mm/m de terre fine)
- Battance : très battant (IB=2,1)
- Risque d'asphyxie moyen à élevé



limites	pH	
	pH eau	pH Kcl
0-25 cm	7.3	6
25-51 cm	6.5	5.9
51-200 cm	6.1	5.5

**Commentaires :**

- pH neutre à faiblement acide
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

#### Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-25 cm	0.7	1.2	0.7	41
25-51 cm	0.4	0.7	0.5	2.9
51-200 cm	0.2	0.4	0.4	0

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique médiocre
- C/N < 10 : bonne activité biologique, présence d'humus stable
- Teneur en azote faible (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Bray) scorrekte (biodisponibilité moyenne)

#### Cations Echangeables en meq/100g

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-25 cm	5.1	0.9	0.46	3.4
25-51 cm	5	0.7	0.49	4.6
51-200 cm	4.4	0.6	0.45	4.4

**Commentaires :**

- CEC faible, sol saturé
- Teneur en K élevée (13% de la CEC), forte biodisponibilité
- Teneur en Ca satisfaisante (100% CEC) biodisponibilité moyenne
- Teneur en Mg élevée (30 % de la CEC), bonne biodisponibilité
- Sol pauvre chimiquement mais très bien équilibré

### 6.1.3. Analyses foliaires

	2001		2002		2003	
	floraison	veraison	floraison	veraison	floraison	veraison
<b>K</b>	1,6	1,1	1,3	1,25	0,9	1,1
<b>Ca</b>	2,2	2,2	1,8	2,45	2,0	2,5
<b>Mg</b>	0,27	0,27	0,29	0,16	0,13	0,14
<b>N</b>	1,90	1,78	2,20	1,50	1,79	1,68

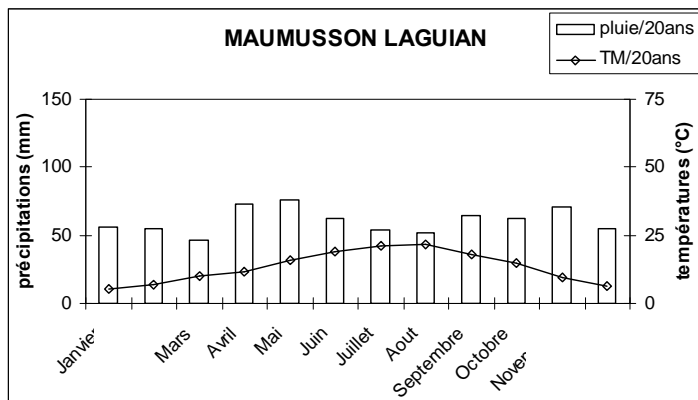
**Commentaires :**

- Teneurs en azote faibles
- Teneurs en calcium et magnésium passables
- Teneurs en potassium élevées
- Rapports cationiques K/Ca, K/Mg et Ca/ Mg élevés

Alimentation potassique importante pouvant entraîner des risques de carence en magnésium.

### 6.1.4. Etude climatologique

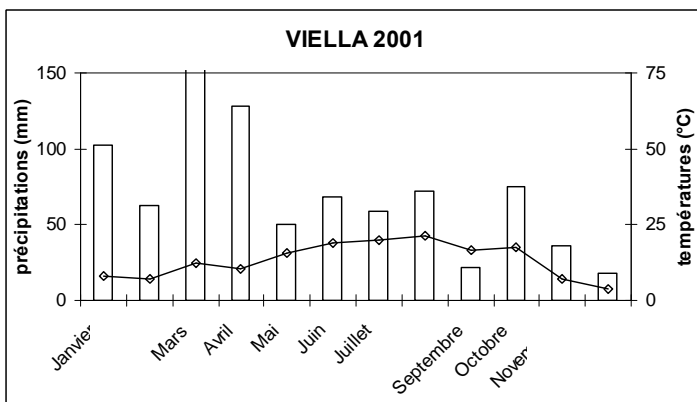
➤ **Diagramme ombrothermique de la période 1982 à 2002**



- Quotient pluviométrique :  $Q = 241$

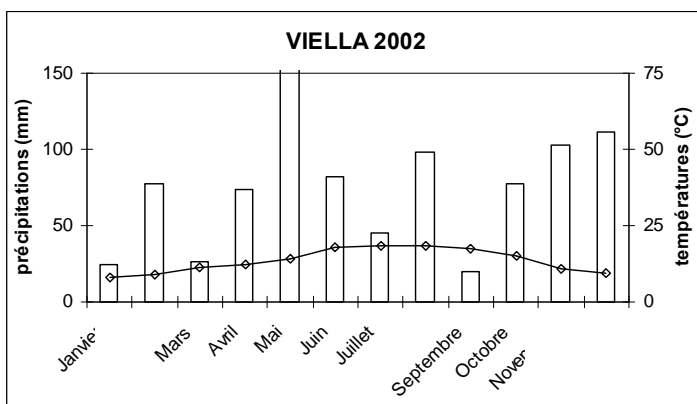
**Commentaires :** Le climat est assez frais et humide. Les pluies sont assez bien réparties sur l'année mais les mois de Juin, Juillet et août sont assez secs et chauds.

➤ Diagrammes ombrothermiques des années 2001, 2002 et 2003



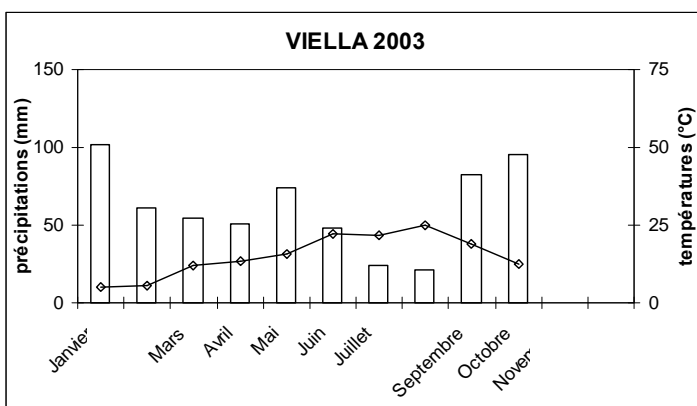
- Indice de Winkler :  $I_w = 1563$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,51$

**Commentaires :** L'année est plus fraîche que la normale et présente cinq mois secs. Les précipitations sont importantes de janvier à avril et normales de mai à août. L'indice de Winkler indique que le climat est assez favorable pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1341$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,64$

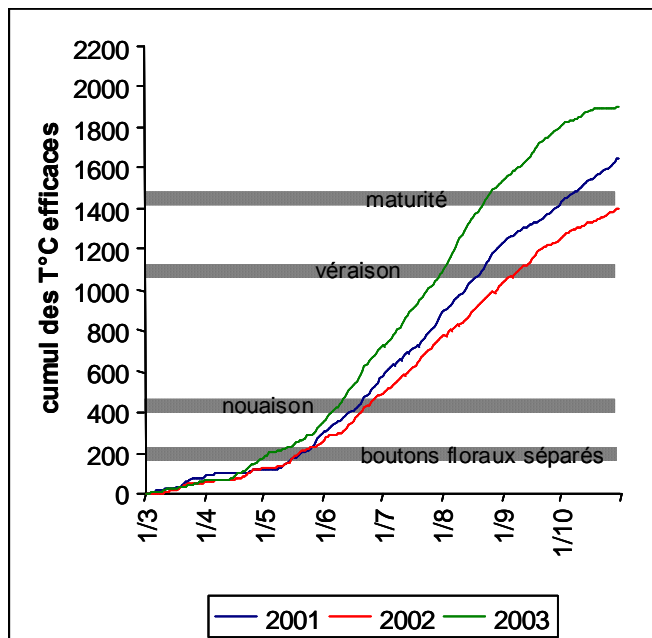
**Commentaires :** L'année est semblable à la normale avec de fortes précipitations en mai. Le climat est assez sec en juillet et septembre. Les températures des mois de juin à septembre sont fraîches. L'indice de Winkler indique que le climat est peu favorable pour la culture de la vigne et l'indice de Bessemoulin que les apports en eau sont très satisfaisants.



- Indice de Winkler :  $I_w = 1835$
- Indice de Bessemoulin :  $IB = 0,22$

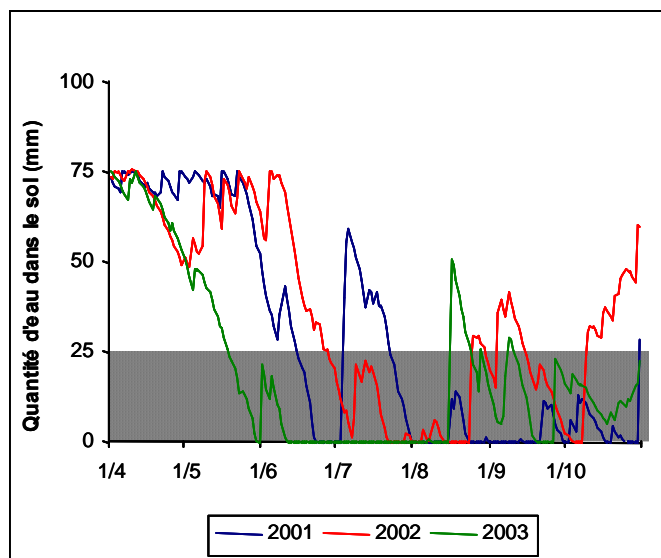
**Commentaires :** L'année est plus chaude et sèche que la normale. Les précipitations sont très faibles de juin à début septembre et les températures sont élevées. L'indice de Winkler indique que le climat est très favorable à la vigne mais l'indice de Bessemoulin indique un déficit hydrique important.

➤ Températures efficaces



**Commentaires :** Cette parcelle présente un climat permettant un développement tardif de la vigne. Excepté en 2003, où la date de maturité théorique est proche des autres terroirs (fin août), les stades théoriques boutons floraux séparés, nouaison, véraison et maturité sont toujours tardifs. L'année 2001 présente le climat le plus favorable à une bonne maturation du raisin avec 39 jours entre les stades véraison et maturité théoriques.

➤ Bilans hydriques



**Commentaires :** Cette parcelle est moyennement sensible au stress hydrique. Au cours des trois années étudiées des déficits hydriques sont observés : durant la dernière quinzaine de juin et à partir de fin juillet en 2001, de la mi-juin à fin août 2002 et de fin mai à mi-août 2003. Ces stress hydriques sont généralement assez courts et les précipitations de la dernière quinzaine d'août ne risquent pas d'entraîner de blocage de maturité.

## 6.2. Parcelle M2

### 6.2.1. Caractéristiques générales de la parcelle

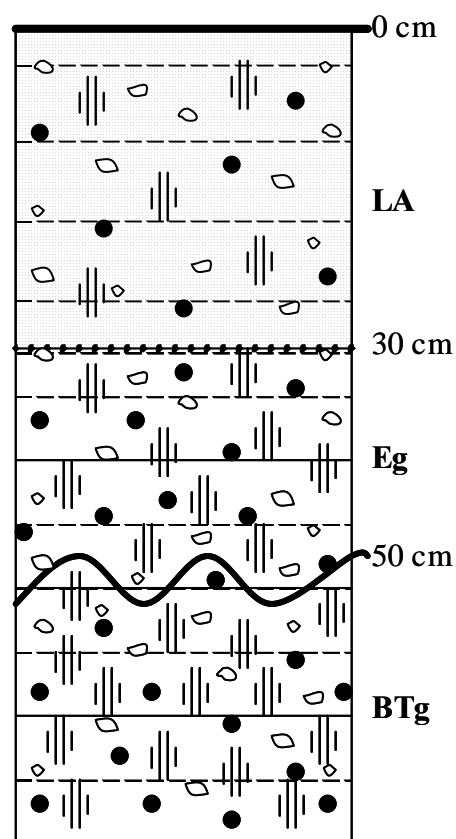
<b>Localisation</b>	Maumusson Laguian
<b>Contact</b>	Mr Barré Dom. Berthoumieux 32 400 Maumusson-Laguian
<b>Situation</b>	vallée
<b>Altitude</b>	170m
<b>Topographie</b>	Faible pente
<b>Exposition</b>	Est
<b>Géologie</b>	Alluvions anciennes et limons soliflués (Tertiaire, Pliocène)
<b>Type de sol</b>	CPCS : sol brunifié des climats tempérés humides lessivé hydromorphe RP : néoluvisol redoxisol Locale : grepp
<b>Drainage interne</b>	drainage faible
<b>Perméabilité</b>	faible
<b>Cépage</b>	Fer Servadou clone inconnu Année de plantation : 1971 PG : 3309 C
<b>Densité de plantation</b>	3 333 pieds/ha (2,5 m x 1,2 m)
<b>Travail de la vigne</b>	Taille : guyot simple Effeuillage : oui (face nord en juin ou juillet) Rognage : oui (1,8 m) Vendange en vert : oui Rendement moyen : 70 à 80 hl/ha réduit à 50 ou 60 hl/ha
<b>Entretien du sol</b>	1 rang sur 2 enherbé et 1 rang sur 2 travail du sol : rotation tous les 2 ans Apport annuel : 250 kg/ha germiflore Tous les 2 à 3 ans apport de 500 kg/ha de chaux
<b>Station météo</b>	Viella

### 6.2.2. Etude géo-morpho-pédologique

➤ **Géologie, Lithologie, Géomorphologie, Pédogenèse :**

Cf. parcelle M1 (p. 181)

➤ **Profil pédologique :**

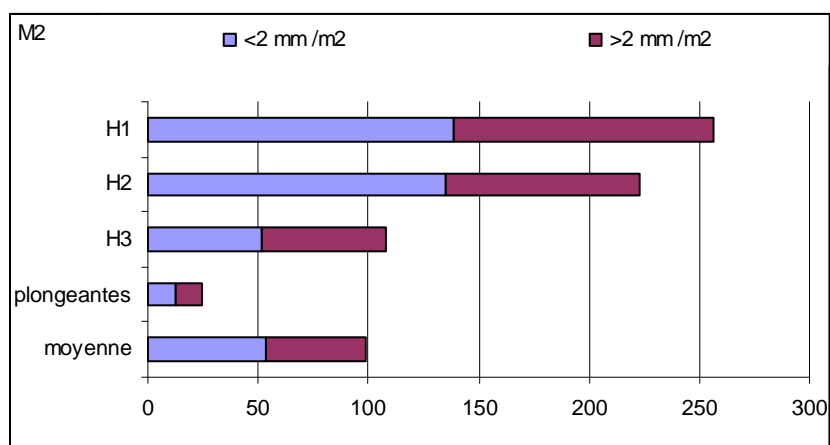


**Photo 13.** Photo du profil de la parcelle M2

0 -32cm LA	10YR 5 /3) , frais ; <b>Taches</b> : taches de couleur 10 YR 5/3 liées à la vie biologique ; quelques autres taches (10 YR 6/8) , <b>Taches d'oxydation</b> : peu nombreuses (2 à 5 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 10% , graviers (0,2 à 2 cm) , métamorphiques, arrondis, non altérés ; <b>Eléments figurés</b> : 5% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; <b>Texture</b> limono-sableuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 2cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats important, pores tubulaires et vacuolaires nombreux ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 160 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : diffuse et irrégulière
32 -50cm Eg	10YR 6 /6) , frais ; <b>Taches</b> : taches de couleur 10 YR 6/8 ; autres taches (10 YR 5/3) , <b>Taches d'oxydation</b> : nombreuses (15 à 40 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 15% , graviers (0,2 à 2 cm) , métamorphiques, arrondis, non altérés ; <b>Eléments figurés</b> : 15% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; <b>Texture</b> limono-argileuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 2 cm ; <b>Activité biologique</b> : Forte ; <b>Porosité</b> : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats important, pores tubulaires et vacuolaires nombreux ; <b>Enracinement</b> : nombreuses , 120 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : moyenne (1 à 4 %) ; <b>Transition</b> : distincte et ondulée
50 cm Btg	2,5Y 5 /4) , frais ; <b>Taches</b> : nombreuses taches de couleur 10 YR 6/8 ; autres taches (10 YR 5/3) , <b>Taches d'oxydation</b> : très nombreuses (40 à 80 %) ; <b>Eléments grossiers</b> : 15% , graviers (0,2 à 2 cm) , métamorphiques, arrondis, non altérés ; <b>Eléments figurés</b> : 60% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; <b>Texture</b> limono-argileuse ; <b>Structure</b> polyédrique subanguleuse ,taille : 2mm ; <b>Activité biologique</b> : Faible ; <b>Porosité</b> : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats faible, pores vacuolaires peu visible ; <b>Enracinement</b> : peu nombreuses , 60 /m2 ; <b>Effervescence</b> : nulle ; <b>Teneur en matière organique</b> : faible (< 1 %)

**Commentaires :** Sol peu profond, limono-sableux, peu stable. La teneur en matière organique, l'activité biologique et la porosité sont moyennes dans les horizons superficiels et diminuent rapidement en profondeur. Aussi, les horizons profonds sont très compacts et hydromorphes. Les taches d'oxydation et les éléments figurés sont plus abondants que sur le profil de la parcelle M1.

#### ➤ Profil racinaire :



**Commentaires :** Le développement racinaire reste assez superficiel car le sous-sol compact limite la pénétration des racines. Seules quelques racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds ne permettant qu'une alimentation hydrique limitée au cours de la saison sèche. Les racines sont plus nombreuses que sur la parcelle M1.

➤ **Analyses physico-chimiques des horizons du profil****Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-32 cm	16	31	21	17	15
32-50 cm	19	35	20	14	12
50-200 cm	22	33	20	15	10

**Commentaires :**

- Texture L<sub>Sa</sub> (limono-sableuse)
- Sol léger
- Stabilité : très instable
- Capacité de rétention : passable (100 mm/m de terre fine)
- Battance : très battant (IB=2,3)
- Risque d'asphyxie moyen à élevé

**pH**

limites	pH eau	pH KCl
0-32 cm	6.6	6.2
32-50 cm	6.5	5.9
50-200 cm	6.9	5.8

**Commentaires :**

- pH faiblement acide
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-32 cm	0.6	1.1	0.7	35.7
32-50 cm	0.3	0.5	0.5	1.1
50-200 cm	0.2	0.4	0.5	0.8

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique médiocre
- C/N < 10 : bonne activité biologique, présence d'humus stable
- Teneur en azote faible (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Bray) satisfaisante (biodisponibilité moyenne)



**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-32 cm	6	1	0.46	5.1
32-50 cm	4	0.6	0.49	5.7
50-200 cm	3.9	0.6	0.45	5.2

**Commentaires :**

- CEC faible, sol saturé
- Teneur en K élevée (13 % de la CEC), forte biodisponibilité
- Teneur en Ca satisfaisante (80 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
- Teneur en Mg satisfaisante (10 % de la CEC), bonne biodisponibilité
- Sol pauvre chimiquement assez riche en potassium

**6.2.3. Analyses foliaires**

	2001		2002		2003	
	floraison	veraison	floraison	veraison	floraison	veraison
<b>K</b>	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0
<b>Ca</b>	1,5	1,9	1,7	2,2	1,6	1,6
<b>Mg</b>	0,28	0,18	0,23	0,165	0,11	0,15
<b>N</b>	2,16	2,02	2,38	1,83	1,95	1,97

**Commentaires :**

- Teneurs en azote correctes
- Teneurs en calcium passables
- Teneur en potassium élevées
- Teneur en magnésium faibles
- Rapports cationiques K/Ca, K/Mg et Ca/ Mg élevés

Alimentation potassique importante pouvant entraîner d'importants risques de carence en magnésium.

**6.2.4. Etude climatologique**

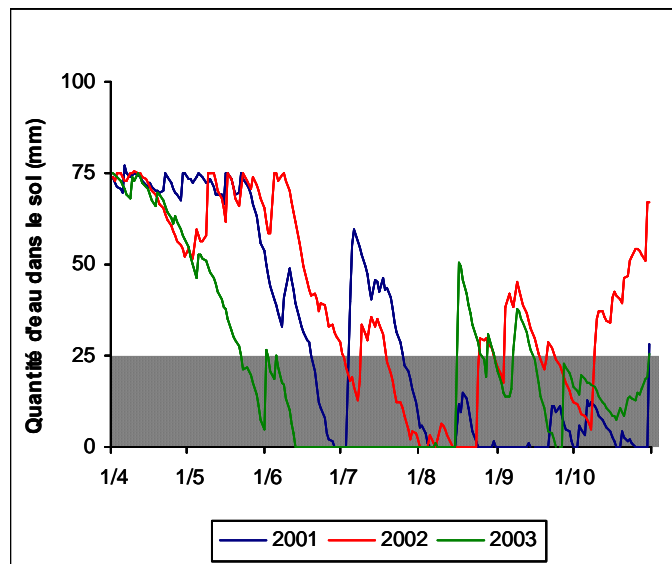
➤ **Diagrammes ombrothermiques de la période 1982 à 2002 et des années 2001, 2002 et 2003**

Cf. parcelle M1 (p. 185 et 186)

➤ **Températures efficaces**

Cf. parcelle M1 (p. 186)

➤ **Bilans hydriques**



**Commentaires :** Cette parcelle est moyennement sensible au stress hydrique. Au cours des trois années étudiées des déficits hydriques sont observés : durant la dernière quinzaine de juin et à partir de fin juillet en 2001, de la mi-juin à fin août 2002 et de fin mai à mi-août 2003. Ces stress hydriques sont généralement assez courts et les précipitations de la dernière quinzaine d'août ne risquent pas d'entraîner de blocage de maturité.

### 6.3. Parcelle M3

#### 6.3.1. Caractéristiques générales de la parcelle

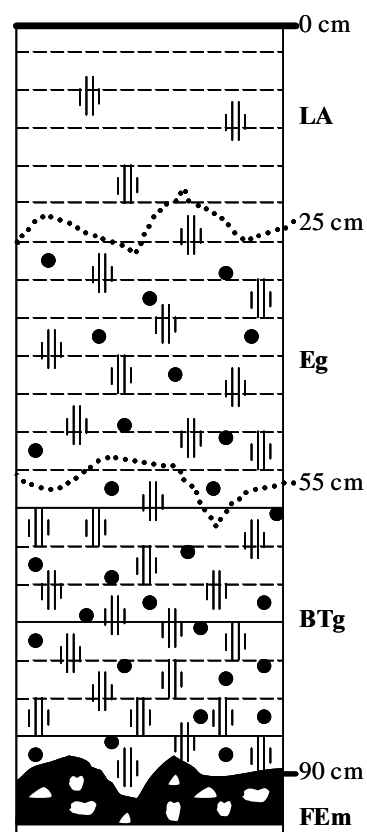
<b>Localisation</b>	Maumusson Laguian
<b>Contact</b>	Ducourneau Patrick Dom. Mauréou 32 400 Maumusson-Laguian
<b>Situation</b>	vallée
<b>Altitude</b>	170m
<b>Topographie</b>	Faible pente
<b>Exposition</b>	Est
<b>Géologie</b>	Alluvions anciennes et limons soliflués (Tertiaire, Pliocène)
<b>Type de sol</b>	CPCS : sol brunifié des climats tempérés humides lessivé hydromorphe RP : néoluvisol redoxisol Locale : grepp
<b>Drainage interne</b>	drainage faible
<b>Perméabilité</b>	faible
<b>Cépage</b>	Fer Servadou clone 671 et 420 Année de plantation : 1987 PG : 3309 C (clone 144)
<b>Densité de plantation</b>	3 850 pieds/ha (2,6 m x 1 m)
<b>Travail de la vigne</b>	Taille : guyot simple Effeillage : oui (côté nord) Rognage : oui (1,8m) Vendange en vert : oui Rendement moyen : 50 hl/ha
<b>Entretien du sol</b>	Enherbement naturel maîtrisé Désherbage sur le rang (1 mécanique + 2 chimique) Apports : 2 T/ha de compost en 2000, 500 kg/ha de Tonix
<b>Station météo</b>	Viella

### 6.3.2. Etude géo-morpho-pédologique

➤ **Géologie, Lithologie, Géomorphologie, Pédogenèse :**

Cf. parcelle M1 (p. 181)

➤ **Profil pédologique :**



**Photo 14.** Photo du profil de la parcelle M3

**0 -25cm**  
LA  
2,5Y 5 /4) , frais ; **Taches** : nombreuses taches de couleur 10 YR 5/4 ; quelques autres taches (2,5 y 7/3) , **Taches d'oxydation** : peu nombreuses (2 à 5 %) ; **Eléments figurés** : 5% ; taches ferrugineuses ; **Texture** limono-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; **Activité biologique** : Forte ; **Porosité** : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats important, pores tubulaires et intergranulaires nombreux ; **Enracinement** : nombreuses , 110/m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : diffuse et irrégulière

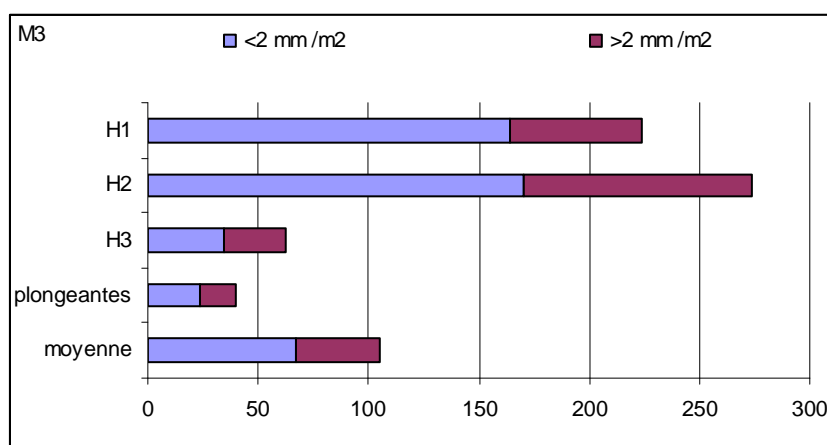
**25 -55cm**  
Eg  
2,5Y 6 /4) , frais ; **Taches** : taches de couleur 10 YR 6/8 ; quelques autres taches (2,5 Y 7/3) , **Taches d'oxydation** : nombreuses (15 à 40 %) ; **Eléments figurés** : 20% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; **Texture** limono-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; **Activité biologique** : Forte ; **Porosité** : Poreux (15 à 40 %) , Volume des vides entre agrégats assez important, pores tubulaires et intergranulaires nombreux ; **Enracinement** : nombreuses , 130/m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : moyenne (1 à 4 %) ; **Transition** : diffuse et irrégulière

**55 -90cm**  
Btg  
2,5Y 6 /4) , frais ; **Taches** : taches de couleur 10 YR 5/8 ; quelques autres taches (2,5 Y 7/3) , **Taches d'oxydation** : très nombreuses (40 à 80 %) ; **Eléments figurés** : 60% ; taches ferrugineuses et concrétions ferromanganiques ; **Texture** limono-sableuse ; **Structure** polyédrique subanguleuse ,taille : 1cm ; **Activité biologique** : Faible ; **Porosité** : Peu poreux (2 à 5 %) , Volume des vides entre agrégats peu important , pores intergranulaires peu visibles ; **Enracinement** : très peu nombreuses , 30/m2 ; **Effervescence** : nulle ; **Teneur en matière organique** : faible (< 1 %) ; **Transition** : distincte et irrégulière

**90 -200cm**  
grepp  
Grepp : horizon induré, bariolé

**Commentaires :** Sol peu profond, limono-sableux, peu stable. La teneur en matière organique, l'activité biologique et la porosité sont moyennes dans les horizons superficiels et diminuent rapidement en profondeur. Aussi, les horizons profonds sont très compacts et hydromorphes. Ce profil se distingue de ceux des parcelles M1 et M2 par l'absence d'éléments grossiers.

#### ➤ Profil racinaire :



**Commentaires :** Le développement racinaire reste assez superficiel car le sous-sol compact limite la pénétration des racines. Seules quelques racines plongeantes arrivent à pénétrer les horizons profonds ne permettant qu'une alimentation hydrique limitée au cours de la saison sèche. Les racines sont plus nombreuses que sur la parcelle M1 surtout dans le deuxième horizon.

## ➤ Analyses physico-chimiques des horizons du profil

**Granulométrie en %**

limites	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
0-25 cm	11	35	25	20	9
25-55 cm	12	33	29	18	8
55-90 cm	16	37	24	17	6
90-200 cm	36	23	14	22	5

**Commentaires :**

- Texture LSa (limono-sableuse)
- Sol léger
- Stabilité : très instable
- Capacité de rétention : passable (95 mm/m de terre fine)
- Battance : très battant (IB=3,95)
- Risque d'asphyxie moyen à élevé

**pH**

limites	pH eau	pH Kcl
0-25 cm	6	5.2
25-55 cm	6.1	6
55-90 cm	6.4	5.2
90-200 cm	4.7	3.9

**Commentaires :**

- pH neutre à faiblement acide
- pH permettant une bonne biodisponibilité des éléments minéraux
- sol non calcaire : calcaire total < 5 %

**Carbone (%), Azote (‰) , M.O (%), Phosphore (mg/kg)**

limites	Carbone	Matière organique	Azote totale	Phosphore assimilable
0-25 cm	0.6	1.2	0.7	57.5
25-55 cm	0.5	0.9	0.5	46.9
55-90 cm	0.2	0.3	0.4	0.4
90-200 cm	0.1	0.1	0.5	0.7

**Commentaires :**

- Teneur en matière organique médiocre
- C/N < 10 : bonne activité biologique, présence d'humus stable
- Teneur en azote faible (bonne biodisponibilité)
- Teneur en phosphore (Bray) satisfaisante (biodisponibilité moyenne)

**Cations Echangeables en meq/100g**

limites	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	CEC
0-25 cm	4.5	0.9	0.70	6.1
25-55 cm	4.1	0.6	0.58	5.6
55-90 cm	3.4	1.7	0.44	2.5
90-200 cm	1.6	2.2	0.51	9.4

**Commentaires :**

- CEC faible, sol saturé
- Teneur en K élevée (10 % de la CEC), forte biodisponibilité
- Teneur en Ca moyenne (70 % de la CEC), biodisponibilité moyenne
- Teneur en Mg correcte (15 % de la CEC), bonne biodisponibilité
- Sol pauvre chimiquement riche en potassium

**6.3.3. Analyses foliaires**

	2001		2002		2003	
	floraison	veraison	floraison	veraison	floraison	veraison
<b>K</b>	1,2	1,7	1,7	1,85	0,9	1,1
<b>Ca</b>	2,2	1,6	1,3	1,7	1,4	1,7
<b>Mg</b>	0,32	0,26	0,20	0,19	0,15	0,16
<b>N</b>	2,04	1,97	2,40	1,91	2,15	1,87

**Commentaires :**

- Teneurs en azote correctes
- Teneurs en calcium passables
- Teneurs en potassium élevées
- teneurs en magnésium faibles
- Rapports cationiques K/Ca élevés

Alimentation potassique importante pouvant entraîner des risques de carence en calcium.

#### 6.3.4. Etude climatologique

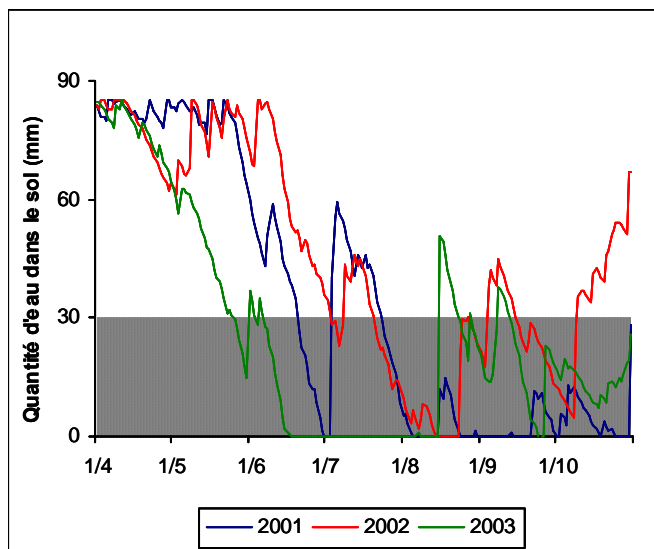
➤ **Diagrammes ombrothermiques de la période 1982 à 2002 et des années 2001, 2002 et 2003**

Cf. parcelle M1 (p. 185 et 186)

➤ **Températures efficaces**

Cf. parcelle M1 (p. 186)

➤ **Bilans hydriques**



**Commentaires :** Cette parcelle est moyennement sensible au stress hydrique. Au cours des trois années étudiées des déficits hydriques sont observés : durant la dernière quinzaine de juin et à partir de fin juillet en 2001, de la mi-juin à fin août 2002 et de mi-juin à mi-août 2003. Ces stress hydriques sont généralement assez courts et les précipitations de la dernière quinzaine d'août ne risquent pas d'entraîner de blocage de maturité.



## 7. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter les composantes agro-pédo-climatiques des différentes parcelles du réseau Fer servadou .

Tout d'abord, il apparaît que le type de sol et leurs principales caractéristiques physico-chimiques sont étroitement liés à l'origine géologique du terrain. En effet, les parcelles sont réparties sur trois grands types de sol :

- *les Rougiers* (A1 et A5) sont issus de terrains du primaire, ce sont des sols neutre (bien que la roche mère soit acide ces sols sont recarbonatés), fertiles et assez bien équilibrés.
- *les calcosols* sont issus de terrains du tertiaires, ce sont des sols alcalins, fertiles mais sont parfois pauvres en potassium et magnésium. Les Terreforts (G1 et G2) se distinguent des Rendzines (A3,A3et A4) car ils sont moins caillouteux et mais plus riches en calcaire actif.
- *les sols bruns* sont issus de terrains du quaternaire et sont des sols plus ou moins lessivés et hydromorphes. Les sols les plus lessivés (F1, G3, M1, M2 et M3) sont plus acides, moins fertiles mais assez riches en potassium.

Les principales caractéristiques de la nutrition minérale du Fer servadou sur les parcelles étudiées sont résumées dans le tableau 15. Nous constatons que sur les sols lessivés l'alimentation potassique du Fer servadou est généralement plus importante que sur les Rougiers ou les calcosols.

**Tableau 15.** Teneurs en éléments minéraux majeurs des limbes de Fer servadou sur les différentes parcelles du réseau Fer.

Parcelle	Teneur des limbes en			
	Potassium	Calcium	Magnésium	Azote
<b>A1</b>	+/-	+	++	+/-
<b>A2</b>	-	+	+	+
<b>A3</b>	+	++	+	-
<b>A4</b>	-	+	+	+
<b>A5</b>	+	+	+	+
<b>B1</b>	++	+/-	+/-	-
<b>F1</b>	++	+	+	+
<b>G1</b>	-	+	++	+
<b>G2</b>	+	++	+/-	+/-
<b>G3</b>	+	-	-	+
<b>G4</b>	+	++	++	++
<b>M1</b>	++	+/-	+/-	-
<b>M2</b>	++	+/-	-	+
<b>M3</b>	++	+/-	-	+

(++ : teneur élevée, + : teneur satisfaisante, +/- : teneur médiocre, - : teneur faible)

Concernant le climat, il apparaît que, par rapport aux appellations Gaillac, Côtes du Frontonnais et Coteaux du Bruhlois, celui de l'appellation Marcillac est plus frais et plus humide car plus près du Massif Central (influence montagnarde) et celui que celui de l'appellation Madiran est plus humide car plus proche de l'océan (influence océanique).

L'ensemble de ces composantes naturelles vont maintenant nous permettre de déterminer les différents terroirs et de mettre en évidence leur importance sur la qualité des raisins et des vins.

## **CHAPITRE 5**

---

# **DETERMINATION DU POTENTIEL VITICOLE ET ŒNOLOGIQUE DES DIFFERENTS TERROIRS**

## 1. Objectifs de l'étude

Ce chapitre a pour but de mettre en évidence les relations entre les différents terroirs, la nutrition minérale, et la composition des raisins, des moûts et des vins du cépage Fer Servadou.

Nous avons déjà vu que le terroir est un système complexe où un grand nombre de facteurs interagissent entre eux. Par conséquent, il nous est indispensable, dans un premier temps, de synthétiser les principales caractéristiques de chacun des terroirs.

De même, l'appréciation de la qualité des vins est difficile car, même si un certain nombre d'analyses chimiques permet d'aborder la qualité des vins, la dégustation, bien que très subjective, reste à ce jour déterminante. Il nous faudra donc, comme pour les terroirs, déterminer les principales caractéristiques des vins de Fer Servadou.

Enfin, connaissant les principales caractéristiques des terroirs et des vins de Fer Servadou, il nous sera possible de déterminer les facteurs les plus importants qui conditionnent la nutrition minérale, la maturation des raisins et la qualité des vins, et ainsi de déterminer les potentialités viticoles et œnologiques de chacun des terroirs.

Au cours de ces trois années d'étude sur le terrain, nous avons pu qualifier et/ou quantifier un grand nombre de facteurs, c'est pourquoi nous avons opté pour l'Analyse en Composantes Principales ou ACP. En effet, cette technique d'analyse statistique permet de déterminer la variabilité d'un grand nombre de facteurs, mais également d'établir l'ensemble des corrélations mathématiques existantes entre les différents facteurs, ainsi que d'obtenir des représentations graphiques (répartition des différents facteurs et des individus au sein de deux axes orthonormés). Pour réaliser les ACP, nous avons utilisé le logiciel ADE-4, développé par l'université de Lyon, qui permet de réaliser des ACP dite normées ; pour cela, l'ensemble des valeurs des variables (ou facteurs) est ramené entre des valeurs comprises entre -1 et +1, ce qui permet de donner le même poids à l'ensemble des variables. Cependant, ce logiciel ne traite que les données numériques, et dans notre étude, un certain nombre de facteurs est qualitatif. Afin de transformer les données qualitatives, obtenues par la description des profils pédologiques, en données numériques nous avons utilisé les outils de la base de données développée par l'unité Valpédo de l'Institut de Recherche et de Développement (IRD) (Beaudou et Le Martret, 2004 ; <http://www.valpedo.mpl.ird.fr/index.htm>).

Dans ce chapitre, l'ensemble des résultats obtenus grâce à l'ACP sera présenté sous la forme de deux articles. Le premier article a pour but de déterminer les principales caractéristiques agronomiques et climatiques des parcelles étudiées (caractérisation des terroirs) et leur effet sur la maturation des raisins de Fer Servadou (détermination du potentiel viticole). Le deuxième article a pour but de déterminer les principales caractéristiques des vins issus des différentes parcelles (caractérisation des vins), et d'étudier l'effet des principales caractéristiques agronomiques et climatiques des parcelles sur les caractéristiques des vins (détermination du potentiel œnologique). L'ensemble de ces résultats sera ensuite résumé et discuté.

## **2. L'analyse en composantes principales et son interprétation**

L'Analyse en Composantes Principales ou ACP est une méthode d'analyse statistique permettant d'étudier la variabilité d'un grand nombre de facteurs et d'établir des représentations graphiques de cette variabilité.

Dans un premier temps, chacune des variables étudiée est centrée et réduite, c'est à dire que chaque variable est ramenée à des valeurs comprises entre  $-1$  et  $+1$ , l'ACP est alors dite normée. Cette étape permet donc de donner le même poids à l'ensemble des facteurs étudiés.

Dans un deuxième temps, les corrélations mathématiques entre les différentes variables centrées et réduites sont calculées. Les fortes corrélations vont nous permettre de déterminer les variables qui évoluent dans le même sens (corrélation positive) ou dans le sens contraire (corrélation négative). Il est important de noter que ces corrélations n'établissent que des relations mathématiques et non pas des relations de causalité. Les facteurs les mieux corrélés entre eux vont permettre de définir un même axe du graphique.

Dans un troisième temps, l'analyse en composante principale à proprement dite est réalisée. Le logiciel nous donne les valeurs propres et la variance expliquée par chaque facteur, ce qui nous permet de choisir le nombre d'axes qui méritent d'être retenus pour l'étude. Le choix du nombre d'axes est basé sur le pourcentage de la variabilité totale que l'on souhaite traiter, l'idéal étant de traiter au moins 60 % de l'information sur 3 ou 4 axes

maximum car la multiplication du nombre d'axes rend plus difficile l'interprétation de l'analyse.

Pour interpréter l'ACP il faut d'abord donner une signification aux axes. Pour chaque axe, les variables sont caractérisées par leur score factoriel (coordonnée sur l'axe), leur contribution absolue, c'est à dire le pourcentage d'information qu'apporte la variable dans la définition de l'axe, et leur contribution relative, c'est à dire la valeur de la corrélation avec l'axe. Les facteurs (ou variables) peuvent aussi être représentés graphiquement par le cercle des corrélations. Les facteurs qui seront retenus seront ceux qui présentent les plus forts scores et les plus fortes corrélations et contributions.

Une fois les axes définis, chaque individu (ou modalité) est défini par sa position au sein des repères orthonormés formés par les axes et par sa contribution absolue et relative et il est alors possible d'attribuer à chaque individu les variables qui le caractérise.

Pour aller au-delà des résultats obtenus, axe par axe, il est possible de réaliser une classification qui prendra en compte la position des individus sur les différents axes factoriels. La classification ascendante de Ward's est une méthode d'agrégation qui consiste à rechercher une partition telle que la variance interne des classes (groupe d'individus) soit minimum alors que la variance entre les classes soit maximum. Ainsi, chaque classe est constituée d'individus qui se ressemblent le plus entre eux et qui se démarquent le plus fortement des autres classes.

### **3. Détermination du potentiel viticole et œnologique des différents terroirs (articles\*)**

\* Acceptés par American Journal of Viticulture and Enology (Avril 2005)

Les références bibliographiques citées dans ces articles ont été intégrées à la bibliographie de ce manuscrit.

# Viticultural and enological potential of different terroirs I. Mineral nutrition and grape quality

*Alexandra Cadet<sup>1\*</sup>, Jean-Luc Favarel<sup>2</sup> and Marc Garcia<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Centre d'Oenologie Midi Pyrénées, av. de l'agrobiopôle, 31326 Castanet-Tolosan

<sup>2</sup> Institut Technique de la Vigne et du Vin de Midi-Pyrénées

\* cadet@ensat.fr

## ACKNOWLEDGEMENTS

Station Régionale Midi-Pyrénées for financial support and US Valpédo unit for technical support

## ABSTRACT

An agronomic and enological follow up was carried out on plots of *Vitis vinifera* L. cv. Fer Servadou representing the terroirs of five appellations in southwest France. Principal components analysis was conducted on three years of data, permitting us to differentiate the viticultural potential of four groups of terroirs. On oxidized soils, rich in sand and silt and showing a low cation exchange capacity, potassium nutrition is high and grapes have large berries with a high pH and S/TA ratio (Sugar / Titratable Acidity) yet are low in tartaric acid. In heavy clay soil, where the CEC, Ca and Mg content and pH are high, calcium and magnesium nutrition is important and grapes are rich in tartaric and malic acid yet low in potassium and have a low S/TA. Also the grapes mature sooner with a higher amount of efficient temperatures and have a higher pH, are lower in anthocyanin and in malic acid. In addition, in hot and dry year (2003) the grapes were higher in polyphenols

Key words : terroir, mineral nutrition, grape quality, Fer Servadou

## INTRODUCTION

South West France is made up of a patchwork of small vineyards planted on a variety of different terroirs. The region is characterized by a predominantly oceanic climate (mild and humid) yet the strong wind (Mediterranean influence) and its proximity to the mountains of the Massif Central and the Pyrénées (mountain influence) create numerous mesoclimates. The soil in this region is equally very varied: alluvial terraces of more or less recent origin, secondary and tertiary limestone hillsides and table-lands, and primary acid rock hillsides (Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées 1995).

Plantations of Fer Servadou (syn. Braucon) in South West France are significant and constantly growing. It is the principal variety of A.O.C. Marcillac, provides 27% of the planted grape varieties in A.O.C. Gaillac, 21% in the Côtes du Brulhois, 15% in Madiran and 2% in Fronton. Plantings were reduced by half between 1960 and 1990, yet since then, there has been an increase of interest in the variety. Today there are 1300 ha. as opposed to 1000 ha. in 1960 ([www.vins-du-sud-ouest.com](http://www.vins-du-sud-ouest.com)). It is a rustic vine with early bud breaking yet slow to maturity. It gives lively tannic wines with good color, and the fruity aromas reminiscent of those of Cabernet Sauvignon (Lavignac 2001). Besides, both varieties, from the same cultivars family (Carmenets) (Lavignac 2001) often develop herbaceous aromas, such as green pepper, correlated to a high level of 2-methoxy-3-isobutyl-pyrazine (IBMP) (Bayonove *et al.* 1975, Schneider *et al.* 2003).

No studies has been done up till now on this variety but the knowledge and mastery of the varied characteristics of Fer Servadou is of the utmost importance for the regions' wine growers. Thus, the aim of our study was to determine the viticultural potential of the different terroirs in the appellations where Fer Servadou is wide spread. In order to achieve this, an agronomic and enological survey was made on a series of plots representative of the terroirs in different appellations. The study took place in 2001 to 2003 and for each plot we made a soil description, a root profile, a physical and chemical analysis of each soil horizon described, a foliar diagnostic at flowering and at veraison, as well as the berry composition was determined. In addition, all the plots selected for the study were situated close to a weather station in order to study the mesoclimate at the same time. The entire data accumulated during these 3 years of the study was submitted to the normalized PCA.



## MATERIALS AND METHODS

**Field experiment:** A preliminary study led us to choose 14 plots representative of the differing terroirs of the five appellations where Fer Servadou (Fer) is significantly present: Marcillac (A1, A2, A3, A4, A5), Madiran (M1, M2, M3), Gaillac (G1, G2, G3 G4), Coteaux du Bruhlois (B1) and Fronton (F1). The vines from all the plots selected were over 10 years old. The follow-up and the different samples were carried out on one reference row of vines (100 vines). All the vineyard work was left up to the owner of each plot and the following information was gathered: altitude, gradient, age of the vines, root stock, density of planting, exposure, type of pruning, soil work (in the rows and between them), work on the vines (thinning out and trimming the leaves), fertilizations were documented (date, type and quantity), and the average yield of the plot was determined.

**Climatic Parameters:** The indexes of Bessemoulin (Ib) (Guyot 1999) and Winkler (Iw) (Winkler *et al.* 1974) were calculated based on the meteorological data collected during each year of the study:  $Ib = \Sigma PP / \Sigma PET$  [ $\Sigma PP$  : sum of the daily rainfall and  $\Sigma PET$  : sum of the daily potential evapo-transpiration (Météo France datas), calculated since April 1 to August 31] and  $Iw = \Sigma(TMj - 10)$  [TM: total of the daily mean temperature].

Following climatic indications (Guyot 1999) were calculated, starting from the meteorological data of 1983 to 2003: Aridity of Martone :  $Iq = \Sigma PP / \Sigma(TM_a + 10)$  [PP: total annual rainfall,  $TM_a$  : annual mean temperature] ; Emberger's rain meter quota :  $Q = \Sigma PP / ((TM_{max})^2 - (TM_{min})^2) * 100$  [PP : total annual rainfall,  $TM_{max}$  : mean temperature of the hottest month,  $TM_{min}$  : mean temperature of the coldest month].

**Soil description:** Pits were dug at a distance of 10-15 cm from the reference row in order to permit a count of the roots (in and between the row). Each soil horizon identified is described with the help of the soils description sheet established by the "Unité Expérimentale Vigne et Vin" from the INRA center in Angers. The data was entered in the VALSOL database (Beaudou and Le Martret 2004), developed by the "Valpedo" department of the IRD of Montpellier (<http://www.valpedo.mpl.ird.fr>) in order to obtain numeric data.

**Soil analysis:** A homogeneous soil sample of at least 1 kg. was taken on the total height and width of the horizon. The samples of "fine dry soil" are obtained after a drying process in the open air, elimination of pebbles, reduction of the clods of soil (steel roller) then sieved to 2 mm (NF X 31-101: AFNOR 1999). The percentage of gravels was ascertained in

relation to the total weight of the sample. The following analyses were carried out on each sample of fine earth: pH and conductivity (NF ISO 10390: AFNOR 1999); granulometry (NF X 31-107: AFNOR 1994) ; total carbonate and active carbonate (NF X 31-105 and NF X 31-106: AFNOR 1994) ; organic carbon (Walkey and Black 1934) ; total nitrogen (NF ISO 11261: AFNOR 1999). For cation exchange capacity (CEC), exchangeable bases and available phosphorus, each sample was tested with both the Mehlich-3 extraction (Mehlich 1984, Sims 2000) and Bray (Bray and Kurtz 1945) and Olsen (Olsen *et al.* 1954) extraction for phosphorus determination, and barium chloride extraction for exchangeable bases determination (NF ISO 11260: AFNOR 1999). Available phosphorus was determined by ascorbic acid colorimetry (Kuo 1996) and exchangeable bases by spectrophotometry (emission for potassium and absorption for calcium and magnesium).

**Leaf analyses:** 48 leaves were sampled from each plot at flowering and veraison, according to the method proposed by Martin Prével *et al.* (1984). Blades and petioles were separated and dried (48 hours, 60°C). Only the blades were analysed: after being ground into ashes (550°C), the ashes were dissolved by HCl, and the K, Ca and Mg contents of the leaves were determined by atomic absorption or emission.

**Berry composition:** 200 berries were taken at random from both sides of the rows under study. Date sampling was coded as follow: date 0 corresponding to the 34<sup>th</sup> week of the year to date 6 corresponding to the 40<sup>th</sup> week of the year. The weight of the 200 berries was determined, then they were crushed and the juice was centrifuged and filtered. The following analyses were made: total soluble solids (refractometry), pH, titratable acidity (TA) (titration with NaOH 0.1 N and bromothymol blue indicator), malic acid (OIV method MA-F-AS313-11-ALMENZ: enzymatic oxidation and measurement of NADH by absorbance at 340 nm), tartaric acid (OIV method MA-F-AS313-05-ACITAR: colorimetric titration at 530 nm in the presence of vanadic acid), potassium (emission spectrophotometer), total polyphenol (IPT) (absorbance at 280 nm), total anthocyanin (absorbance at 520 nm after bleach with bisulfite). The extraction of the polyphenol and the anthocyanin was as follows : crushing of the 200 berries by blender (2 min, speed 1) then maceration (2 hours with stirring every 15 minutes) of 50 g of the crush in 100 ml of HCl-ethanol mixture(85% HCl 0,1% , 15 % ethanol 95-96 %).

**Principal components analyses:** PCA was achieved after centering and reduction of the variables (normalized PCA, Carrel *et al.* 1986) with the help of ADE-4 software developed by the University of Lyon I. As the number of variables was considerable, we carried out

PCA's for each group (characteristics of the plots, soil description, soil analyses, leaf analyses, berry composition) then a PCA was carried out with the most important variables of each group. To go beyond the results obtained PC by PC, we carried out an ascending hierarchical classification (Ward's Method).

## RESULTS

**General characteristics of the plots:** PCA was made on 15 variables, whose mean and variance are presented on the Table 1. As the work taking place on the vines and yield were similar for all the plots, these variables were not taken into consideration: trimming at 1.7 or 1.8 m and thinning out on one side (except for plots A4, F1, G2, and G3), yield is 50 to 60 hl/ha depending the vintage. Also, the PCA did not consider the fertilizations in use as these would prove too complex (notably due to the diversity of products used). Table 2 gives the most important correlation between the studied factors.

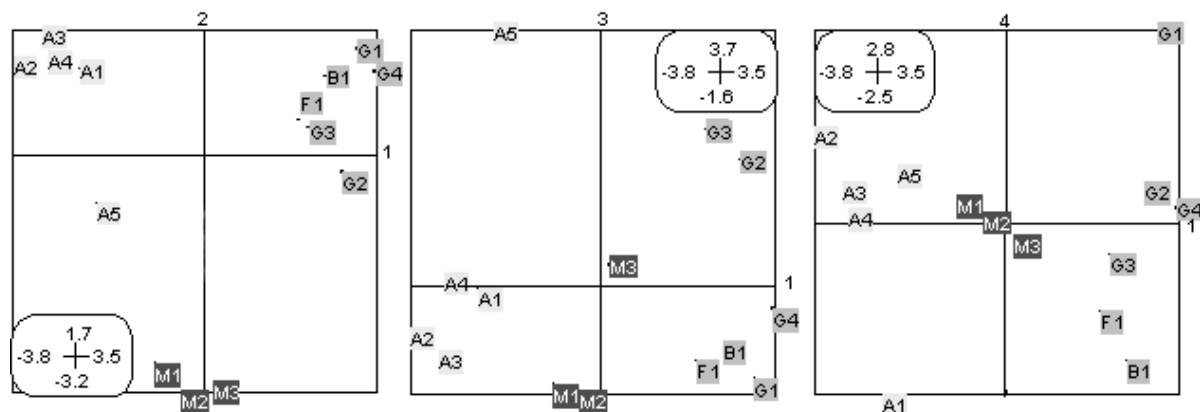
**Table 1.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) of the studied variables for the general characteristics of plots.

Variables	Mean	Variance	Coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3	coord. PC 4
altitude	2.6079e+02	1.6407e+04	<b>-0.8000</b>	0.4468	0.0607	0.2804
depht	1.1786e+02	7.1684e+02	0.2703	<b>0.7212</b>	-0.1074	<b>-0.5509</b>
slope	6.7857e+00	5.5740e+01	<b>-0.8196</b>	0.0778	<b>0.3125</b>	0.2792
exposure	1.5714e+00	5.3061e-01	0.0913	-0.6006	<b>0.6946</b>	0.1580
soil type	5.4017e+03	3.1940e+06	0.3148	-0.3586	<b>-0.6849</b>	0.0076
vine age	2.5357e+01	6.6515e+01	-0.5086	-0.0733	<b>-0.5508</b>	0.1743
rootstock	2.0714e+00	1.3520e+00	<b>0.7948</b>	-0.0475	0.0124	0.3453
density	4.6451e+03	8.3947e+05	-0.7087	0.4008	0.1975	0.1497
pruning	1.1429e+00	1.2245e-01	0.5270	0.3118	-0.2286	0.4865
soil management	2.0000e+00	1.4286e-01	0.4127	0.0306	-0.1638	<b>0.7874</b>
soil management (row)	2.7143e+00	4.8980e-01	0.5672	-0.3471	0.2128	-0.2846
lq	3.7361e+01	4.4954e+01	<b>-0.9001</b>	-0.3839	-0.0959	-0.0479
Q	1.9839e+02	1.6398e+03	<b>-0.8560</b>	-0.4547	-0.1362	-0.0772
annual rainfall	8.6014e+02	1.2626e+04	-0.6367	<b>-0.7234</b>	-0.1929	0.0281
annual mean temperature	1.2550e+01	1.7682e+00	<b>0.7673</b>	-0.5436	-0.2801	-0.0527

**Table 2.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained between the studied variables for the general characteristics of plots.

variable 1	variable 2	r	p
altitude	Slope	0.736	2.7E-03
	Density	0.692	6.1E-03
	lq	0.538	4.7E-02
	annual mean temperature	-0.912	5.5E-06
slope	Density	0.805	5.2E-04
	lq	0.668	9.1E-03
	Q	0.611	2.0E-02
	annual mean temperature	-0.775	1.1E-03
density	annual mean temperature	-0.782	9.4E-04

We retained four PCs for the PCA, which permitted us to account for 80 % of the variability on the data set. Table 1 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 1 represents the distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2, 1 and 3, and 1 and 4 respectively. The ascending hierarchical classification permitted us to identify three site categories which offer a good summary of the information.



**Figure 1. General characteristics of the plots:** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2, 1 and 3, and 1 and 4. **PC 1** (39.6 % of variance): positive values were rootstock and mean annual temperatures ; negative values were Emberger's rain meter quota (Q), Aridity of Martone (Iq), slope and altitude. **PC 2** (17.6 % of variance): positive values were depth of soil ; negative values : annual rainfall. **PC 3** (14.2 % of variance): positive values were exposure and slope ; negative values were type of soil and vine age. **PC 4** (10 % of variance): positive values were soil management ; negative values were depth of soil.

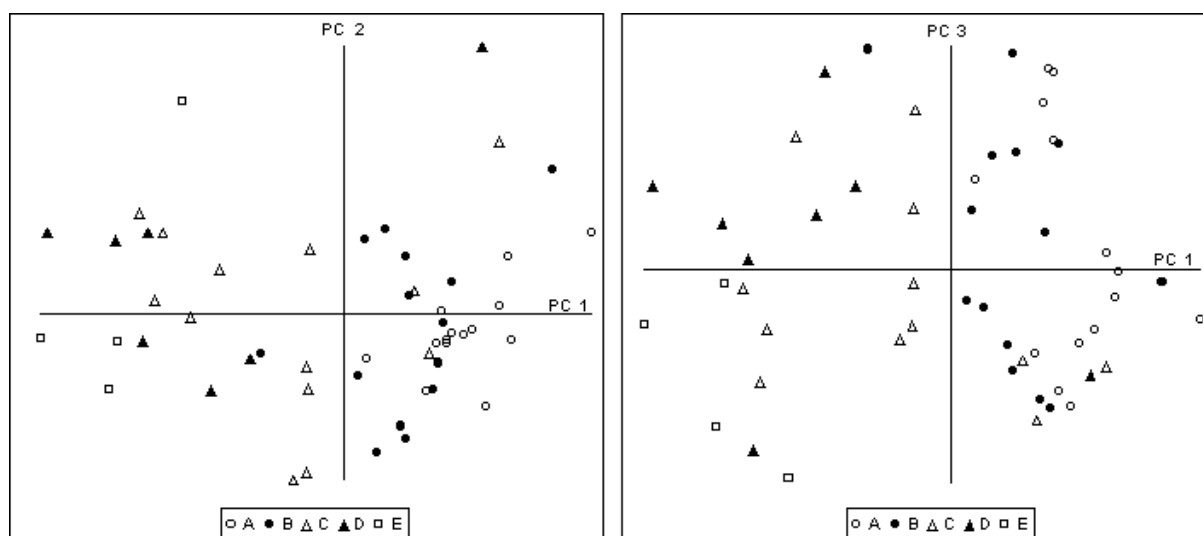
Group A brings together the plots with a positive loading on PC 1. The plots from Gaillac (G1 to G4), Fronton (F1) and Bruhlois (B1) were characterized by a higher mean annual temperature. In this group, plots G2 and G3 were different due to their eastern or western exposure (positive loading on PC 3), the other plots had a southern exposure. Also, plot B1 had a deeper soil (negative loading on PC 4)

Group B groups the plots of the Marcillac appellation (A1 to A5); they had a negative loading on PC 1: the altitude, slope pitch and density of plantation were all higher, the climate was cooler and humid (Q and Iq high) and the vines were grafted on Riparia Gloire rootstock. Two plots were differentiated from the others: plot A5 had a shallower soil (negative loading on PC 2) and did not have a southern exposure, and the vines were younger (positive loading on PC 3), plot A1 had a deeper soil and was not grassed over (negative loading on PC 4)

Group C groups the plots of Madiran (M1 to M3) and was characterized by a negative loading on PC 2: annual rainfall was higher in this appellation. The vines of plot M3 were younger than those of the other two plots (negative loading on PC 3)

These results show that climate is an important variable in characterizing the different appellations. Thus the Madiran appellation was characterized by a more humid climate due to its position closer to the ocean (strong oceanic influence) while the Marcillac appellation was characterized by a colder climate due to its high topographical situation, at the feet of the Massif Central (strong mountain influence). The other appellations, located between the two former ones, are subjected to a Mediterranean influence (strong wind) and were characterized by a warmer and dryer climate. At the same time, we noted equally the importance of the following variables: rootstock, soil (type, depth, work) exposure and vine age.

**Soil description:** PCA was carried out on 25 variables, whose mean and variance are presented on the Table 3. Each horizon identified was considered as an individual. Table 4 gives the most important correlation between the studied factors.



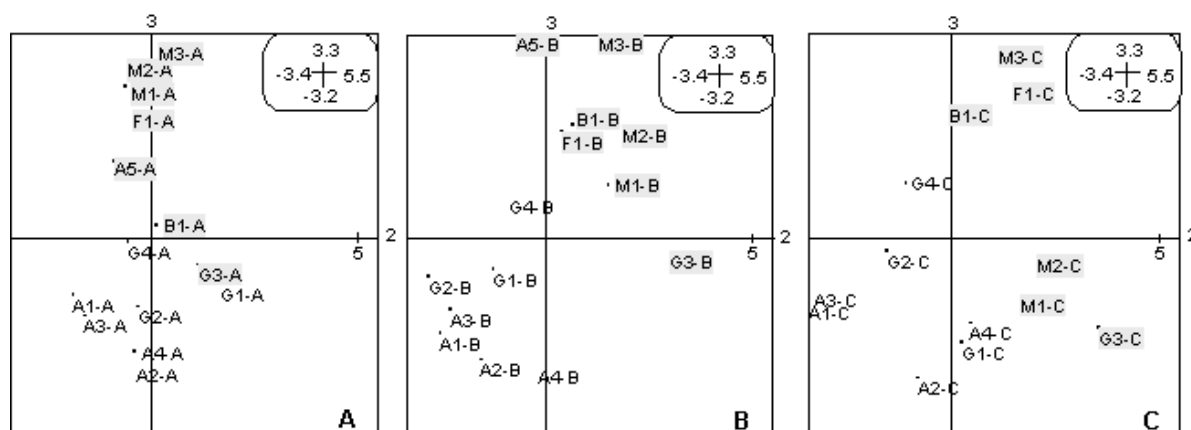
**Figure 2. Soils description :** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. **PC 1** (32 % of variance): positive values were biological activity, OM and porosity ; negative values were thickness of the horizon and % of amorphous material. **PC 2** (13 % of variance): positive values were amount of oxidation spots and Munsell's value; negative values were distinctness of the structure and localization of HC1 effervescence. **PC 3** (11 % of the variance): positive values were thickness and regularity of the transition between horizon ; negative values were intensity HC1 effervescence and percentage of gravel.

We retained three PCs for the PCA, which permitted us to account for 56 % of the variability on the data set. Table 3 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 2 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and PC 1 and 3. In a general way, the superficial soil horizons (A and B) were opposed to the deeper horizons (C, D and E) on the PC 1. The superficial horizons

were characterized by higher biological activity, % OM and porosity (positive loading on PC 1), whereas the deep horizons were thicker and present numerous amorphous material (negative loading on PC 1).

**Table 3.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) of the studied variables for the soil description.

Variables	Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
sup. depth	3.5635e+01	1.0941e+03	<b>-0.8208</b>	0.1288	-0.2204
inf. depth	8.1019e+01	4.1306e+03	<b>-0.8958</b>	0.2272	-0.2590
thickness	4.5385e+01	1.5066e+03	<b>-0.7838</b>	0.2664	-0.2410
value	4.6346e+00	1.0011e+00	-0.4432	<b>0.5364</b>	0.1039
chroma	4.0962e+00	1.8177e+00	0.0782	0.4483	0.0896
humidity	1.9615e+00	2.6775e-01	0.3065	0.1639	-0.1367
oxydation spots	3.0577e+00	3.1313e+00	-0.5991	<b>0.5912</b>	0.3648
reduction spots	1.6346e+00	2.0780e+00	-0.5314	0.0369	0.2552
%gravel	1.8577e+01	5.8101e+02	0.2321	0.4909	<b>-0.6136</b>
gravel size	2.9615e+00	6.0754e+00	0.2899	0.0785	-0.5613
%amorphous material	1.6058e+01	3.7052e+02	<b>-0.6879</b>	0.4213	0.2321
texture	3.7500e+00	5.3413e+00	0.1325	0.5285	-0.4059
structure type	8.7308e+00	9.3121e+00	0.5790	0.3378	-0.1744
structure size	1.9596e+00	2.9228e+00	-0.1694	-0.3984	-0.1970
structure distinctness	2.2885e+00	2.8217e-01	0.1630	<b>-0.5536</b>	-0.0653
biological activity	3.1346e+00	1.3088e+00	<b>0.8676</b>	0.1246	-0.0488
porosity	4.1538e+00	1.2456e+00	<b>0.7874</b>	0.3264	-0.1816
HCl intensity	2.2115e+00	2.0514e+00	-0.0341	-0.4333	<b>-0.6138</b>
HCl localisation	6.1538e-01	9.2899e-01	0.0645	<b>-0.5353</b>	-0.4552
organic matter	2.4808e+00	4.0348e-01	<b>0.8139</b>	0.2113	0.1240
transition thickness	1.4231e+00	1.4364e+00	0.4413	-0.1386	<b>0.5638</b>
transition regularity	1.2500e+00	8.0288e-01	0.4128	-0.2009	<b>0.6889</b>
total roots/m <sup>2</sup>	2.0577e+02	2.7357e+04	0.7584	0.2956	0.0036
roots/m <sup>2</sup> <2 mm	1.2116e+02	1.2709e+04	0.7107	0.3597	0.0284
roots/m <sup>2</sup> >2 mm	8.4346e+01	3.7813e+03	0.7352	0.1382	-0.0451



**Figure 3. Soils description :** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 2 and 3. **PC 2** (13 % of variance): positive values were amount of oxidation spots and Munsell’s value; negative values were distinctness of the structure and localization of HCl effervescence. **PC 3** (11 % of the variance): positive values were thickness and regularity of the transition between horizon ; negative values were intensity HCl effervescence and percentage of gravel.

**Table 4.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained between the studied variables for the soil description.

variable 1	variable 2	r	p
sup. depht	inf. Depth	0.874	2.5E-17
	Thickness	0.596	3.2E-06
	Porosity	-0.580	6.6E-06
	biological activity	-0.718	2.0E-09
	OM	-0.681	2.8E-08
	total roots/m <sup>2</sup>	-0.554	2.1E-05
	roots /m <sup>2</sup> >2 mm	-0.565	1.3E-05
inf. depht	Thickness	0.911	8.0E-21
	oxydation spots	0.588	4.6E-06
	% amorphous material	0.599	2.7E-06
	Porosity	-0.567	1.2E-05
	biological activity	-0.734	6.1E-10
	OM	-0.675	4.1E-08
	transition thickness	-0.522	7.2E-05
	transition regularity	-0.616	1.2E-06
	total roots/m <sup>2</sup>	-0.579	6.9E-06
	roots /m <sup>2</sup> <2 mm	-0.526	6.2E-05
	roots /m <sup>2</sup> >2 mm	-0.589	4.4E-06
thickness	oxydation spots	0.551	2.3E-05
	% amorphous material	0.557	1.8E-05
	biological activity	-0.603	2.3E-06
	OM	-0.537	4.0E-05
	transition regularity	-0.642	2.9E-07
value	oxydation spots	0.566	1.2E-05
	% amorphous material	0.514	9.6E-05
reduction spots	% amorphous material	0.600	2.6E-06
	biological activity	-0.518	8.3E-05
% gravel	gravel size	0.641	3.1E-07
	Porosity	0.551	2.3E-05
% amorphous material	biological activity	-0.565	1.3E-05
structure type	biological activity	0.517	8.7E-05
	Porosity	0.588	4.6E-06
biological activity	Porosity	0.767	3.3E-11
	OM	0.811	3.2E-13
	total roots/m <sup>2</sup>	0.589	4.4E-06
	roots /m <sup>2</sup> <2 mm	0.526	6.2E-05
	roots /m <sup>2</sup> >2 mm	0.619	1.0E-06
porosity	OM	0.764	4.5E-11
OM	total roots/m <sup>2</sup>	0.572	9.4E-06
transition thickness	transition regularity	0.654	1.5E-07
total roots/m <sup>2</sup>	roots /m <sup>2</sup> <2 mm	0.973	2.1E-33
	roots /m <sup>2</sup> >2 mm	0.907	1.9E-20
roots /m <sup>2</sup> <2 mm	roots /m <sup>2</sup> >2 mm	0.785	5.5E-12

Figure 3 represents for each horizon the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 2 and 3. On PC 2, the positive loading represent the percentage of oxidation spots and the Munsell value of the horizon and the negative loading represent the cleanness of the structure and the localization of the effervescence. On PC 3, the positive loading represent the transition (distinctness and regularity) and the negative loading represent the intensity of the effervescence and the percentage of gravel. The soils of plots A1 to A4, and G1 and G2 were carbonates and well structured, and often stony (negative loading on PC 2 and 3). Plot G4 loading were low on the two PC: the soil had a distinct structure but it was not carbonated, nor stony and it showed few oxidation spots. The other soils showed numerous spots of oxidation and higher Munsell values, notably in the deep horizons (positive loading on PC 2) and the transition between the horizons was less distinct and irregular (positive loading on PC 3). We noticed also that the soil of plot G3 was very stony (negative loading on PC 3) and very oxidized (high positive loading on PC 2), that plot A5 showed less spots of oxidation (loading close to 0 on PC 2), and that plots M1 and M2 showed a stonier horizon C (negative loading on PC 3)

The results showed that the superficial horizons were characterized by high biological activity, high OM content and high porosity whereas the deeper horizons were characterized by the importance of the phenomenon of oxidation, their wealth in limestone and coarse elements. Also the PCA carried out on the soil description allowed us to distinguish two soil groups: high and low-carbonate soils.

In order to carry out the PCA on the groups of variables combined, we limited ourselves to horizons B and C because horizon A is strongly influenced by work on the soil and horizons D and E did not exist for all the plots. Also we retained the criteria that present the strongest variance and were not redundant: inferior depth of the horizon, abundance of spots of oxidation and reduction, type of structure, biological activity, porosity and number of roots per m<sup>2</sup>.

**Soil analyses:** PCA was carried out on 29 variables, whose mean and variance are presented on the Table 5. Each horizon was considered as an individual. Table 6 gives the most important correlation between the studied factors.

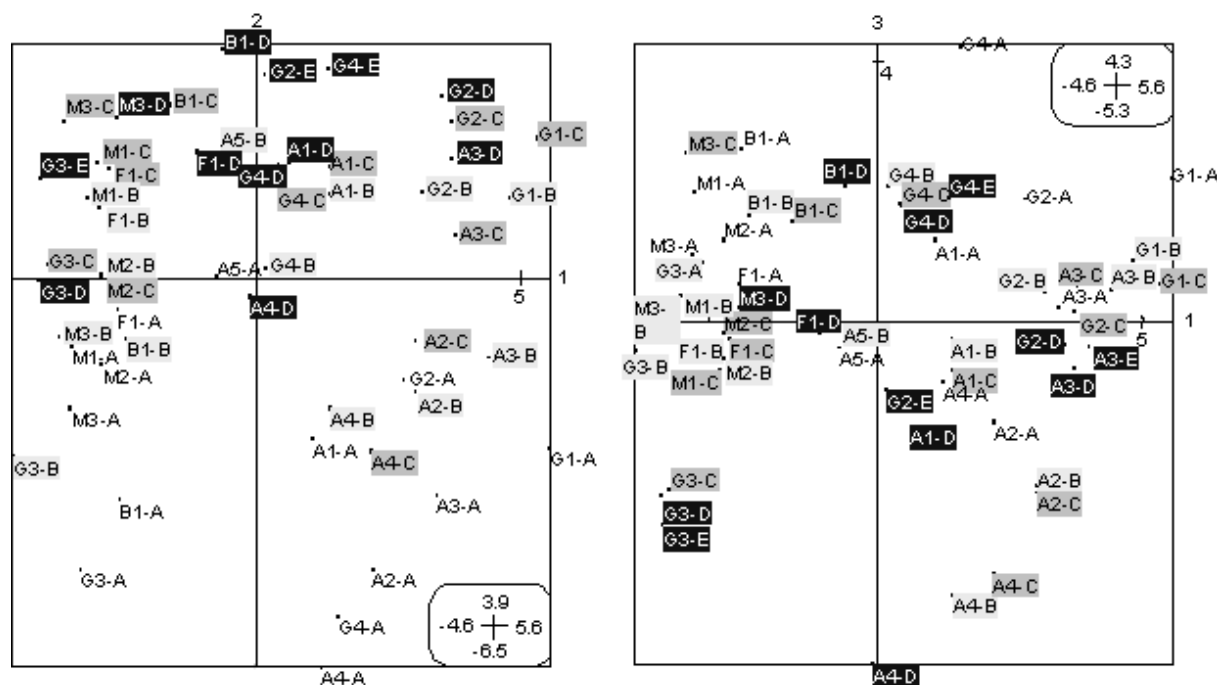
We retained three PCs for the PCA, which permitted us to account for 63 % of the variability on the data set. Table 5 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 4



represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2 and PC 1 and 3.

Plots A1 to A4, and G1, G2 and G4 had positive loading on PC 1 regardless of the horizon. These plots were characterized by a higher CEC, Ca and Mg content, conductivity, percentage of active carbonate and pH than the other plots. Plots A1, A3, G1, G2 and G4 were characterized by positive loading on PC 2 (except on horizons A), the soils were richer in clay and Mg. Plots A2 to A4 were characterized by a negative loading on PC 2, the soils were richer in OM and P, and by a high negative loading on PC 3 as there were more stones.

Plots A5, B1, F1, G3, M1, M2 and M3 had negative loading on PC 1 regardless of the horizon. These plots were characterized by a high percentage of coarse silt and K content (high K/CEC). The superficial horizons of plots B1 and M3 were rich in OM and P (negative loading on PC 2) and their deep horizons were quite rich in clay and calcium (positive loading on PCs 2 and 3). Plot G3 was characterized by a very stony soil, rich in OM and P (negative loading on PCs 2 and 3). The deep horizons of plots M1, M2, F1 and A5 were quite rich in clay and in Ca (positive loading on PC 2 and 3).



**Figure 4. Soils analysis :** distribution of individuals in the center of the orthogonal PC formed by the PC 1-2 and 1-3. **PC 1** represents 30 % of the information: positive values : CEC, Ca, Mg, conductivity, active carbonates and pH ; negative values : percentage of coarse silts and secondary percentage of fine sand and K/CEC ratio. **PC 2** represents 22 % of the information: positive values : percentage of clay and secondary Mg/CEC ratio ; negative values : organic carbon, OM and available phosphorus. **PC 3** represents 12 % of the information: positive values : saturation and Ca/CEC ratio ; negative values : percentage of gravels and secondary percentage of coarse sand and fine silts.

These results confirm those obtained for the soil descriptions. PCA carried out on the soil analyses once again permitted us to distinguish clearly between high and low-carbonate soils.

**Table 5.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) of the studied variables for the soil analyses.

Variables	Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
pH H <sub>2</sub> O	6.9402e+00	1.2088e+00	<b>0.7673</b>	-0.0451	-0.0791
pH KCl	6.4363e+00	1.9952e+00	<b>0.7714</b>	-0.1702	-0.2662
conductivity	1.0150e+02	2.7501e+03	<b>0.8007</b>	0.0515	-0.0909
%gravel	1.7342e+01	6.8495e+02	-0.1804	-0.3600	<b>-0.7062</b>
%coarse sand	1.1670e+01	6.0211e+01	-0.1130	-0.1789	<b>-0.5767</b>
%fine sand	1.1931e+01	4.3951e+01	<b>-0.6000</b>	-0.0335	0.3178
%coarse silt	1.5502e+01	7.6984e+01	<b>-0.7796</b>	-0.0059	0.2654
%fine silt	3.3220e+01	7.4985e+01	0.3984	-0.2901	<b>-0.4968</b>
%clay	2.7667e+01	1.5700 <sup>e</sup> +02	0.6570	<b>0.3339</b>	0.3467
total CaCO <sub>3</sub>	1.4206e+01	4.6705e+02	0.6335	-0.2965	-0.4852
active CaCO <sub>3</sub>	2.1829e+00	1.1640e+01	<b>0.7815</b>	0.0533	-0.0630
%organic carbon	5.5844e-01	1.7674e-01	0.3046	<b>-0.8389</b>	0.1139
%o total nitrogen	6.7681e-01	1.2114e-01	0.3060	-0.7132	0.2646
C/N	7.4989e+00	1.3105e+01	0.1359	-0.6653	-0.1383
OM	1.0153e+00	5.8427e-01	0.3046	<b>-0.8389</b>	0.1139
P olsen	1.3537e+01	2.7386e+02	-0.1217	<b>-0.8115</b>	0.3477
P bray	1.6218e+01	5.9036e+02	-0.2433	<b>-0.8047</b>	0.2699
P mehlich	2.5771e+01	1.4009e+03	-0.1934	<b>-0.8257</b>	0.2821
K BaCl <sub>2</sub>	1.5928e+00	5.5650e-01	0.2636	-0.7132	0.1354
K mehlich	3.9679e-01	4.6122e-02	0.3816	-0.7385	0.2446
Ca BaCl <sub>2</sub>	1.1130e+01	8.3047e+01	<b>0.7460</b>	0.2154	0.3555
Ca mehlich	2.3456e+01	6.8436e+02	<b>0.8298</b>	0.0575	-0.1560
Mg BaCl <sub>2</sub>	2.2677e+00	2.1002e+00	<b>0.7168</b>	0.2253	0.3857
Mg mehlich	2.2717e+00	2.2643e+00	<b>0.8144</b>	0.2143	0.2846
CEC	1.4792e+01	6.6430e+01	<b>0.8944</b>	0.1272	0.1968
K/CEC	1.5267e+01	1.4229e+02	<b>-0.5993</b>	-0.4042	0.0495
Ca/CEC	7.2783e+01	1.1782e+03	0.1375	0.2044	<b>0.5407</b>
Mg/CEC	1.6316e+01	1.1192e+02	-0.1013	<b>0.2555</b>	0.4180
saturation	1.0437e+02	1.6590e+03	-0.0860	0.1203	<b>0.5787</b>

**Leaf analyses:** PCA was carried out on 8 variables, whose mean and variance are presented in Table 7. Each year (2001, 2002 and 2003) was taken individually in order to determine the influence of the vintage. Table 8 gives the most important correlation between the factors studied.

We retained three PCs for the PCA, which permitted us to account for 75 % of the variability on the data set. Table 7 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 5 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2 and PC 1 and 3.

**Table 6.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained between the studied variables for the soil analyses.

variable 1	variable 2	r	p
pH H <sub>2</sub> O	conductivity	0.946	4.3E-27
	active CaCO <sub>3</sub>	0.629	3.5E-07
	Ca Mehlich	0.729	4.0E-10
	CEC	0.604	1.3E-06
pH KCl	% coarse silt	-0.656	7.4E-08
	total CaCO <sub>3</sub>	0.682	1.4E-08
	Ca Mehlich	0.720	8.4E-10
conductivity	% fine sand	-0.627	3.9E-07
	% coarse silt	-0.638	2.1E-07
	active CaCO <sub>3</sub>	0.601	1.6E-06
	Ca Mehlich	0.647	1.3E-07
% gravel	Mg Mehlich	0.692	6.8E-09
	% coarse sand	0.602	1.5E-06
% fine sand	% fine silt	-0.652	9.1E-08
% coarse silt	active CaCO <sub>3</sub>	-0.626	4.1E-07
	CEC	-0.704	2.9E-09
% fine silt	total CaCO <sub>3</sub>	0.615	7.5E-07
% clay	Ca BaCl <sub>2</sub>	0.648	1.2E-07
	Mg BaCl <sub>2</sub>	0.701	3.5E-09
	Mg Mehlich	0.735	2.4E-10
	CEC	0.761	2.5E-11
total CaCO <sub>3</sub>	active CaCO <sub>3</sub>	0.687	9.6E-09
	Ca Mehlich	0.704	2.9E-09

variable 1	variable 2	r	p
active CaCO <sub>3</sub>	Ca Mehlich	0.828	1.2E-14
	CEC	0.616	7.3E-07
C %	N %o	0.936	8.0E-24
	C/N	0.609	2.1E-06
	K mehlich	0.656	1.8E-07
N %o	OM	0.938	1.2E-24
	K mehlich	0.656	7.4E-08
C/N	OM	0.629	5.8E-07
P Olsen	P Bray	0.887	4.0E-19
	P Mehlich	0.945	7.7E-27
P Bray	P Mehlich	0.959	2.9E-30
K BaCl <sub>2</sub>	K mehlich	0.900	2.2E-20
Ca BaCl <sub>2</sub>	Ca Mehlich	0.720	8.8E-10
	Mg Mehlich	0.617	6.6E-07
	CEC	0.840	2.1E-15
Ca Mehlich	CEC	0.686	1.1E-08
Mg BaCl <sub>2</sub>	Mg Mehlich	0.967	1.7E-32
	CEC	0.785	2.1E-12
Mg Mehlich	CEC	0.849	5.4E-16
	K/CEC	-0.684	1.2E-08

**Table 7.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) of the studied variables for the leaf analyses.

Variables	Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
K flowering	1.2219e+00	1.4654e-01	-0.2682	<b>0.6972</b>	-0.3438
K veraison	1.0195e+00	8.1710e-02	<b>-0.5363</b>	0.3103	<b>-0.6460</b>
Ca flowering	1.8283e+00	1.9591 <sup>e</sup> -01	0.7589	-0.0394	-0.3267
Ca veraison	2.4223e+00	3.0161e-01	<b>0.8927</b>	<b>-0.1671</b>	0.0655
Mg flowering	2.5557e-01	6.0156e-03	0.7009	0.5460	-0.3044
Mg veraison	2.9875e-01	2.0022e-02	<b>0.7868</b>	0.2535	0.0288
N flowering	2.3303e+00	7.6165e-02	0.1953	<b>0.7545</b>	<b>0.4242</b>
N veraison	1.7957e+00	3.0601 <sup>e</sup> -02	-0.3171	0.6215	<b>0.4458</b>

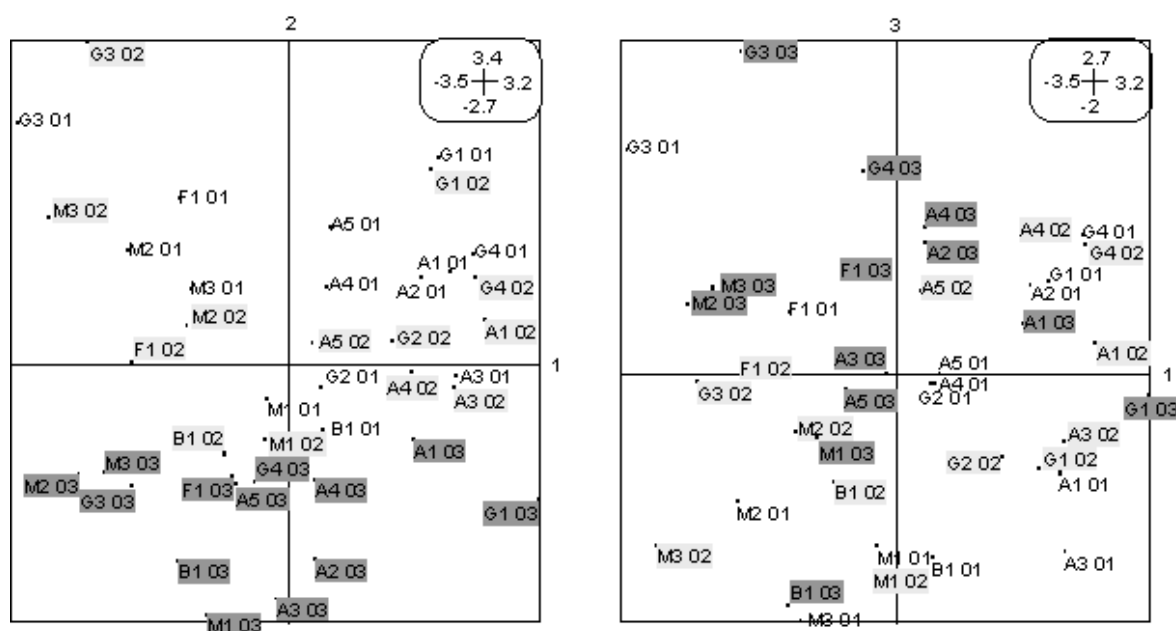
**Table 8.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained between the studied variables for the leaf analyses.

variable 1	variable 2	r	p
K veraison	Ca veraison	-0.544	2.9E-04
Ca flowering	Ca veraison	0.658	4.0E-06
	Mg flowering	0.554	2.1E-04
Ca veraison	Mg veraison	0.563	1.5E-04
Mg flowering	Mg veraison	0.704	4.1E-07

In 2003, the mineral nutrition was characterized by a negative loading higher on PC 2 than in 2001 and 2002. The 2003 vintage was characterized by a more important nutrition in Ca but lower in K and N.

Plots G3, M3, M2 and F1 were characterized by high tissue K and N concentration (negative loading on PC 1 et positive on PC 2 and PC 3). Plots B1 and M1 were characterized by high tissue K concentration (negative loading on PC 3) and average for the other elements.

In 2001 and 2002, plots A1 to A4, and G1, G2 and G4 had a positive loading on PC 1, they were characterized by an important tissue Ca and Mg concentration at veraison. Plots A2, A4 and G4 had higher tissue N concentration (positive loading on PC 3). Plot A5 was characterized by an equilibrated mineral nutrition (low loading on the three PC's).



**Figure 5. Leaf analyses :** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. **PC 1** (37 % of variance): positive values were Ca and Mg at veraison ; negative values were K at veraison. **PC 2** (24 % of variance): positive values were N and K at flowering ; negative values were Ca at veraison. **PC 3** (14 % of variance): positive values were N at veraison and flowering ; negative values were K at veraison.

**Berry composition:** PCA was carried out on 7 variables, whose mean and variance are presented in Table 9. Table 10 gives the most important correlation between the studied factors.

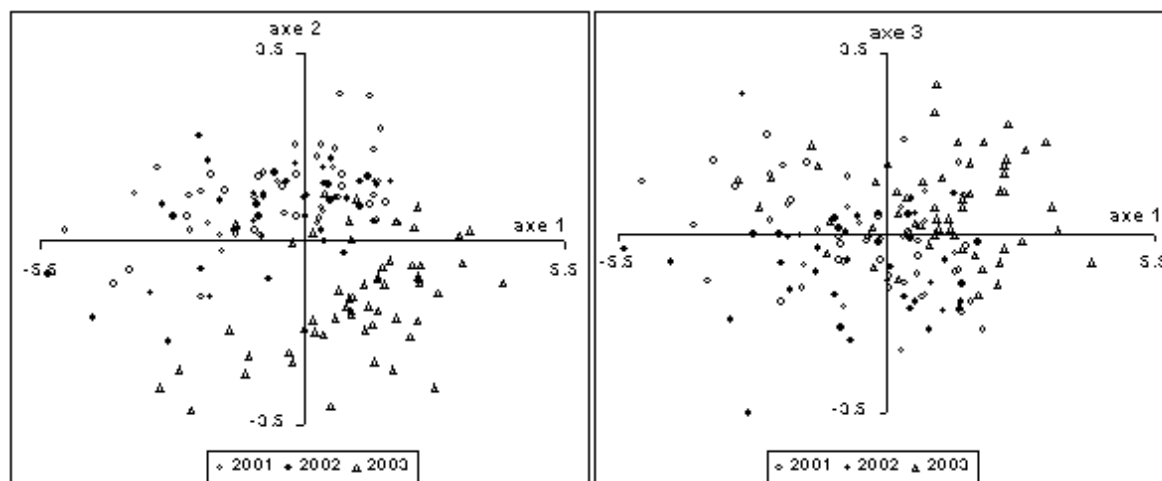
The first PCA was carried out on the data of the three years together. We retained three PCs, which permitted us to account for 86 % of the variability on the data set. Table 9 gives

the coordinates of variables on each PC. Figure 6 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2 and 1 and 3.

On PC 1 the soluble solids (SS) (positive loading) was opposed to titratable acidity (TA) (negative loading), on PC 2 the weight of the berries (positive loading) was opposed to the polyphenol concentration (negative loading), on PC 3 the pH (positive loading) was opposed to the anthocyanin concentration (negative loading). Generally, the loading on PC 1 and PC 2 increased with the date of sampling (SS and berry weight increased while TA and polyphenol diminished). The 2003 vintage was characterized by more negative loading on PC 2 and more positive loading on PC 1 and PC 3 than in the other vintages. This harvest was characterized by a higher pH, SS and polyphenol concentration but with a lower TA and anthocyanin concentration. Therefore, we carried out a PCA for each year as the number of individuals was very important.

**Table 9.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) of the studied variables for the berry composition.

Variables		Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
berry weight	3 years	3.4313e+02	3.7950e+03	-0.0392	<b>0.8892</b>	-0.0019
SS		1.0445e+01	1.6784e+00	<b>0.9535</b>	0.1074	-0.0710
TA		6.0639e+00	3.6641e+00	<b>-0.9169</b>	0.1409	-0.1620
pH		3.1279e+00	3.7321e-02	0.7973	-0.2181	<b>0.3179</b>
total polyphenol		8.5946e+01	2.5726e+02	0.0157	<b>-0.6668</b>	<b>-0.6332</b>
anthocyanin		1.1669e+03	9.4016e+04	0.3432	0.4186	<b>-0.7480</b>
berry weight	2001	3.6969e+02	1.5236e+03	0.4052	<b>0.7297</b>	<b>-0.5147</b>
SS		1.0060e+01	1.3948e+00	<b>0.9612</b>	-0.0468	0.0588
TA		6.7765e+00	2.8095e+00	<b>-0.9629</b>	-0.0380	-0.0985
pH		3.0487e+00	2.4989e-02	0.8323	0.1017	-0.1286
total polyphenol		7.7547e+01	1.8285e+02	-0.0414	<b>-0.8508</b>	<b>-0.5161</b>
anthocyanin		1.2729e+03	1.0452e+05	0.8021	-0.4514	0.1077
berry weight	2002	3.7218e+02	2.2148e+03	-0.4242	<b>0.7313</b>	-0.4273
SS		1.0180e+01	1.3889e+00	<b>-0.9450</b>	-0.2265	<b>0.1541</b>
TA		7.1922e+00	3.1381e+00	<b>0.9550</b>	0.0409	0.0069
pH		3.0368e+00	2.0714e-02	-0.7382	0.4598	-0.2719
total polyphenol		8.8492e+01	2.5776e+02	0.3420	<b>-0.7219</b>	<b>-0.5727</b>
anthocyanin		1.2868e+03	5.9251e+04	-0.6727	<b>-0.6382</b>	-0.1466
berry weight	2003	2.9578e+02	3.6299e+03	0.4186	<b>-0.5415</b>	<b>0.5884</b>
SS		1.1016e+01	1.6460e+00	<b>0.9201</b>	-0.0126	0.2373
TA		4.5378e+00	1.1287e+00	<b>-0.8701</b>	-0.0262	0.2442
pH		3.2722e+00	2.8529e-02	0.6629	0.0573	<b>-0.5349</b>
total polyphenol		9.2331e+01	2.1517e+02	-0.2729	<b>0.7815</b>	<b>0.4505</b>
anthocyanin		9.7507e+02	5.0795e+04	0.5422	<b>0.7419</b>	0.0130



**Figure 6. Berry composition** : distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. **PC 1** (49 % of variance): positive values were SS ; negative values were TA. **PC 2** (21,5 % of variance): positive values were weight of 200 berries; negative values were total polyphenol. **PC 3** (16 % of variance): positive values were pH ; negative values were anthocyanin concentration.

**Table 10.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained between the studied variables for the berry composition.

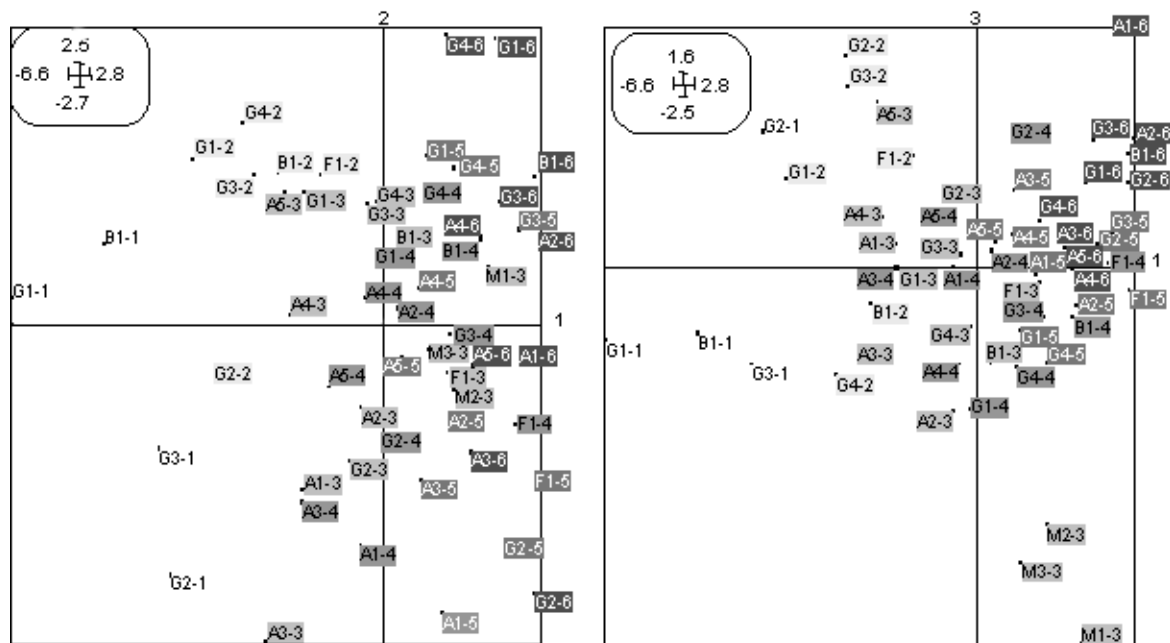
	variable 1	variable 2	r	p
3 years	SS	TA	-0.797	1.1E-34
	SS	pH	0.625	7.4E-18
	TA	pH	-0.789	1.5E-33
2001	anthocyanin	pH	0.580	3.4E-06
	anthocyanin	SS	0.754	3.1E-11
	anthocyanin	TA	-0.738	1.3E-10
	pH	SS	0.688	6.4E-09
	pH	TA	-0.806	1.1E-13
2002	SS	TA	-0.907	1.5E-21
	anthocyanin	SS	0.718	1.3E-07
	anthocyanin	TA	-0.659	2.8E-06
	pH	SS	0.549	2.0E-04
	pH	TA	-0.663	2.3E-06
	pH	berry weight	0.638	7.2E-06
2003	SS	TA	-0.882	2.6E-14
	anthocyanin	TA	-0.560	7.3E-06
	pH	TA	-0.599	1.1E-06
	SS	TA	-0.657	3.9E-08

In 2001 (Figure 7): On PC 1 the TA was opposed to SS, thus characterizing the ripening state. The plots from Marcillac, and in particular plots A1, A3 and A5 were characterized by a later ripening state than the other appellations (positive loading on the PC 1 starting from the sampling dates 4 and 5). Plots M1, M2, M3, F1, B1, G3 and G4 showed earlier ripening state (positive loading on PC 1 starting from the sampling date 3). On PC 2 the polyphenol concentration was opposed to the berry weight, and on PC 3 the polyphenol

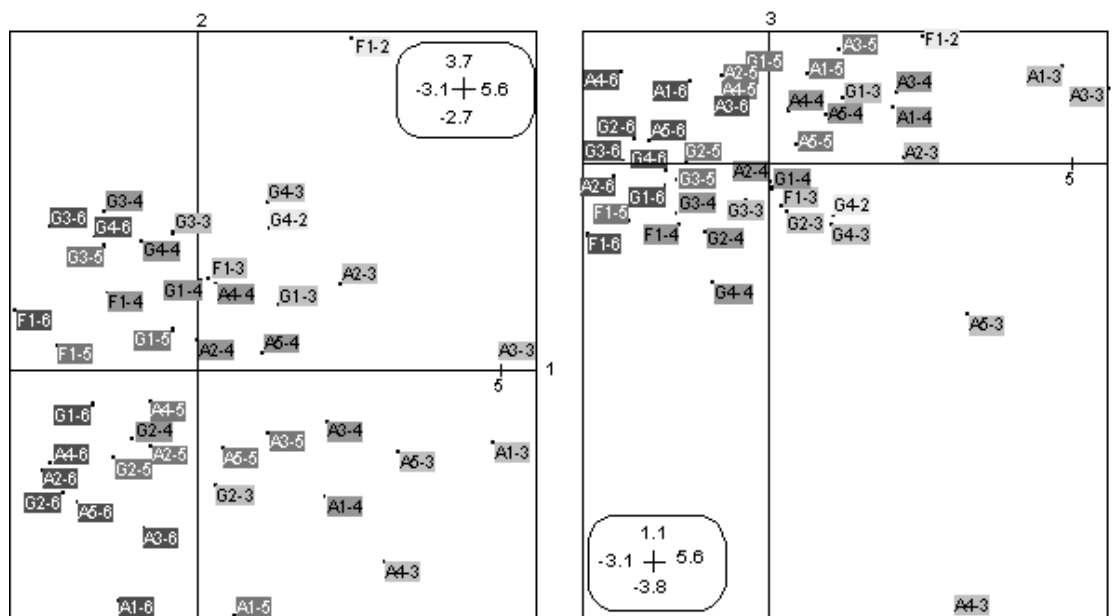
concentration and the berry weight were opposed to the anthocyanin concentration. For the last sampling date, the berries were larger and the anthocyanin concentration was lower in plots A2, B1, G1, G3 and G4 (positive loading on PC 2 and PC 3), the anthocyanin concentration was higher but polyphenol concentration lower for plots A4 et M1 (positive loading on the PC 2 but negative on the PC 3), polyphenol concentration was higher and that of anthocyanin was lower in plots A1, A3, A5 et G2 (negative loading on the PC 2 but positive on the PC 3) ; the polyphenol and anthocyanin concentrations were higher for the plots F1, M2 et M3 (negative loading on the PC 2 and PC 3).

In 2002 (Figure 8): On PC 1 TA is opposed to SS, thus characterizing the ripening state. The plots of Marcillac, in particular A3, were the latest (negative loading on PC 1 negative from the sampling date 5). Plots F1 and G3 were earlier than the other plots (negative loading on PC 1 from the sampling date 3). On PC 2 the polyphenol and anthocyanin concentration were opposed to the berry weight, and on PC 3 the polyphenol concentration was opposed to SS. For the last sampling date, the anthocyanin concentration was higher on the Marcillac plots and G2 (negative loading on the PC 2 but positive on the PC 3) ; the polyphenol concentration was higher on plots G4 and F1 (positive loading on the PC 2 but negative on the PC 3) ; the anthocyanin and polyphenol concentration were higher on plot G1 (negative loading on the PC 2 and PC 3) and lower on plot G3 (positive loading on the PC 2 and PC 3)

In 2003 (Figure 9): On PC 1, TA was opposed to SS, thus characterizing the ripening state. The plots from Marcillac were the latest (positive loading from the sampling date 2) but plot A4 was earlier (positive loading from the sampling date 1). Plots G2, G3 and M1 were the earliest (positive loading from the sampling date 0) and plots M3 and G4 were later (positive loading for date 2). On PC 2 the weight of the berries was opposed to the polyphenol et anthocyanin concentration, on PC 3 the pH was opposed to the berry weight and polyphenol concentration. For the last sampling date, the anthocyanin concentration was higher on the plots of A1 and A5 (positive loading on the PC 2 but negative on the PC 3) ; the polyphenol concentration was higher on plots M2, M3, B1 and G1 (negative loading on the PC 2 but positive on the PC 3) ; the anthocyanin and polyphenol content were higher on plots A3 and M1 (positive loading on the PC 2 and PC 3).

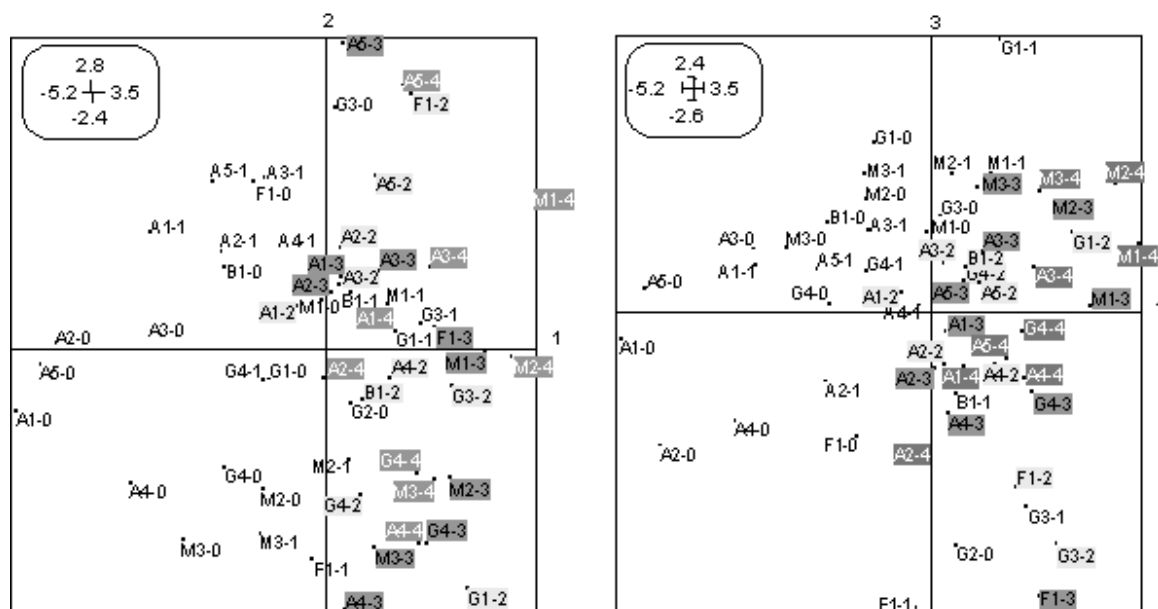


**Figure 7. Berry composition in 2001 :** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. **PC 1** (61 % of variance): positive values were SS ; negative values were TA. **PC 2** (21 % of variance): positive values were weight of 200 berries ; negative values were total polyphenol. **PC 3** (8 % of variance): positive values were total polyphenol and weight of 200 berries ; negative values were anthocyanin concentration.



**Figure 8. Berry composition in 2002 :** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. : **PC 1** (57 % of variance): positive values were TA ; negative values were SS and pH. **PC 2** (25,4 % of variance): positive values were weight of 200 berries ; negative values were total polyphenol and antocyanin concentration. **PC 3** (9,3 % of variance): positive values were total polyphenol ; negative values were SS.





**Figure 9. Berry composition in 2003 :** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. : **PC 1** (49 % of variance): positive values were TA ; negative values were SS. **PC 2** (20.8 % of variance): positive values were total polyphenol and antocyanin concentration ; negative values were weight of 200 berries. **PC 3** (14.4 % of variance): positive values were total polyphenol and weight of 200 berries; negative values were pH.

**Global analysis:** In order to carry out the PCA on the whole of the variable groups, we limited ourselves to study horizons B and C because horizon A was often thin and strongly influenced by the soil management and horizons D and E are not available for all the plots. Also, for each group, we retained only the variables that presented the highest variances. PCA was carried out on 137 variables, whose mean and variance are presented on the Table 11. We retained three PCs for the PCA, which permitted us to account for 56 % of the variability on the data set. Table 12 gives the most important correlation between the studied factors and Table 11 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 10 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2 and 1 and 3. Figure 10 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2 and PC 1 and 3.

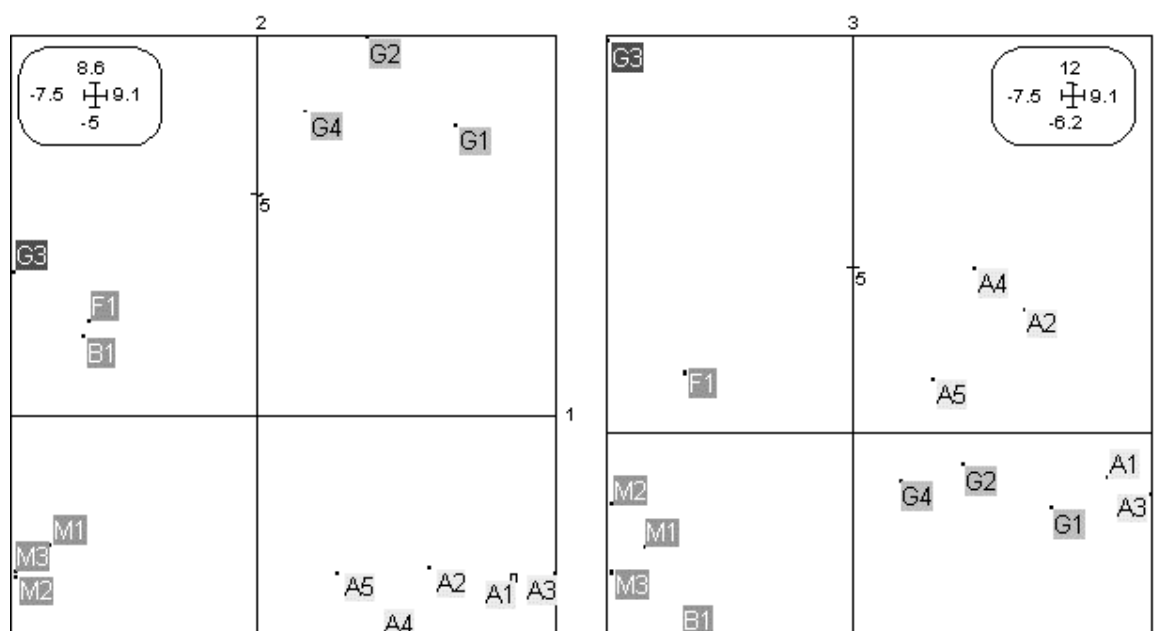
Plots G3, F1, B1, M1, M2 and M3 were characterized by a negative loading on PC 1, the soil showed numerous spots of oxidation, they were less rich in clay and their CEC was lower. The leaves showed high K concentration but low in Ca and Mg. The berries were large, their pH and S/TA ratios were high and their tartaric acid concentration was low.

Plots G1, G2, G4 and plots of Marcillac were characterized by a positive loading on PC 1, the soils showed a higher CEC and pH and they were richer in Ca and Mg. The leaves

showed high Ca and Mg concentration and the grapes were higher in tartaric and malic acids and their pH, K concentration and S/TA ratio were lower. The lowest loading on PC 1 indicate a lower altitude and lower soil carbonates concentration (A5 and G4).

The plots of Madiran and Marcillac were characterized by a negative loading on PC 2, the climate of these two appellations is cooler and more humid (high Q and Iq) than those of the other appellations. Plots G1, G2 and G4 were characterized by a high positive loading on PC 2, the rootstocks used were SO4, 41B or 101-14; on the other plots the rootstocks used were Riparia Gloire or 3309C.

Plots G3, F1, A2, A4 and A5 were characterized by a positive loading on PC 3 : the root development was larger and biological activity, porosity and the percentage of stones in the soil were more notable.



**Figure 10. Global analysis :** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. **PC 1** (25.5 % of variance): positive values were CEC and pH of the horizon B and C, Mg and Ca at veraison in 2002, altitude and grape malic acid concentration at the date 1 in 2002 ; negative values were grape pH (date 1 in 2002), S/TA ratio (date 1 in 2001 and 2002), K at veraison in 2002 and oxidation spots of the horizon C. **PC 2** (15.2 % of variance): positive values: Winkler indexes in 2001, 2002 and 2003 and secondary rootstock, Ca of the horizon C and tartaric acid grape concentration (date 2 in 2003) ; negative values were Emberger's rain meter quota (Q) and Aridity of Martone (Iq) and secondary Bessmoulin index in 2002 and anthocyanin grape concentration (date 2 in 2003). **PC 3** (14.2 % of variance): positive values were root development, percentage of gravels, porosity and biological activity of the horizon C ; negative values were K at veraison in 2003, saturation of the horizon B, malic acid grape concentration (date 1 in 2003) and secondary saturation of the horizon C, type of soil and Mg at flowering in 2001.

The ascending hierarchical classification allows us to identify four different categories that offer a good summary of the information obtained.

Plot G3 belongs to the first category, the soil was very stony and showed numerous spots of oxidation, the clay content and CEC were low. The leaves had high K concentration yet

they were low in Ca and Mg. The hot dry climate (high Iw) permitted a good ripening of the grapes, with large berries, their pH and S/AT ratio were high but their tartaric and malic acids, anthocyanin and polyphenol concentration were low.

Plots B1, F1, M1, M2 and M3 belong to the second category, the soils were oxidized and their clay content and CEC were low. The leaves had high K concentration but low in Ca and Mg. The berries were large; their pH and S/AT ratio were high and tartaric acid concentration was low. The climate of plots B1 and F1 was more favorable to the ripening of the grapes, which were lower in malic acid and anthocyanin. The vine's root development, the biological activity and porosity of soil were important for plot F1.

Plots G1, G2 and G4 belong to the third category, the soils were saturated and showed a higher CEC and pH, they were high in clay and Ca and Mg. The leaves showed high K, Ca and Mg concentrations. The hot, dry climate favored grape ripening but this came rather late (low S/TA in the first sampling date). The grapes were rich in tartaric and malic acids but low in potassium.

The plots of Marcillac belong to the final category, the soils were saturated and had a high CEC and pH, they were high in clay and in Ca and Mg. The rootstock used was Riparia Gloire. The leaves showed high Ca and Mg concentration. The cold and humid climate did not allow an early ripening of the grapes, which are rich in tartaric and malic acids, in anthocyanin and polyphenol and their pH and K concentration were low. Soil of plots A2 and A4 had higher biological activity, porosity and root development and was stonier. Plots A1 and A3 had a higher pH and CEC and the leaves had higher K concentration.

## **DISCUSSION**

PCA is a mathematical reduction technique of the number of variables permitting the geometrical representation of individuals and variables. It deals with numerical variables that have the same weight. This method is interesting as it allows us to deal with a great number of variables. However, in this study, the number of plots (individual) was reduced and the number of variables was very high and above all heterogeneous. We worked with several groups of variables in order to identify the most important variables to the heart of each group.

**Table 11.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) of the studied variables for the global analyse.

Variables		Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
altitude		2.6079e+02	1.6407e+04	<b>0.82494</b>	-0.48224	0.19373
slope		6.7857e+00	5.5740e+01	0.42958	-0.62961	0.27242
soil type		5.4017e+03	3.1940e+06	-0.45408	0.10466	<b>-0.58108</b>
depht		1.1786e+02	7.1684e+02	0.29518	0.3562	-0.11254
vine age		2.5357e+01	6.6515e+01	0.37072	-0.34606	-0.14028
rootstock		2.0714e+00	1.3520e+00	-0.046905	<b>0.87293</b>	-0.22169
density		4.6451e+03	8.3947e+05	0.47726	-0.49463	0.43588
soil management		2.0000e+00	1.4286e-01	-0.052843	0.42234	-0.038443
soil management (row)		2.7143e+00	4.8980e-01	-0.48892	0.31322	-0.085375
lq		3.7361e+01	4.4954e+01	0.11269	<b>-0.95313</b>	-0.12793
Q		1.9839e+02	1.6398e+03	0.024313	<b>-0.95131</b>	-0.19001
lw 2001		1.4761e+03	1.8999e+04	-0.65616	<b>0.65114</b>	-0.30127
lw 2002		1.2970e+03	1.8850e+04	-0.5492	<b>0.7444</b>	-0.22162
lw 2003		1.8530e+03	1.7974e+04	-0.35415	<b>0.86974</b>	-0.1037
IB 2001		5.3929e-01	1.3495e-03	0.47532	0.21102	0.63665
IB 2002		6.6571e-01	1.0410e-02	0.50395	<b>-0.78361</b>	0.27668
IB 2003		2.0393e-01	8.5064e-04	0.21312	-0.69136	-0.44024
inf. depth	horizon B	4.6143e+01	1.1555e+02	0.39647	-0.51925	-0.3161
oxydation spots		2.7143e+00	2.2041e+00	-0.74581	-0.27703	-0.31332
reduction spots		1.2143e+00	5.9694e-01	-0.24748	0.10911	-0.38824
structure type		8.4286e+00	2.3878e+00	-0.34611	0.19812	0.74797
biological activity		3.7143e+00	4.8980e-01	-0.22123	-0.19158	0.69566
porosity		4.5000e+00	6.7857e-01	-0.2515	-0.32282	0.54387
total roots/m <sup>2</sup>		2.7964e+02	1.7136e+04	-0.3986	0.33742	-0.028037
inf. depth	Horizon C	1.0571e+02	2.6031e+03	-0.15101	-0.13687	-0.41649
oxydation spots		3.6429e+00	3.5153e+00	<b>-0.83161</b>	-0.1417	-0.18395
reduction spots		1.6429e+00	2.5153e+00	-0.069014	-0.10484	-0.17183
structure type		7.7143e+00	6.6327e+00	-0.084723	0.12354	0.64463
biological activity		2.5714e+00	9.5918e-01	-0.006157	-0.013958	<b>0.81879</b>
porosity		3.5714e+00	9.5918e-01	-0.13233	-0.1586	<b>0.82023</b>
total roots/m <sup>2</sup>		1.7000e+02	1.5419e+04	-0.018967	0.11311	<b>0.90544</b>
pH H <sub>2</sub> O	Horizon B	6.9400e+00	9.5726e-01	<b>0.80275</b>	-0.0069764	-0.32429
%gravel		1.7747e+01	5.4232e+02	0.15365	-0.37495	0.6996
%silt		5.1268e+01	9.4968e+01	-0.47854	-0.58862	-0.057979
%sand		2.3136e+01	5.2591e+01	-0.46574	-0.16651	0.37456
%clay		2.5571e+01	1.5410e+02	0.64477	0.56088	-0.17246
total CaCO <sub>3</sub>		1.4631e+01	5.2156e+02	0.53848	-0.072663	0.28452
active CaCO <sub>3</sub>		2.1339e+00	1.1077e+01	0.56395	0.45735	-0.025392
C/N		8.6017e+00	3.0124e+00	0.2188	-0.074137	0.20031
MO		1.1854e+00	2.9471e-01	0.49556	-0.062721	0.24482
P mehlich		2.1819e+01	9.2138e+02	-0.57519	0.092516	0.54058
K BaCl <sub>2</sub>		1.5205e+00	2.8751e-01	0.53132	-0.38251	0.31762
Ca BaCl <sub>2</sub>		1.0592e+01	7.1072e+01	0.63394	0.61123	-0.28241
Mg BaCl <sub>2</sub>		2.1161e+00	2.3156e+00	<b>0.82341</b>	0.26483	-0.16681
CEC		1.4524e+01	7.2142e+01	<b>0.86482</b>	0.3872	-0.14548
saturation		9.7990e+01	5.7467e+02	-0.21918	0.26509	<b>-0.64433</b>

Variables		Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
pH H <sub>2</sub> O	Horizon C	6.8436e+00	1.2438e+00	<b>0.7908</b>	-0.10665	-0.30282
%gravel		1.8336e+01	6.9022e+02	-0.10743	-0.1872	<b>0.83291</b>
%silt		4.9864e+01	8.1268e+01	-0.39164	-0.48554	-0.28545
%sand		2.0715e+01	4.9623e+01	-0.34562	-0.18409	0.53425
%clay		2.9429e+01	1.2724e+02	0.53011	0.50253	-0.10621
total CaCO <sub>3</sub>		1.3506e+01	4.4696e+02	0.5132	0.11398	0.23118
active CaCO <sub>3</sub>		2.1786e+00	1.2370e+01	0.52946	0.49086	-0.023146
C/N		7.0157e+00	6.0582e+00	0.40506	-0.004526	0.15438
MO		8.1407e-01	4.5641e-01	0.41726	-0.23576	0.30018
P mehlich		3.8664e+00	5.4832e+01	-0.08025	-0.0061356	0.74033
K BaCl <sub>2</sub>		1.2959e+00	2.8775e-01	0.28205	-0.46141	0.1416
Ca BaCl <sub>2</sub>		1.0924e+01	9.4983e+01	0.55609	<b>0.70003</b>	-0.25946
Mg BaCl <sub>2</sub>		2.4759e+00	2.1706e+00	<b>0.76066</b>	0.19479	-0.14144
CEC saturation		1.4975e+01	7.4768e+01	<b>0.89182</b>	0.38119	-0.033555
			1.0674e+02	2.5912e+03	-0.39018	0.093598
K flowering	2001	1.2957e+00	3.5810e-02	-0.4318	-0.26375	0.33534
K veraison		1.1164e+00	5.7237e-02	-0.71749	-0.33125	-0.14046
Ca flowering		2.0443e+00	2.3922e-01	0.54533	-0.20101	<b>-0.52952</b>
Ca veraison		2.3207e+00	2.4686e-01	0.73979	0.22221	-0.34696
Mg flowering		3.0250e-01	3.3812e-03	0.52874	-0.12857	<b>-0.52736</b>
Mg veraison		3.2571e-01	1.6896e-02	0.68284	0.011094	-0.20367
N flowering		2.4352e+00	9.3783e-02	0.40238	0.41921	0.70117
N veraison		1.8845e+00	3.5113e-02	-0.47789	0.1614	0.4639
K flowering	2002	1.4298e+00	2.2137e-01	-0.28541	0.49886	0.34886
K veraison		1.0571e+00	8.4949e-02	<b>-0.77583</b>	-0.27976	-0.28576
Ca flowering		1.7973e+00	1.5260e-01	0.73505	0.018398	-0.19867
Ca veraison		2.5664e+00	3.3344e-01	<b>0.78073</b>	0.21481	-0.24253
Mg flowering		2.7449e-01	3.1623e-03	0.5881	0.3602	-0.044884
Mg veraison		3.2929e-01	2.6335e-02	<b>0.82661</b>	-0.17976	0.071175
N flowering		2.4643e+00	2.6861e-02	0.30285	0.31783	0.57853
N veraison		1.7616e+00	2.2895e-02	-0.18363	-0.095003	0.62601
K flowering	2003	9.7268e-01	7.2579e-02	-0.25237	0.50505	-0.10322
K veraison		8.6429e-01	5.9439e-02	-0.25045	-0.26588	<b>-0.72679</b>
Ca flowering		1.7041e+00	1.3229e-01	0.58203	0.025865	-0.39082
Ca veraison		2.4571e+00	3.0281e-01	<b>0.78303</b>	0.40703	-0.10019
Mg flowering		1.9305e-01	4.3168e-03	0.64032	0.40891	-0.166
Mg veraison		2.4821e-01	1.2245e-02	0.63116	0.24972	-0.071003
N flowering		2.1358e+00	4.4414e-02	0.35215	0.31561	0.50115
N veraison		1.7278e+00	1.9251e-02	-0.44237	-0.23681	0.3339
date control	date 1 / 2001	3.7146e+04	1.5357e+00	0.45986	-0.77984	0.0091649
berry weight		3.7444e+02	1.8914e+03	-0.69482	0.04539	-0.29401
S/TA		2.3887e+01	1.6911e+01	<b>-0.78465</b>	0.11396	-0.32789
pH		3.0543e+00	1.8739e-02	<b>-0.7908</b>	-0.2303	0.10541
malic ac.		6.2143e+00	1.2783e+00	0.60319	-0.20865	0.24114
tartaric ac.		6.4314e+00	3.1638e-01	0.65818	0.14656	-0.1475
potassium		1.0822e+00	1.0735e-02	-0.62423	-0.072542	-0.22061
total polyphenol		8.3260e+01	2.0626e+02	0.0027187	-0.40547	-0.39282
anthocyanin		1.1877e+03	2.1524e+04	-0.37189	-0.23016	-0.41567

Variables		Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
date control	date 2 / 2001	3.7172e+04	5.9980e+01	0.42075	0.15518	0.35765
berry weight		4.0463e+02	2.2002e+03	-0.55742	-0.1933	-0.47492
S/TA		4.4439e+01	6.8903e+01	-0.25867	0.28154	0.23897
pH		3.2400e+00	7.7000e-03	-0.67125	-0.17921	0.45295
potassium		1.3482e+00	2.5287e-02	-0.45795	-0.1439	-0.087442
total polyphenol		6.3872e+01	1.0763e+02	-0.10358	-0.27794	-0.37441
anthocyanin		1.0949e+03	1.5972e+04	0.24529	-0.69664	-0.068516
date control		date 1 / 2002	3.7405e+04	2.7018e+04	0.70236	0.284
berry weight	3.8566e+02		2.7356e+03	-0.71869	0.2694	-0.0030393
S/TA	2.0863e+01		4.2971e+01	<b>-0.92606</b>	0.16776	-0.17017
pH	2.9900e+00		2.1186e-02	<b>-0.93294</b>	0.053448	-0.0090456
malic ac.	7.5400e+00		5.4276e+00	<b>0.85056</b>	-0.2934	0.14157
tartaric ac.	6.6314e+00		5.0061e-01	0.75152	0.17104	-0.12329
potassium	1.0833e+00		3.0457e-02	-0.59515	-0.23753	0.097203
total polyphenol	9.5870e+01		4.9818e+02	0.228	-0.52591	0.16606
anthocyanin	1.1927e+03	3.3782e+04	-0.53934	0.36637	-0.029059	
date control	date 2 / 2002	3.7480e+04	1.8649e+04	0.43519	0.064302	0.48512
berry weight		3.8817e+02	2.7243e+03	<b>-0.80017</b>	0.10763	-0.061028
S/TA		3.2683e+01	2.0607e+01	-0.18833	0.18642	0.69972
pH		3.2829e+00	1.1735e-02	-0.31805	-0.24749	0.64415
malic ac.		4.7029e+00	7.7433e-01	0.4045	-0.69738	-0.24252
tartaric ac.		6.4000e+00	3.0217e-01	0.0056437	0.15228	-0.31159
potassium		1.0241e+00	8.5179e-02	-0.55996	-0.18524	-0.16945
total polyphenol		9.0680e+01	1.0508e+02	0.31946	-0.60657	-0.31178
anthocyanin	1.4024e+03	2.6849e+04	0.67825	-0.29713	0.074704	
date control	date 1 / 2003	3.7858e+04	9.3469e+00	-0.12173	-0.7314	0.27831
berry weight		2.8924e+02	3.4149e+03	-0.39514	-0.06712	-0.43905
S/TA		3.9791e+01	7.8275e+01	-0.48865	0.41737	0.47039
pH		3.2457e+00	3.2124e-02	-0.36687	0.60798	0.33831
malic ac.		2.4286e+00	2.6250e-01	0.033235	-0.21145	<b>-0.60903</b>
tartaric ac.		6.9029e+00	5.5491e-01	0.51173	-0.26271	-0.027132
potassium		1.3774e+00	4.2263e-02	-0.29619	-0.49278	0.33283
total polyphenol		9.4477e+01	2.4441e+02	0.58908	-0.27862	-0.16143
anthocyanin	9.7335e+02	2.9197e+04	0.20749	-0.42788	0.12953	
date control	date 2 / 2003	3.7875e+04	7.2816e+01	0.056975	-0.76806	-0.083986
berry weight		3.0480e+02	2.6703e+03	-0.39179	-0.18999	-0.50474
S/TA		5.6233e+01	4.8180e+01	-0.31794	-0.40558	0.17378
pH		3.3671e+00	1.9649e-02	-0.6571	0.46946	0.27969
malic ac.		1.6857e+00	3.2214e-01	-0.0038794	0.14112	-0.35228
tartaric ac.		5.8529e+00	2.3318e-01	-0.095978	<b>0.72011</b>	-0.04004
potassium		1.3636e+00	4.0677e-02	-0.058154	-0.46037	-0.24651
total polyphenol		8.3298e+01	1.7840e+02	-0.217	-0.3344	-0.52955
anthocyanin	1.0605e+03	4.7882e+04	-0.094859	<b>-0.59349</b>	0.13851	

**Table 12.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained between the studied variables for the global analyses.

variable 1	variable 2	r	p	variable 1	variable 2	r	p
altitude	lw 01	-0.919	3.5E-06	% sand B	% sand C	0.889	2.1E-05
altitude	lw 02	-0.869	5.5E-05	% clay B	% clay C	0.883	2.9E-05
altitude	lw 03	-0.747	2.1E-03	total CaCO <sub>3</sub> B	total CaCO <sub>3</sub> C	0.964	2.8E-08
altitude	IB 02	0.875	4.2E-05	total CaCO <sub>3</sub> B	C/N C	0.782	9.5E-04
slope	lw 01	-0.791	7.5E-04	total CaCO <sub>3</sub> B	OM C	0.710	4.4E-03
slope	lw 02	-0.762	1.6E-03	active CaCO <sub>3</sub> B	total CaCO <sub>3</sub> C	0.792	7.4E-04
slope	lw 03	-0.750	2.0E-03	active CaCO <sub>3</sub> B	active CaCO <sub>3</sub> C	0.995	1.4E-13
slope	IB 02	0.868	5.7E-05	K BaCl <sub>2</sub> B	K BaCl <sub>2</sub> C	0.893	1.7E-05
density	lw 01	-0.747	3.3E-03	% gravel C	P mehlich C	0.753	1.9E-03
density	IB 02	0.777	1.8E-03	% silt C	% clay C	-0.779	1.0E-03
lq	lw 01	-0.659	1.0E-02	total CaCO <sub>3</sub> C	active CaCO <sub>3</sub> C	0.788	8.1E-04
lq	lw 02	-0.746	2.2E-03	total CaCO <sub>3</sub> C	C/N C	0.708	4.6E-03
lq	lw 03	-0.878	3.7E-05	C/N C	OM C	0.823	3.0E-04
lq	IB 02	0.780	1.0E-03	Ca BaCl <sub>2</sub> B	Ca BaCl <sub>2</sub> C	0.969	1.2E-08
lq	IB 03	0.700	5.3E-03	Mg BaCl <sub>2</sub> B	Mg BaCl <sub>2</sub> C	0.935	9.3E-07
Q	lw 03	-0.830	2.4E-04	CEC B	CEC C	0.968	1.5E-08
Q	IB 02	0.704	5.0E-03	active CaCO <sub>3</sub> C	Ca BaCl <sub>2</sub> C	0.831	2.3E-04
Q	IB 03	0.723	3.5E-03	Ca BaCl <sub>2</sub> C	CEC C	0.822	3.1E-04
lw 01	lw 02	0.978	1.6E-09	Mg BaCl <sub>2</sub> C	CEC C	0.799	6.1E-04
lw 01	lw 03	0.891	1.9E-05	K veraison 01	Ca veraison 01	-0.802	5.6E-04
lw 02	lw 03	0.950	2.0E-07	Ca flowering 01	Ca veraison 01	0.743	2.3E-03
soil manage <sup>t</sup> (row)	OM B	-0.866	6.3E-05	Mg flowering 01	Mg veraison 01	0.746	2.2E-03
soil type	saturation B	0.735	2.8E-03	K veraison 01	K veraison 02	0.904	9.0E-06
rootstock	Ca BaCl <sub>2</sub> C	0.744	2.3E-03	Ca flowering 01	Ca flowering 02	0.726	3.3E-03
reduction spots B	total roots/m <sup>2</sup> B	0.814	3.9E-04	Ca veraison 01	Ca veraison 02	0.936	8.7E-07
oxydation spots B	oxydation spots C	0.938	6.9E-07	Mg veraison 01	Mg veraison 02	0.840	1.7E-04
biological activity B	biological activity C	0.759	1.6E-03	N flowering 01	N flowering 02	0.789	8.0E-04
biological activity C	porosity C	0.702	5.1E-03	N veraison 01	N veraison 02	0.806	5.0E-04
biological activity C	total roots/m <sup>2</sup> C	0.748	2.1E-03	K veraison 02	Ca veraison 02	-0.763	1.5E-03
porosity C	total roots/m <sup>2</sup> C	0.850	1.2E-04	Ca flowering 02	Ca veraison 02	0.910	6.5E-06
oxydation spots C	CEC C	-0.722	3.6E-03	Ca veraison 01	Ca veraison 03	0.731	3.0E-03
porosity C	% gravel C	0.978	1.5E-09	Mg veraison 01	Mg veraison 03	0.825	2.8E-04
porosity C	P mehlich C	0.783	9.4E-04	N flowering 01	N flowering 03	0.642	1.3E-02
total roots/m <sup>2</sup> C	% gravel C	0.845	1.4E-04	N veraison 01	N veraison 03	0.775	1.1E-03
pH H <sub>2</sub> O B	P mehlich B	-0.784	9.0E-04	Ca veraison 02	Ca veraison 03	0.790	7.7E-04
% silt B	% clay B	-0.815	3.9E-04	Mg flowering 02	Mg flowering 03	0.694	5.9E-03
pH H <sub>2</sub> O B	pH H <sub>2</sub> O C	0.961	4.8E-08	Mg veraison 02	Mg veraison 03	0.677	7.9E-03
% gravel B	% gravel C	0.893	1.8E-05	N flowering 02	N flowering 03	0.710	4.5E-03
% silt B	% silt C	0.897	1.4E-05	N veraison 02	N veraison 03	0.774	1.2E-03
% clay B	Ca BaCl <sub>2</sub> B	0.899	1.2E-05	Mg flowering 03	Mg veraison 03	0.916	4.2E-06
% clay B	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.745	2.2E-03	K veraison 01	oxydation spots B	0.757	1.7E-03
% clay B	CEC B	0.867	6.0E-05	K veraison 02	oxydation spots B	0.723	3.5E-03
active CaCO <sub>3</sub> B	Ca BaCl <sub>2</sub> B	0.808	4.7E-04	K veraison 03	biological activity C	-0.722	3.5E-03
Ca BaCl <sub>2</sub> B	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.728	3.2E-03	Mg veraison 02	oxydation spots C	-0.726	3.3E-03
Ca BaCl <sub>2</sub> B	CEC B	0.894	1.7E-05	N veraison 02	biological activity B	0.825	2.9E-04
Mg BaCl <sub>2</sub> B	CEC B	0.876	3.9E-05	N veraison 03	biological activity B	0.750	2.0E-03

variable 1	variable 2	r	p
Ca flowering 02	CEC B	0.715	4.1E-03
Ca flowering 02	CEC C	0.710	4.4E-03
Ca flowering 02	P mehlich B	-0.727	3.2E-03
Ca flowering 03	P mehlich B	-0.798	6.2E-04
Ca flowering 02	pH H <sub>2</sub> O B	0.750	2.0E-03
Ca flowering 03	pH H <sub>2</sub> O B	0.910	6.2E-06
Ca flowering 02	pH H <sub>2</sub> O C	0.770	1.3E-03
Ca flowering 03	pH H <sub>2</sub> O C	0.833	2.2E-04
Ca veraison 03	Ca BaCl <sub>2</sub> B	0.779	1.0E-03
Ca veraison 03	Ca BaCl <sub>2</sub> C	-0.743	2.3E-03
Ca veraison 01	CEC B	0.739	2.5E-03
Ca veraison 02	CEC B	0.798	6.2E-04
Ca veraison 03	CEC B	0.806	5.0E-04
Ca veraison 01	CEC C	-0.699	5.4E-03
Ca veraison 02	CEC C	0.718	3.8E-03
Ca veraison 03	CEC C	0.692	6.1E-03
Ca veraison 03	Mg BaCl <sub>2</sub> B	-0.706	4.7E-03
Ca veraison 03	Mg BaCl <sub>2</sub> C	0.732	2.9E-03
Ca veraison 01	P mehlich B	0.743	2.3E-03
Ca veraison 02	P mehlich B	0.830	2.4E-04
Ca veraison 01	pH H <sub>2</sub> O B	0.839	1.7E-04
Ca veraison 02	pH H <sub>2</sub> O B	0.789	7.9E-04
Ca veraison 03	pH H <sub>2</sub> O B	0.716	4.0E-03
Ca veraison 02	pH H <sub>2</sub> O C	0.733	2.9E-03
K veraison 01	CEC C	-0.764	1.5E-03
K veraison 02	CEC B	-0.713	4.2E-03
K veraison 02	CEC C	-0.831	2.3E-04
K veraison 03	% gravel C	-0.706	4.8E-03
Mg flowering 03	active CaCO <sub>3</sub> B	0.723	3.5E-03
Mg flowering 03	active CaCO <sub>3</sub> C	0.716	4.0E-03
Mg flowering 01	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.719	3.8E-03
Mg flowering 02	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.757	1.7E-03
Mg flowering 03	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.747	2.1E-03
Mg flowering 01	Mg BaCl <sub>2</sub> C	0.705	4.9E-03
Mg veraison 01	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.738	2.6E-03
Mg veraison 02	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.693	6.0E-03
Mg veraison 03	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.818	3.5E-04
Mg veraison 03	Mg BaCl <sub>2</sub> C	0.744	2.3E-03
berry weight 1-2001	berry weight 2-2001	0.824	2.9E-04
berry weight 1-2003	berry weight 2-2003	0.909	6.8E-06
berry weight 1-2001	berry weight 2-2002	0.758	1.7E-03
berry weight 2-2001	berry weight 2-2002	0.766	1.4E-03
berry weight 1-2001	S/TA 1-2001	0.749	2.1E-03
berry weight 1-2001	polyphenols2-2001	-0.730	3.0E-03
berry weight 2-2001	polyphenols2-2001	-0.762	1.5E-03
berry weight 1-2001	anthocyanins 2-2001	0.830	2.4E-04
berry weight 2-2002	anthocyanins 2-2002	-0.798	6.3E-04

variable 1	variable 2	r	p
date control 2-2001	date control 2-2002	0.708	4.7E-03
date control 2-2001	tartaric ac. 2-2001	-0.817	3.6E-04
malic ac. 1-2001	malic ac. 1-2002	0.828	2.5E-04
malic ac. 1-2002	anthocyanins 1-2002	-0.748	2.1E-03
pH 1-2001	pH 1-2002	0.746	2.2E-03
pH 2-2001	pH 2-2002	0.748	2.1E-03
pH 1-2001	potassium 1-2001	0.791	7.5E-04
pH 1-2002	malic ac. 1-2002	-0.907	7.5E-06
pH 1-2002	tartaric ac. 1-2002	-0.679	7.6E-03
potassium 1-2001	potassium 1-2002	0.890	2.0E-05
potassium 2-2002	potassium 2-2003	0.744	2.3E-03
S/TA 1-2001	S/TA 1-2002	0.919	3.4E-06
S/TA 1-2002	pH 1-2002	0.947	2.9E-07
S/TA 2-2001	pH 2-2001	0.700	5.3E-03
S/TA 2-2002	pH 2-2002	0.726	3.3E-03
S/TA 1-2002	tartaric ac. 1-2002	-0.696	5.7E-03
S/TA 1-2003	tartaric ac. 1-2003	-0.721	3.6E-03
S/TA 1-2001	malic ac. 1-2001	-0.859	8.3E-05
S/TA 2-2001	malic ac. 2-2001	0.704	5.0E-03
S/TA 1-2002	malic ac. 1-2002	-0.928	1.7E-06
S/TA 2-2002	malic ac. 2-2002	-0.701	5.3E-03
S/TA 1-2003	malic ac. 1-2003	-0.720	3.7E-03
tartaric ac. 1-2001	tartaric ac. 1-2002	0.946	3.3E-07
berry weight 2-2001	oxydation spots B	0.734	2.8E-03
berry weight 1-2001	oxydation spots C	0.746	2.2E-03
berry weight 2-2001	oxydation spots C	0.776	1.1E-03
berry weight 2-2002	oxydation spots C	0.814	4.0E-04
pH 1-2002	oxydation spots B	0.750	2.0E-03
pH 1-2002	oxydation spots C	0.822	3.1E-04
S/TA 1-2002	oxydation spots C	0.767	1.4E-03
potassium 2-2002	inf. depht C	0.725	3.4E-03
potassium 2-2003	inf. depht C	0.719	3.8E-03
tartaric ac. 2-2003	inf. depht B	-0.728	3.1E-03
polyphenols1-2001	inf. depht B	0.838	1.8E-04
polyphenols2-2001	oxydation spots B	-0.761	1.6E-03
polyphenols2-2001	oxydation spots C	-0.712	4.3E-03
polyphenols2-2003	biological activity C	-0.702	5.2E-03
anthocyanins 2-2002	pH H <sub>2</sub> O B	0.714	4.1E-03
anthocyanins 2-2002	pH H <sub>2</sub> O C	0.701	5.3E-03
malic ac. 1-2001	K BaCl <sub>2</sub> B	0.709	4.5E-03
malic ac. 1-2002	K BaCl <sub>2</sub> B	0.719	3.8E-03
pH 1-2001	Ca BaCl <sub>2</sub> B	-0.709	4.5E-03
pH 1-2001	CEC C	-0.823	3.0E-04
pH 2-2001	CEC B	-0.743	2.3E-03
pH 2-2001	CEC C	-0.699	5.4E-03
pH 1-2002	Mg BaCl <sub>2</sub> B	-0.743	2.3E-03
pH 1-2002	CEC B	-0.827	2.6E-04
pH 1-2002	CEC C	-0.830	2.4E-04



variable 1	variable 2	r	p	variable 1	variable 2	r	p
S/TA 1-2001	CEC C	-0.699	5.4E-03	anthocyanins 2-2001	altitude	-0.729	3.1E-03
S/TA 1-2002	Mg BaCl <sub>2</sub> B	-0.726	3.3E-03	anthocyanins 2-2002	altitude	0.765	1.4E-03
S/TA 1-2002	Mg BaCl <sub>2</sub> C	-0.734	2.8E-03	anthocyanins 2-2001	lw 01	0.756	1.8E-03
S/TA 1-2002	CEC B	-0.737	2.6E-03	berry weight 1-2001	altitude	-0.639	1.4E-02
S/TA 1-2002	CEC C	-0.774	1.2E-03	berry weight 2-2002	altitude	-0.729	3.1E-03
tartaric ac. 1-2001	Mg BaCl <sub>2</sub> C	0.793	7.2E-04	malic ac. 1-2002	altitude	0.855	9.7E-05
tartaric ac. 1-2002	Mg BaCl <sub>2</sub> B	0.743	2.3E-03	malic ac. 1-2002	lw 02	-0.707	4.7E-03
tartaric ac. 1-2002	CEC B	0.707	4.7E-03	malic ac. 2-2002	lq	0.707	4.7E-03
tartaric ac. 2-2001	saturation C	0.725	3.3E-03	malic ac. 2-2003	soil type	0.707	6.9E-03
polyphenols 2-2001	CEC C	0.716	4.0E-03	pH 1-2002	altitude	-0.768	1.4E-03
anthocyanins 1-2002	Mg veraison 02	-0.717	3.9E-03	pH 2-2003	altitude	-0.716	4.0E-03
berry weight 2-2002	Mg veraison 02	-0.764	1.5E-03	pH 1-2003	lq	-0.727	3.2E-03
malic ac. 1-2002	Mg veraison 02	0.800	6.0E-04	pH 1-2003	Q	-0.704	5.0E-03
pH 2-2001	K flowering 01	0.718	3.8E-03	pH 2-2003	IB 03	-0.710	4.4E-03
pH 1-2002	K veraison 02	0.732	2.9E-03	potassium 2-2001	lq	0.785	8.9E-04
pH 1-2003	K flowering 03	0.708	4.6E-03	potassium 2-2001	Q	0.755	1.8E-03
pH 2-2001	Mg flowering 01	-0.731	3.0E-03	S/TA 1-2001	altitude	-0.718	3.9E-03
pH 1-2002	Mg veraison 02	-0.779	1.0E-03	S/TA 1-2002	altitude	-0.847	1.3E-04
pH 2-2001	Ca flowering 01	-0.739	2.5E-03	S/TA 1-2001	soil type	0.693	6.0E-03
pH 2-2001	Ca veraison 01	-0.709	4.5E-03	S/TA 1-2001	lw 01	0.697	5.6E-03
pH 2-2001	Ca veraison 02	-0.707	4.7E-03	tartaric ac. 2-2003	lw 03	0.755	1.8E-03
pH 1-2002	Ca flowering 02	-0.705	4.8E-03	tartaric ac. 2-2003	lq	-0.759	1.7E-03
pH 1-2002	Ca veraison 02	-0.752	1.9E-03	tartaric ac. 2-2003	Q	-0.755	1.8E-03
potassium 1-2002	Mg flowering 02	-0.775	1.1E-03	polyphenols 1-2002	slope	0.704	5.0E-03
potassium 2-2003	N flowering 03	-0.700	5.3E-03	polyphenols 1-2002	density	0.764	2.4E-03
S/TA 1-2002	K veraison 02	0.703	5.0E-03	polyphenols 2-2001	IB 01	0.761	1.6E-03
S/TA 1-2002	Mg veraison 02	-0.836	2.0E-04	polyphenols 2-2002	lq	0.771	1.3E-03
tartaric ac. 1-2002	Mg veraison 02	0.698	5.6E-03	polyphenols 2-2002	Q	0.757	1.7E-03
polyphenols 2-2001	N flowering 01	0.856	9.4E-05				
polyphenols 2-2003	K veraison 03	0.748	2.1E-03				

In our study, PCA allowed us to characterize and categorize the 14 plots and to highlight the connection between the soil, the vine and the berry composition.

With regard to the soil it was possible to differentiate two large groups of plots. The high-carbonated soils were characterized by a generalized effervescence of HCl, a distinct structure, a high percentage of stones and clay, and high level of total and active carbonate. The pH, the conductivity and the CEC of these soils were high and they had high Ca and Mg but low P concentrations. The low-carbonated soils were characterized by a high Munsell value and by numerous spots of oxidation. These soils had high percentage of silt and sand and had high K concentration. Plots A5 and G4 belong to the high-carbonated soils, their soils were little oxidized but were high in clay, Ca and Mg and had a high pH. Plot G3 stood out from the low-carbonated soils as it had more stones.

With regard to climate, there were three different groups of plots. In relation to Gaillac, Fronton and Bruhlois appellations, all of which had a warm and dry climate, that of the Marcillac appellation, situated at a higher altitude, was cooler and more humid, and that of the Madiran appellation, closer to the ocean, was more humid.

Mineral nutrition of vine was dependent on soil type. Absorption of Ca and Mg was higher on high-carbonated soils, whereas that of K was higher on low-carbonated soils. Thus, absorption of cations was conditioned by the chemical composition of the soils. Absorption of an element depends on its concentration in the soil (Bentchikou 1987) but other elements can disturb its absorption (antagonism). Besides, an experiment on Fer Servadou grown hydroponically (Cadet *et al.* 2003) allowed us to show that this variety presented a stronger K-Ca and K-Mg antagonisms than the Cabernet sauvignon variety. Also, K absorption by the plant was more important when soils were high in silt and had a low CEC. Similar results were obtained by Faraj *et al.* (1998) on Moroccan vineyards and Garcia *et al.* (2002) showed that, in the A.O.C. Côtes du Frontonnais, where climate and topography are similar throughout the entire appellation, the different terroirs are characterized by the granulometric composition of their soil. Even if the CEC and the cations concentration of soil (link to the granulometric composition) had a major role, the climate affected the mineral nutrition of plant. This study showed that high temperatures increased Ca absorption but decreased those of N and K. These results concur with those obtained on limestone soil by Garcia *et al.* (1984) which showed that where the climate was hotter and dryer (weak Ib), the nitrogen content in the laminae decreased and the calcium content increased. However, these results differed from those obtained by Stevens and Prior (1994) who observed that where Sultana suffered waterlogged stress, there was an increase in Mg concentration and a decrease of those in N and Ca.

Maturation and berry composition depend at the same time on soil and climate. We showed that, on high-carbonated soils, ripening came later and berries were smaller and had higher acidity (high tartaric acid and low pH). These results are identical to those obtained by Bavaresco and Poni (2003). In this study we had not been able to bring into evidence the relationship between anthocyanin and polyphenol concentrations of the grapes and the soil. In fact, climate seems to play a most important role on berry ripening and composition: wherever the sum of the efficient temperatures was higher, the ripening was earlier and berries had higher pH but lower malic acid and anthocyanin concentrations. Also, in 2003, a particularly hot and dry year, the polyphenol concentrations were higher than in 2001 and

2002. These results concurred with those obtained by Morlat *et al.* (1992) which showed that severe waterlogged stress gives rise to a reduction in the accumulation of sugars and anthocyanin in the berries, a more important degradation of malic acid and an increase of the synthesis in the polyphenol.

## CONCLUSIONS

PCA allowed determination of the viticultural potential of different terroirs in the Midi-Pyrénées. The soil type, high or low-carbonated, and the climate, which strongly influenced the mineral nutrition of the vine and the œnological potential of the grapes, differentiated the terroirs.

On high-carbonated soils, absorption of calcium and magnesium by the plant was more important and grape maturation came later, the berries had a lower pH and higher tartaric acid. On low-carbonated soils, the plant's potassium absorption is higher and grape maturation came sooner, the berries were larger, they had a higher pH and malic acid. Where the terroirs were the hottest and driest, the accumulation of sugars and polyphenol and the degradation of malic acid were higher and the anthocyanin concentration was lower. Chemical analyses of the musts and wines and sensorial analysis of the wines need to be conducted to further support this work.

# Viticultural and enological potential of different terroirs II. Must and wine quality

*Alexandra Cadet<sup>1\*</sup>, Jean-Luc Favarel<sup>2</sup> and Marc Garcia<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Centre d'Oenologie Midi Pyrénées, av. de l'agrobiopôle, 31326 Castanet-Tolosan

<sup>2</sup> Institut Technique de la Vigne et du Vin de Midi-Pyrénées

\* cadet@ensat.fr

## ACKNOWLEDGEMENTS

Station Régionale Midi-Pyrénées for financial support and US Valpedo unit for technical support

## ABSTRACT

An agronomic and enological study was carried out on plots of Fer Servadou representing the terroirs of five different appellations of South West France where the variety is widespread. A Principal Components Analysis, carried out on the total data obtained in the course of 3 years of study, allowed us to show that Fer Servadou wines are principally characterized by their acidity and color. These same components give opposing results in tasting, depending on their vintage. We have however been able to show that soil, mineral nutrition of the vine and climate determine the enological potential. Acidity and color of the wines were affected by the CEC of the soil, its Mg, K and P concentration, together with the percentage of sand. In relation with the soil, mineral alimentation of the vine in K, Ca, Mg and N played an important part on the wines' acidity and the Mg nutrition also affected their color and aromatic intensity. Nevertheless, climate played a major role and results showed that wines from the coldest terroirs were more acid with higher anthocyanin and methoxy-pyrazines concentration and complexity in tastings than those from the hottest terroirs..

Key words : terroir, mineral nutrition, wine quality, Fer servadou

## INTRODUCTION

The South West of France is made up of a mosaic of small vineyards planted on very varied terroirs. The implantation of Fer Servadou (syn. Brauocol) in this region is significant and growing constantly. This variety gives well-colored, tannic and lively wines, whose fruity aromas recall those of Cabernet Sauvignon (Lavignac 2001). Besides, these two varieties, from the same cultivars family (Carmenets), often develop herbaceous aromas such as green pepper correlated with strong 2-methoxy-3-isobutyl-pyrazine (IBMP) concentration (Bayonove et al. 1975 ; Schneider et al. 2003). Therefore it is most important for the winemakers in the region to gain more knowledge and master the characteristics of Fer Servadou. With this aim, we carried out an agronomic and enological study on a series of plots of Fer Servadou typical of the terroirs of five appellations in South West France where this variety is well represented.

Principal components analysis (PCA) carried out on the agronomic data acquired during three years of study (soil and root development profile, physical and chemical analyses of the described horizons, leaf analyses at flowering and at veraison and berry composition during the ripening state) have allowed us to differentiate four groups of terroirs depending on soil type and climate (Cadet et al. 2005). These two factors determined the viticultural potential of these terroirs. On oxidized soil with low carbonate, rich in silt and sand, with a low CEC, the K leaf concentration was high, the grapes had large berries, high pH and S/TA yet low tartaric acid concentration. On soil that had high carbonate and was rich in clay, Ca and Mg, with a high CEC and pH, Ca and Mg leaf concentration were high, the grapes had high tartaric and malic acid concentration yet low K concentration and S/TA. Also, the higher temperatures advanced maturity of the grapes, and increased their pH yet decreased their anthocyanins and malic acid concentration. Furthermore, grapes from the dry and hot vintage 2003 had higher concentration of polyphenols.

In conjunction with our previous study, the aim of this study was to determine the enological potential of this network of plots of Fer Servadou. In order to achieve this, each year (2001, 2002 and 2003) 50 kg of grapes from each plot were harvested and vinified in exactly the same way. Results of the chemical analyses of the grapes, the must and the wines as well as those of the tasting were analyzed by PCA.

## MATERIALS AND METHODS

**Field experiment:** A preliminary study permitted us to choose 14 plots representative of the differing terroirs of the 5 appellations where the Fer variety is significantly present: Marcillac (A1, A2, A3, A4, A5), Madiran (M1, M2, M3), Gaillac (G1, G2, G3 G4), Coteaux du Bruhlois (B1) and Fronton (F1). The vines from all the plots selected were over 10 years old. The follow-up and the different samples were carried out on one reference row of vine (100 vines). All the vineyard work was left up to the owner of each plot.

**Berry composition:** 200 berries were taken at random from both sides of the rows under study (harvest time, stage V). The weight of the 200 berries was determined, then they were crushed and the juice was centrifuged and filtered. The following analyses were made: total soluble solids (refractometry), pH, titratable acidity (TA) (titration with NaOH 0.1 N and bromothymol blue indicator), potassium (emission spectrophotometer), total polyphenol (IPT) (absorbance at 280 nm), total anthocyanin (absorbance at 520 nm after bleach with bisulfite). The extraction of the polyphenol and the anthocyanin was as follows : crushing of the 200 berries by blender (2 min, speed 1) then maceration (2 hours with stirring every 15 minutes) of 50 g of the crush in 100 ml of HCl-ethanol mixture(85% HCl 0,1% , 15 % ethanol 95-96 %).

**Wine making :** 50 kg of grapes were harvested from the row under study in each plot. After destemming and crushing, 5 g/hl of SO<sub>2</sub> were added and musts were stored in stainless steel tanks at 28° C. After about 24 h the musts were inoculated with 10 g of *Saccharomyces cerevisiae*. The cap was punched down and pumped over daily by hand until the end of the alcoholic fermentation. When the sugar ratio was less than 2 g/l, the wine was racked off, then pressed. Ten percent of the pressed wine was added to the free-run wine and it was all transferred to a glass container. The malo-lactic fermentation took place at 22° C without inoculation. The wine was bottled after cold stabilization.

**Musts and wines analysis :** Musts and wines samples were taken after crushing and destemming (stage D), after the alcoholic (stage A) and malo-lactic (stage L) fermentation and after bottling (stage B). The following analyses were made : total soluble solids (refractometry), degree (infra-red method: IRTF), pH, titratable acidity (TA) (titration with NaOH 0.1 N and bromothymol blue indicator), malic acid (OIV method MA-F-AS313-11-ALMENZ: enzymatic oxidation and measurement of NADH by absorbance at 340 nm), tartaric acid (OIV method MA-F-AS313-05-ACITAR: colorimetric titration at 530 nm in

the presence of vanadic acid), potassium (emission spectrophotometer), total polyphenol (IPT) (absorbance at 280 nm), total anthocyanin (absorbance at 520 nm after bleach with bisulfite), absorbance at 420, 520 and 620 nm, and 2-methoxy-3-isobutyl-pyrazine (IBMP) by HS-SPEM-GC-MS (Schneider et al., 2003). The hue (DO 420 / DO 520) and the color intensity (DO 420 + DO 520) were determined.

**Sensory evaluation :** The wines were tasted during the months of March and April following the wine-making. The panel was made up of 12 trained wine tasters.

The following 12 parameters were marked on a scale of 0 to 10 : Aromatic intensity on the nose, olfactory complexity, fruity notes on the nose, yeasty notes on the nose, vegetal notes on the nose, aromatic intensity in the mouth, aromatic complexity in the mouth, fruit flavors in the palate, vegetal notes on the palate, amount of tannins, mouth finish, overall marks.

**Principal Components Analysis:** PCA was conducted by centering and reduction of the variables (normalized PCA; Carrel et al. 1986) with the help of ADE-4 software developed by the University of Lyon I. To go beyond the results obtained PC by PC, we carried out an ascending hierarchical classification (Ward's Method).

## RESULTS

**Characteristics of the musts and wines of 2001 :** PCA was carried out on 35 variables, whose mean and variance are presented on the Table 1. Table 2 gives the most important correlation between the studied factors. We retained four PCs for the PCA, which permitted us to account for 80.8 % of the variability on the data set. Table 1 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 1 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2, PC 1 and 3 and PC 1 and 4. The ascending hierarchical classification allowed us to identify 6 categories, which give a good summary of the information.

Plots M1 and M2 gave grapes and musts with high SS, the wines had low acidity (high pH), high alcohol, polyphenol and anthocyanin concentration and were tannic on the palate.

Plot G3 gave must with high K concentration and low acidity (high pH and low AT) and wine with a high hue, a long finish and showed fruity and yeasty aromas.

Grapes of plots F1 and B1 had large berry, musts had high K concentration and wines had low acidity and high hue. Wines from plot F1 had more color and higher anthocyanin concentration than those from plot B1.

Plots G4, A4 and A5 grapes, musts and wines had high acidity (high AT), the musts were high in K and the wines had high hue. Wine of plot A5 had higher complexity and received better marks in tasting than wines from plots G4 and A4.

Wines of plots A1 to A3 showed high vegetal and yeasty aromas and high complexity, they received good marks in tasting. The grapes, musts and wines of plot A2 had lower acidity than the others.

Wines of plots G1 and G2 were colored and showed vegetal and yeasty aromas. Wine of plot G1 had higher acidity and lower polyphenol concentration.

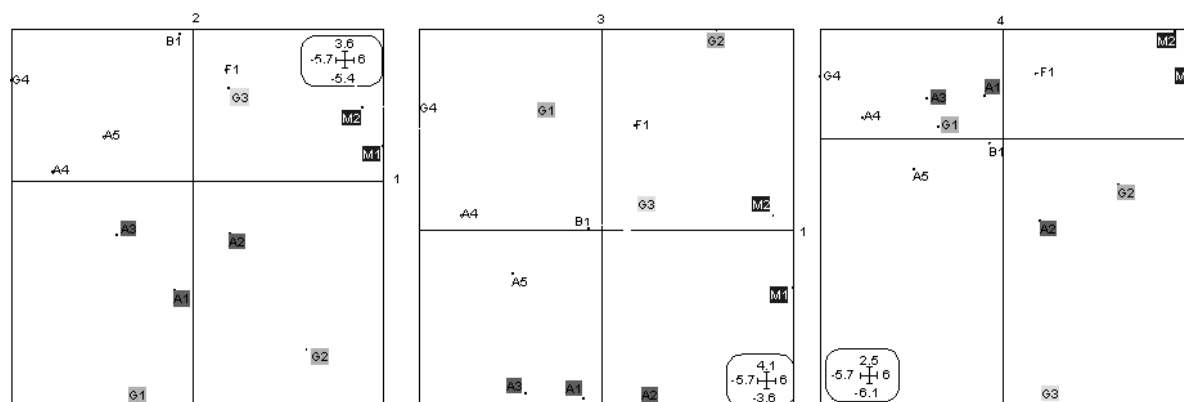
**Table 1.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) obtained for the musts and wines of 2001.

Variables	Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3	coord. PC 4
Date V	37174.00	5.82E+00	0.2222	-0.6042	-0.2405	-0.4685
berry weight V	403.48	2.35E+03	0.3721	0.3704	0.0658	<b>0.5534</b>
SS V	200.85	1.45E+02	<b>0.8428</b>	-0.0705	0.1628	0.1335
TA V	4.44	2.92E-01	<b>-0.5875</b>	-0.1183	-0.3316	<b>0.5030</b>
pH V	3.25	7.13E-03	0.6762	0.4475	0.0907	-0.3550
K+ V	1.38	1.89E-02	0.6049	<b>0.5809</b>	0.1566	0.2264
polyphenol V	62.34	8.03E+01	0.6219	-0.5434	-0.4566	-0.0113
anthocyanin V	1015.60	2.76E+04	0.4034	-0.5106	-0.6061	0.0457
SS D	195.27	2.48E+02	<b>0.8278</b>	-0.0999	0.4305	0.0286
TA D	4.90	4.53E-01	<b>-0.7751</b>	-0.1621	-0.3996	0.1845
pH D	3.28	1.42E-02	0.3413	-0.0163	<b>0.4836</b>	<b>-0.7526</b>
K+ D	1.35	2.25E-02	0.2259	<b>0.7262</b>	0.2561	-0.0604
TA L	3.55	8.86E-02	<b>-0.6088</b>	-0.6159	-0.1358	0.3600
pH L	3.74	1.87E-02	<b>0.7757</b>	0.4702	0.2889	-0.1618
degree L	12.48	4.23E-01	<b>0.8267</b>	-0.2629	0.2616	0.0634
polyphenol L	51.92	1.40E+02	<b>0.8611</b>	-0.2063	0.1028	0.4119
anthocyanin L	867.04	6.11E+04	0.6451	0.0017	-0.2160	<b>0.6553</b>
IC L	9.27	1.10E+01	0.6001	-0.6254	0.4263	0.1801
N L	0.59	5.41E-03	0.1812	<b>0.6851</b>	0.0990	<b>-0.6673</b>
DO 420 L	0.30	9.57E-03	0.6758	-0.5367	<b>0.4490</b>	0.0966
DO 520 L	0.52	3.72E-02	0.5225	<b>-0.7004</b>	0.3938	0.2254
DO 620 L	0.11	2.00E-03	0.7183	-0.4422	<b>0.4800</b>	0.1515
IBMP	9.67	1.59E+02	-0.4147	-0.1355	-0.3225	-0.2119
intensity N	5.56	5.86E-01	0.6637	-0.0355	-0.6218	-0.1922
complexity N	4.61	6.85E-01	0.4346	0.1933	<b>-0.8433</b>	0.1658
fruit N	4.73	6.42E-01	0.1616	-0.2822	-0.3015	<b>-0.5893</b>
yeast N	3.08	1.17E+00	-0.3415	<b>-0.7184</b>	0.1661	<b>-0.5079</b>
vegetal N	4.13	1.33E+00	-0.2969	<b>-0.6734</b>	0.1974	-0.3930
intensity M	5.22	4.79E-01	0.3541	-0.4568	-0.5580	0.0712
complexity M	4.35	5.45E-01	0.5661	0.0891	<b>-0.6980</b>	-0.3321
fruit M	4.27	3.85E-01	0.2524	0.4020	-0.3808	-0.3452
vegetal M	4.49	1.31E+00	-0.1855	<b>-0.8348</b>	0.0730	-0.2549
tannins M	4.87	6.43E-01	<b>0.8378</b>	0.0185	-0.4312	0.0851
finish M	5.18	1.21E+00	0.6371	-0.1057	-0.2482	<b>-0.5256</b>
marks	5.03	4.84E-01	0.5748	0.0299	<b>-0.6757</b>	0.0648



**Table 2.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained for the musts and wines of 2001.

variable 2	variable 1	r	p	variable 1	variable 2	r	p
berry weight V	yeast N	-0.672	1.2E-02	K+ D	vegetal N	-0.626	2.2E-02
berry weight V	fruit N	-0.710	6.6E-03	K+ V	yeast N	-0.725	5.1E-03
SS V	SS D	0.911	1.5E-05	polyphenol L	polyphenol V	0.603	2.9E-02
SS V	degree L	0.776	1.8E-03	polyphenol V	Date V	0.630	2.1E-02
SS D	degree L	0.852	2.2E-04	polyphenol V	anthocyanin V	0.849	2.4E-04
SS V	pH L	0.673	1.2E-02	polyphenol L	anthocyanin L	0.811	7.8E-04
SS D	pH L	0.711	6.4E-03	polyphenol L	IC L	0.766	2.3E-03
SS D	IC L	0.709	6.6E-03	polyphenol L	DO 420 L	0.783	1.6E-03
degree L	IC L	0.784	1.5E-03	polyphenol L	DO 520 L	0.727	4.9E-03
SS V	DO 420 L	0.624	2.3E-02	polyphenol L	DO 620 L	0.828	4.8E-04
SS D	DO 420 L	0.772	2.0E-03	polyphenol L	tannins M	0.720	5.5E-03
degree L	DO 420 L	0.834	3.9E-04	polyphenol V	intensity N	0.650	1.6E-02
SS D	DO 520 L	0.639	1.9E-02	polyphenol V	intensity M	0.603	2.9E-02
degree L	DO 520 L	0.727	4.9E-03	polyphenol V	complexity M	0.666	1.3E-02
SS V	DO 620 L	0.676	1.1E-02	polyphenol V	tannins M	0.778	1.8E-03
SS D	DO 620 L	0.817	6.5E-04	anthocyanin V	Date V	0.656	1.5E-02
degree L	DO 620 L	0.856	1.9E-04	anthocyanin V	intensity M	0.622	2.3E-02
SS V	polyphenol L	0.779	1.7E-03	anthocyanin V	intensity N	0.687	9.4E-03
SS D	polyphenol L	0.789	1.3E-03	anthocyanin L	complexity N	0.601	3.0E-02
degree L	polyphenol L	0.836	3.8E-04	anthocyanin L	tannins M	0.631	2.1E-02
SS V	tannins M	0.693	8.6E-03	IC L	DO 420 L	0.989	2.7E-11
degree L	tannins M	0.618	2.5E-02	IC L	DO 520 L	0.992	2.1E-08
TA V	TA D	0.832	4.1E-04	IC L	DO 620 L	0.974	2.5E-01
TA V	TA L	0.655	1.5E-02	DO 420 L	DO 520 L	0.962	1.5E-07
TA D	TA L	0.625	2.2E-02	DO 420 L	DO 620 L	0.992	3.3E-11
TA D	SS V	-0.729	4.7E-03	DO 520 L	DO 620 L	0.939	2.0E-06
TA D	SS D	-0.816	6.7E-04	intensity N	complexity N	0.781	1.6E-03
TA V	pH V	-0.735	4.2E-03	intensity N	intensity M	0.609	2.7E-02
TA V	pH D	-0.682	1.0E-02	intensity N	complexity M	0.840	3.2E-04
TA V	pH L	-0.623	2.3E-02	intensity N	tannins M	0.710	6.5E-03
TA L	pH L	-0.862	1.5E-04	intensity N	marks	0.816	6.7E-04
TA D	K+ V	-0.632	2.0E-02	intensity M	marks	0.802	9.9E-04
TA L	K+ V	-0.664	1.3E-02	complexity N	complexity M	0.833	4.1E-04
TA L	K+ D	-0.615	2.5E-02	complexity N	tannins M	0.758	2.7E-03
TA L	N L	-0.747	3.3E-03	complexity M	tannins M	0.792	1.3E-03
pH V	pH L	0.850	2.4E-04	complexity M	finish M	0.710	6.5E-03
pH V	N L	0.619	2.4E-02	complexity N	marks	0.821	5.9E-04
pH L	N L	0.621	2.4E-02	complexity M	marks	0.721	5.5E-03
pH D	finish M	0.618	2.4E-02	yeast N	vegetal N	0.812	7.4E-04
pH L	K+ V	0.672	1.2E-02	yeast N	vegetal M	0.849	2.4E-04
pH L	K+ D	0.606	2.8E-02	vegetal N	vegetal M	0.873	9.9E-05
K+ V	K+ D	0.665	1.3E-02	tannins M	finish M	0.644	1.8E-02
K+ D	N L	0.620	2.4E-02	tannins M	marks	0.751	3.1E-03
K+ D	vegetal M	-0.643	1.8E-02				



**Figure 1. Characteristics of the musts and wines of 2001:** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2, 1 and 3 and 1 and 4. : **PC 1** (33 % of the variance): negative values were grapes, musts and wines TA ; positive values were grapes and musts SS, wines polyphenol concentration, degree and pH, tannins in the mouth. **PC 2** (19.8 % of the variance): negative values were vegetal nose and mouth and yeasty nose ; positive values were grapes and musts K concentration and wines hue. **PC 3** (15.6 % of the variance): negative values were aromatic complexity on the nose and in the mouth and overall balance ; positive values were wines DO 420 and 620 and musts pH. **PC 4** (12.5 % of the variance): negative values were musts pH, wines hue; fruity an yeasty notes on the nose and length in the mouth ; positive values were berry weight, grapes TA and anthocyanin concentration.

**Characteristics of the musts and wines of 2002 :** PCA was carried out on 58 variables, whose mean and variance are presented on the Table 3. Table 4 gives the most important correlation between the studied factors. We retained three PCs for the PCA, which permitted us to account for 66.2 % of the variability on the data set. Table 3 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 2 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2 and PC 1 and 3. The ascending hierarchical classification allowed us to identify 4 categories, which give a good summary of the information.

Grapes of plots G4, G3, M2 and F1 had large berries and wines had low acidity and high hue. Wines of plot G4 had higher acidity and lower K concentration than the others.

Wines of plots M1, G2 and A5 had low acidity and high K and alcohol concentration. Wine of plot M1 had higher pH and potassium and alcohol concentration than plot A5.

Wines of plots G1, A4 and A2 had high color intensity and IBMP concentration and they showed vegetal aromas. Wines of plot A2 higher color intensity and lower IBMP concentration.

Plots A1 and A3 gave acid and colored wines, showed fruity aromas.

**Table 3.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) obtained for the musts and wines of 2002.

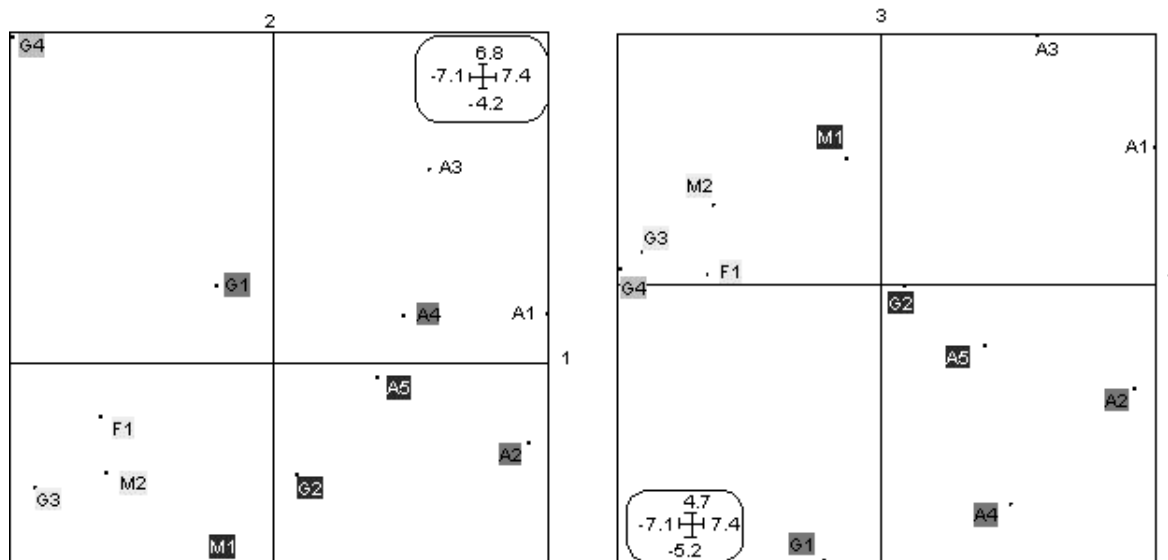
Variables	Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
Date V	37534.00	2.12E+01	0.5845	-0.0493	0.2080
berry weight V	383.27	3.01E+03	<b>-0.8046</b>	-0.1941	-0.0521
SS V	196.63	6.70E+01	0.6314	-0.4381	-0.3080
TA V	6.07	3.53E-01	0.4040	<b>0.5356</b>	0.2020
pH V	3.27	8.72E-03	-0.0286	-0.5122	0.1530
malic ac. V	4.78	6.26E-01	0.6340	0.4051	0.2047
tartaric ac. V	6.60	2.11E-01	-0.4724	0.3809	-0.0222
K+ V	1.03	1.36E-01	-0.3441	-0.4791	0.2206
polyphenol V	64.29	7.49E+01	0.7536	-0.0508	0.5053
anthocyanin V	850.43	1.86E+04	0.8093	0.1475	0.2849
TA A	6.13	5.92E-01	0.7601	<b>0.5558</b>	-0.0444
pH A	3.47	3.12E-02	<b>-0.8143</b>	-0.2958	-0.0666
malic ac. A	4.04	4.87E-01	-0.0124	-0.1174	0.4408
tartaric ac. A	1.93	2.03E-01	-0.5333	0.3295	-0.1635
polyphenol A	68.18	1.45E+02	0.1990	-0.5646	0.0887
anthocyanin A	1235.50	4.08E+04	0.7450	-0.1882	-0.3298
IC A	26.64	3.18E+01	<b>0.9563</b>	-0.1246	-0.0706
N A	0.38	4.12E-03	-0.6798	-0.4487	0.2123
DO 420 A	0.66	1.10E-02	0.8880	-0.3646	0.0221
DO 520 A	1.77	1.96E-01	<b>0.9628</b>	-0.0054	-0.1085
DO 620 A	0.23	1.44E-03	0.5202	<b>-0.7797</b>	0.1567
TA L	4.03	1.84E-01	0.6686	<b>0.7097</b>	-0.1171
pH L	3.61	3.01E-02	-0.6886	<b>-0.6665</b>	0.2198
tartaric ac. L	2.15	9.12E-02	0.7067	-0.0782	-0.0522
degree L	11.76	1.59E-01	0.3170	<b>-0.6287</b>	<b>-0.4537</b>
polyphenol L	59.24	4.21E+01	0.5073	-0.5611	0.2408
anthocyanin L	953.90	2.90E+04	0.8300	-0.3638	-0.0779
IC L	12.39	8.96E+00	0.7802	-0.1885	<b>-0.4574</b>
N L	0.50	5.30E-03	<b>-0.8162</b>	-0.3031	0.4257
DO 420 L	0.36	3.97E-03	0.7090	-0.3950	-0.4023
DO 520 L	0.75	4.94E-02	0.8094	-0.0691	<b>-0.4651</b>
DO 620 L	0.13	5.41E-04	0.3879	<b>-0.6957</b>	-0.3541
TA B	3.79	1.35E-01	0.6537	<b>0.6005</b>	0.0104
pH B	3.69	2.70E-02	-0.6660	<b>-0.6670</b>	0.2403
tartaric ac. B	1.19	1.84E-02	-0.2839	0.2619	0.2919
K+ B	1.09	4.55E-02	-0.6171	<b>-0.6297</b>	0.3424
polyphenol B	54.08	4.14E+01	0.3465	-0.5354	0.4971
anthocyanin B	565.54	16881	0.5994	-0.2474	0.4168
IC B	16.38	11.052	<b>0.9463</b>	-0.0655	0.1992
N B	0.55	0.0033361	<b>-0.8495</b>	-0.4183	0.0097
DO 420 B	0.50	0.0064336	<b>0.9030</b>	-0.2123	0.2472
DO 520 B	0.93	0.05192	<b>0.9573</b>	0.0379	0.1711
DO 620 B	0.20	0.0010057	0.7578	-0.4218	0.2339
IBMP	29.33	137.06	0.6343	0.0108	<b>-0.5719</b>
intensiv N	4.81	0.57446	0.1419	0.0227	0.4104
complexity N	4.45	0.5609	0.5237	-0.1009	0.3411
fruit N	4.86	0.62944	0.1995	0.0563	<b>0.7853</b>
yeast N	5.07	0.52041	0.5983	0.2740	0.3348
vegetal N	6.25	0.83261	0.5605	-0.3721	<b>-0.4801</b>
intensity M	5.11	0.76262	0.5684	0.0858	0.0672
complexity M	4.99	1.1699	0.5960	-0.0997	0.5654
fruit M	4.72	0.77606	0.2703	0.0926	<b>0.9193</b>
vegetal M	6.08	0.42527	0.2195	-0.3190	<b>-0.5019</b>
tannins M	4.56	0.9747	0.2352	-0.2058	0.5849
finish M	5.01	0.82991	0.5176	0.2244	0.5291
marks	4.63	1.0259	0.1549	0.2125	0.3959

**Table 4.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained for the musts and wines of 2002.

variable 1	variable 2	r	p	variable 1	variable 2	r	p
berry weight V	TA L	-0.696	1.2E-02	TA A	N A	-0.761	4.0E-03
berry weight V	TA B	-0.662	1.9E-02	TA L	N L	-0.821	1.1E-03
berry weight V	pH L	0.700	1.1E-02	TA B	N B	-0.890	1.0E-04
berry weight V	pH B	0.659	2.0E-02	TA A	anthocyanin V	0.600	3.9E-02
berry weight V	K+ B	0.622	3.1E-02	TA L	anthocyanin V	0.620	3.1E-02
berry weight V	DO 420 A	-0.681	1.5E-02	TA B	anthocyanin V	0.721	8.2E-03
berry weight V	DO 420 L	-0.605	3.7E-02	TA A	IBMP	0.613	3.4E-02
berry weight V	DO 420 B	-0.694	1.2E-02	TA V	finish M	0.697	1.2E-02
berry weight V	DO 520 A	-0.773	3.2E-03	pH A	pH L	0.698	1.2E-02
berry weight V	DO 520 L	-0.694	1.2E-02	pH A	pH B	0.664	1.9E-02
berry weight V	DO 520 B	-0.760	4.1E-03	pH L	pH B	0.990	6.4E-10
berry weight V	IC A	-0.750	4.9E-03	pH A	Date V	-0.798	1.9E-03
berry weight V	IC L	-0.669	1.7E-02	pH A	malic ac. V	-0.828	8.7E-04
berry weight V	IC B	-0.743	5.6E-03	pH L	K+ V	0.645	2.4E-02
berry weight V	N L	0.742	5.7E-03	pH B	K+ B	0.943	4.2E-06
berry weight V	N B	0.705	1.0E-02	pH A	DO 420 A	-0.604	3.8E-02
berry weight V	polyphenol V	-0.693	1.2E-02	pH A	DO 520 A	-0.723	7.9E-03
berry weight V	anthocyanin V	-0.894	8.8E-05	pH L	DO 520 L	-0.601	3.9E-02
berry weight V	anthocyanin A	-0.612	3.4E-02	pH B	DO 520 B	-0.620	3.1E-02
berry weight V	yeast N	-0.713	9.2E-03	pH A	IC A	-0.694	1.2E-02
berry weight V	intensity M	-0.678	1.5E-02	pH A	IC B	-0.793	2.1E-03
SS V	degree L	0.736	6.4E-03	pH A	N L	0.713	9.2E-03
SS V	DO 420 A	0.664	1.9E-02	pH A	N B	0.778	2.9E-03
SS V	DO 420 L	0.649	2.3E-02	pH L	N L	0.837	6.9E-04
SS V	DO 420 B	0.617	3.3E-02	pH B	N B	0.898	7.3E-05
SS V	DO 520 A	0.618	3.2E-02	pH A	anthocyanin V	-0.627	2.9E-02
SS V	DO 620 B	0.610	3.5E-02	pH L	anthocyanin V	-0.624	3.0E-02
SS V	IC A	0.648	2.3E-02	pH B	anthocyanin V	-0.601	3.9E-02
SS V	IC L	0.619	3.2E-02	pH B	IBMP	-0.611	3.5E-02
SS V	anthocyanin L	0.645	2.3E-02	pH A	complexity M	-0.657	2.0E-02
SS V	IBMP	0.664	1.9E-02	K+ V	K+ B	0.628	2.9E-02
SS V	vegetal N	0.656	2.1E-02	K+ B	N B	0.794	2.1E-03
TA V	TA A	0.669	1.7E-02	K+ B	N L	0.848	4.9E-04
TA V	TA L	0.643	2.4E-02	tartaric ac. V	tartaric ac. A	0.729	7.2E-03
TA A	TA L	0.892	9.8E-05	tartaric ac. V	DO 420 B	-0.614	3.4E-02
TA A	TA B	0.834	7.5E-04	tartaric ac. V	DO 620 B	-0.752	4.8E-03
TA L	TA B	0.844	5.6E-04	tartaric ac. L	N B	-0.716	8.8E-03
TA A	Date V	0.627	2.9E-02	tartaric ac. L	polyphenol L	0.775	3.1E-03
TA A	pH A	-0.909	4.1E-05	tartaric ac. L	polyphenol B	0.605	3.7E-02
TA L	pH L	-0.958	1.0E-06	tartaric ac. L	anthocyanin L	0.739	6.1E-03
TA B	pH B	-0.862	3.1E-04	tartaric ac. L	anthocyanin B	0.660	2.0E-02
TA V	malic ac. V	0.768	3.5E-03	tartaric ac. L	IBMP	0.634	2.7E-02
TA A	malic ac. V	0.831	8.2E-04	tartaric ac. V	complexity N	-0.738	6.2E-03
TA L	malic ac. V	0.675	1.6E-02	malic ac. V	Date V	0.636	2.6E-02
TA A	K+ B	-0.798	1.9E-03	malic ac. A	Date V	0.602	3.8E-02
TA L	K+ B	-0.884	1.4E-04	malic ac. V	DO 420 B	0.625	3.0E-02
TA B	K+ B	-0.734	6.6E-03	malic ac. V	DO 520 B	0.719	8.5E-03
TA A	DO 520 A	0.720	8.3E-03	malic ac. V	IC B	0.690	1.3E-02
TA A	DO 520 B	0.736	6.4E-03	malic ac. V	N B	-0.667	1.8E-02
TA A	IC A	0.650	2.2E-02	malic ac. V	finish M	0.637	2.6E-02

variable 1	variable 2	r	p
polyphenol L	polyphenol B	0.917	2.7E-05
polyphenol V	anthocyanin V	0.773	3.2E-03
polyphenol L	anthocyanin L	0.696	1.2E-02
polyphenol B	anthocyanin B	0.796	2.0E-03
polyphenol V	DO 420 A	0.621	3.1E-02
polyphenol V	DO 420 B	0.774	3.1E-03
polyphenol V	DO 520 A	0.619	3.2E-02
polyphenol V	DO 520 B	0.743	5.7E-03
polyphenol V	DO 620 B	0.742	5.7E-03
polyphenol V	IC A	0.631	2.8E-02
polyphenol V	IC B	0.766	3.6E-03
polyphenol V	intensity M	0.657	2.0E-02
polyphenol V	complexity M	0.708	9.9E-03
polyphenol V	fruit M	0.673	1.7E-02
polyphenol V	yeast N	0.625	3.0E-02
polyphenol V	tannins M	0.686	1.4E-02
polyphenol V	finish M	0.790	2.2E-03
anthocyanin V	anthocyanin L	0.665	1.8E-02
anthocyanin L	anthocyanin B	0.723	7.9E-03
anthocyanin V	DO 420 A	0.718	8.6E-03
anthocyanin V	DO 420 B	0.723	7.9E-03
anthocyanin L	DO 420 L	0.673	1.6E-02
anthocyanin B	DO 420 B	0.717	8.6E-03
anthocyanin V	DO 520 A	0.790	2.2E-03
anthocyanin V	DO 520 B	0.802	1.7E-03
anthocyanin L	DO 520 L	0.679	1.5E-02
anthocyanin B	DO 520 B	0.707	1.0E-02
anthocyanin V	IC A	0.779	2.8E-03
anthocyanin V	IC B	0.777	2.9E-03
anthocyanin L	IC L	0.683	1.4E-02
anthocyanin B	IC B	0.710	9.7E-03
anthocyanin V	N L	-0.611	3.5E-02
anthocyanin V	N B	-0.769	3.5E-03
anthocyanin L	N B	-0.648	2.3E-02
anthocyanin L	IBMP	0.605	3.7E-02
anthocyanin V	yeast N	0.637	2.6E-02
anthocyanin L	vegetal N	0.625	3.0E-02
anthocyanin V	complexity M	0.722	8.1E-03
anthocyanin V	complexity N	0.623	3.0E-02
IC L	IC B	0.642	2.5E-02
IC L	N L	-0.843	5.7E-04
IC B	N B	-0.779	2.8E-03
IC L	DO 420 L	0.971	1.5E-07
IC B	DO 420 B	0.985	6.4E-09
IC L	DO 520 L	0.991	4.3E-10
IC B	DO 520 B	0.992	2.7E-10
IC L	DO 620 L	0.772	3.3E-03
IC B	DO 620 B	0.865	2.8E-04
IC L	IBMP	0.599	4.0E-02

variable 1	variable 2	r	p
IC L	intensity M	0.645	2.4E-02
IC B	complexity N	0.641	2.5E-02
IC B	complexity M	0.663	1.9E-02
IC L	vegetal N	0.648	2.3E-02
N L	N B	0.776	3.0E-03
N L	DO 420 L	-0.698	1.2E-02
N B	DO 420 B	-0.664	1.8E-02
N L	DO 520 L	-0.904	5.6E-05
N B	DO 520 B	-0.850	4.6E-04
N L	IBMP	-0.682	1.5E-02
N B	IBMP	-0.650	2.2E-02
N L	intensity M	-0.650	2.2E-02
DO 420 L	DO 420 B	0.627	2.9E-02
DO 420 L	DO 520 L	0.931	1.1E-05
DO 420 B	DO 520 B	0.956	1.3E-06
DO 420 L	DO 620 L	0.895	8.3E-05
DO 420 B	DO 620 B	0.928	1.3E-05
DO 420 L	degree L	0.669	1.7E-02
DO 420 B	complexity N	0.647	2.3E-02
DO 420 A	complexity M	0.621	3.1E-02
DO 420 B	complexity M	0.668	1.8E-02
DO 420 L	vegetal N	0.637	2.6E-02
DO 520 A	DO 520 L	0.792	2.1E-03
DO 520 A	DO 520 B	0.897	7.5E-05
DO 520 L	DO 520 B	0.661	1.9E-02
DO 520 L	DO 620 L	0.681	1.5E-02
DO 520 B	DO 620 B	0.797	1.9E-03
DO 520 A	IBMP	0.697	1.2E-02
DO 520 L	IBMP	0.642	2.4E-02
DO 520 L	intensity M	0.653	2.1E-02
DO 520 B	complexity N	0.624	3.0E-02
DO 520 B	complexity M	0.646	2.3E-02
DO 520 L	vegetal N	0.639	2.5E-02
DO 620 A	DO 620 L	0.638	2.6E-02
DO 620 A	DO 620 B	0.652	2.2E-02
DO 620 L	DO 620 B	0.603	3.8E-02
DO 620 L	degree L	0.769	3.4E-03
DO 620 B	complexity M	0.621	3.1E-02
DO 620 B	complexity N	0.601	3.9E-02
vegetal N	IBMP	0.870	2.3E-04
vegetal N	vegetal M	0.722	8.1E-03
fruit N	fruit M	0.664	1.9E-02
fruit N	intensity N	0.639	2.5E-02
fruit M	tannins M	0.695	1.2E-02
fruit M	complexity M	0.774	3.2E-03
complexity M	tannins M	0.671	1.7E-02
finish M	intensity M	0.608	3.6E-02
finish M	yeast N	0.693	1.2E-02



**Figure 2. Characteristics of the musts and wines of 2002:** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. **PC 1** (39.2 % of the variance): negative values were berry weight, wines pH and hue ; positive values were wines colored intensity, DO 420, 520 and 620. **PC 2** (14.9 % of the variance): negative values were wines pH, degree, K concentration and DO. **PC 3** (12.1 % of the variance): negative values were IBMP concentration, wines degree and colored intensity, vegetal notes on the nose and the mouth ; positive values were fruity notes on the nose.

**Characteristics of the musts and wines of 2003 :** PCA was carried out on 55 variables, whose mean and variance are presented on the Table 5. We note that all the wines from this vintage showed IBMP concentration inferior to 5 ng/l. Table 6 gives the most important correlation between the studied factors. We retained three PCs for the PCA, which permitted us to account for 73 % of the variability on the data set. Table 5 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 3 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2 and PC 1 and 3. The ascending hierarchical classification allowed us to identify 4 categories, which give a good summary of the information.

Wines of plots M3, G4, G3 and F1 had low acidity and high hue. Plot M3 gave a wine with higher K and anthocyanin concentration.

Wines of plots M1 and M2 had low acidity and high K, malic acid and anthocyanin concentration.

Wines of plots A1, A2 et A5 were fruity and complex (particularly A1). Wine of plot A5 had higher pH and K and anthocyanin concentration than the others.

Plots G1 and G2 gave grapes with high tartaric acid concentration, wines had high acidity, color intensity and polyphenol concentration.

**Table 5.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) obtained for the musts and wines of 2003.

Variables	Mean	Variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
Date V	37876.00	1.29E+02	-0.2350	<b>0.7323</b>	0.3591
berry weight V	306.69	2.87E+03	-0.3085	0.3460	-0.5162
SS V	208.69	1.98E+02	0.6175	0.3846	-0.4862
TA V	3.61	4.32E-01	0.7161	-0.5124	-0.3108
pH V	3.39	1.81E-02	<b>-0.7711</b>	0.1489	-0.1611
tartaric ac. V	5.83	3.56E-01	0.0638	<b>-0.6469</b>	-0.4741
K+ V	1.26	7.33E-02	-0.0588	0.1508	<b>-0.7569</b>
polyphenol V	85.45	1.60E+02	0.2225	0.6294	0.0507
anthocyanin V	1082.10	3.38E+04	0.6248	0.5385	-0.2507
TA A	4.07	8.12E-01	0.6774	<b>-0.6862</b>	-0.0464
pH A	3.68	3.81E-02	-0.4255	<b>0.7486</b>	-0.4697
malic ac. A	1.35	6.88E-01	0.4536	-0.3795	<b>-0.5992</b>
tartaric ac. A	2.54	1.90E-01	-0.0301	-0.5868	0.5524
K+ A	1.44	1.23E-01	0.1047	<b>0.8064</b>	-0.2644
polyphenol A	60.02	1.49E+02	<b>0.9078</b>	0.2343	-0.0383
anthocyanin A	509.25	1.55E+04	0.5024	<b>0.7707</b>	0.3433
IC A	12.49	1.18E+01	<b>0.9260</b>	0.1816	0.2001
N A	0.53	4.73E-03	<b>-0.7428</b>	-0.1378	-0.4316
DO 420 A	0.38	7.39E-03	<b>0.9219</b>	0.2054	0.0863
DO 520 A	0.73	5.31E-02	<b>0.9244</b>	0.1415	0.2611
DO 620 A	0.14	1.14E-03	0.7875	0.3630	0.0388
TA L	3.39	3.46E-01	0.7138	-0.2650	0.2343
pH L	3.65	4.19E-02	-0.4502	0.6092	<b>-0.6087</b>
tartaric ac. L	1.82	5.95E-02	0.7759	0.0738	0.5369
degree L	12.94	1.39E+00	0.7832	-0.3096	-0.4389
polyphenol L	58.02	1.05E+02	<b>0.9485</b>	0.2662	-0.0130
anthocyanin L	601.92	2.29E+04	0.1675	<b>0.9191</b>	0.2732
IC L	8.21	8.07E+00	<b>0.9600</b>	0.0379	-0.1035
N L	0.66	6.30E-03	<b>-0.6902</b>	0.2247	-0.5673
DO 420 L	0.28	7.19E-03	<b>0.9218</b>	0.1324	-0.2211
DO 520 L	0.44	2.70E-02	<b>0.9699</b>	-0.0337	0.0042
DO 620 L	0.10	1.50E-03	<b>0.9088</b>	0.1312	-0.2924
TA B	3.03	2.47E-01	0.5872	<b>-0.7379</b>	0.2345
pH B	3.67	4.32E-02	-0.5252	0.5841	-0.5341
degree B	12.75	1.30E+00	0.7460	-0.3269	-0.4182
polyphenol B	56.61	9.78E+01	<b>0.8947</b>	0.2314	-0.0804
anthocyanin B	285.09	8.13E+03	-0.2517	<b>0.7839</b>	0.4395
IC B	10.97	1.02E+01	<b>0.9280</b>	0.2902	-0.1490
N B	0.64	2.86E-03	<b>-0.6332</b>	-0.1023	-0.5384
DO 420 B	0.37	9.37E-03	<b>0.9017</b>	0.3125	-0.2453
DO 520 B	0.58	2.96E-02	<b>0.9475</b>	0.2611	-0.0527
DO 620 B	0.15	2.82E-03	<b>0.8604</b>	0.3278	-0.2772
intensity N	5.30	6.39E-01	-0.1496	-0.0688	0.2741
complexity N	4.82	6.47E-01	0.0381	0.5243	0.3345
fruit N	5.41	6.24E-01	0.2132	0.0916	<b>0.6797</b>
yeast N	5.33	5.89E-01	0.2013	-0.1789	0.5502
vegetal N	2.17	6.15E-01	-0.0178	0.1746	-0.1006
intensity M	5.36	5.00E-01	0.2360	-0.2364	0.4489
complexity M	5.69	1.34E+00	-0.2232	0.4963	<b>0.7605</b>
fruit M	5.29	7.26E-01	-0.4365	0.4677	0.5885
vegetal M	2.17	5.55E-01	-0.2278	0.3293	-0.3104
tannins M	5.45	1.00E+00	-0.4106	0.4230	0.3497
finish M	5.38	4.08E-01	0.1453	0.0704	0.1602
marks	5.54	3.90E-01	-0.6007	0.3031	-0.1020

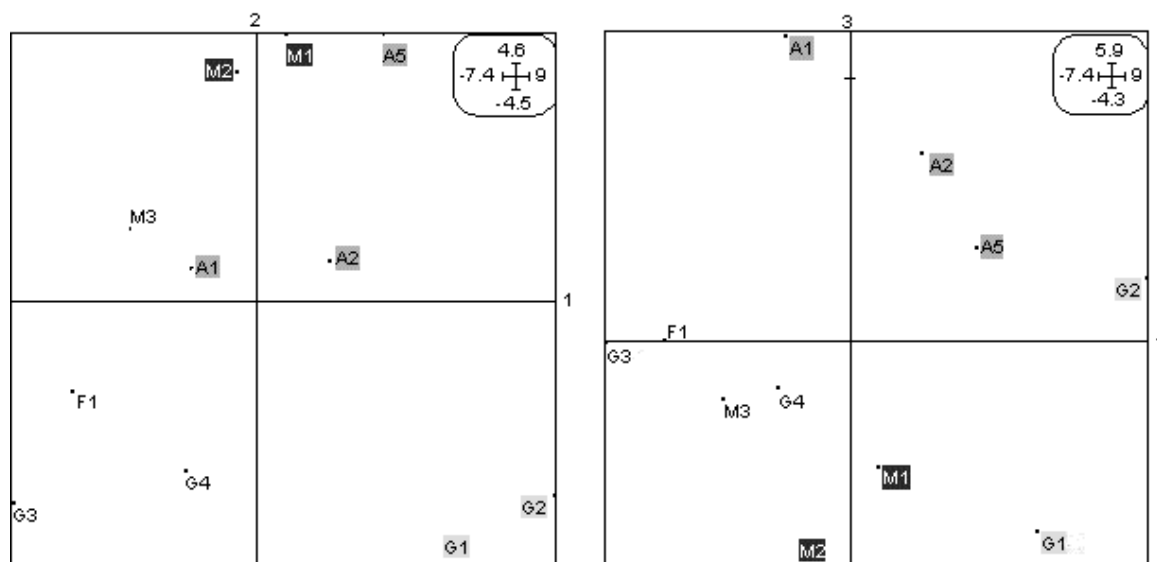
**Table 6.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained for the musts and wines of 2003.

variable 1	variable 2	r	p	variable 1	variable 2	r	p
SS V	degree L	0.613	4.5E-02	pH A	pH L	0.968	1.1E-06
degree L	degree B	0.993	1.4E-09	pH A	pH B	0.960	2.7E-06
degree B	Date V	-0.617	4.3E-02	pH L	pH B	0.983	6.7E-08
SS V	tartaric ac. A	-0.704	1.6E-02	pH L	berry weight V	0.606	4.8E-02
degree L	malic ac. A	0.785	4.2E-03	pH B	berry weight V	0.605	4.9E-02
degree B	malic ac. A	0.807	2.7E-03	pH V	tartaric ac. L	-0.640	3.4E-02
SS V	polyphenol V	0.632	3.7E-02	pH A	tartaric ac. A	-0.663	2.6E-02
degree L	polyphenol L	0.627	3.9E-02	pH L	tartaric ac. L	-0.629	3.8E-02
degree B	polyphenol B	0.629	3.8E-02	pH B	tartaric ac. L	-0.637	3.5E-02
degree B	anthocyanin B	-0.658	2.8E-02	pH A	K+ A	0.748	8.1E-03
degree L	IC L	0.749	7.9E-03	pH L	K+ A	0.675	2.3E-02
degree B	IC B	0.662	2.6E-02	pH B	K+ A	0.652	3.0E-02
degree L	DO 420 L	0.748	8.1E-03	pH V	polyphenol A	-0.631	3.8E-02
degree B	DO 420 B	0.675	2.3E-02	pH V	polyphenol L	-0.707	1.5E-02
degree L	DO 520 L	0.725	1.2E-02	pH V	polyphenol B	-0.636	3.5E-02
degree B	DO 520 B	0.643	3.3E-02	pH V	IC A	-0.676	2.2E-02
degree L	DO 620 L	0.781	4.5E-03	pH V	IC L	-0.645	3.2E-02
degree B	DO 620 B	0.663	2.6E-02	pH V	IC B	-0.612	4.6E-02
degree L	fruit M	-0.668	2.5E-02	pH V	N A	0.819	2.0E-03
degree B	fruit M	-0.623	4.0E-02	pH V	N L	0.706	1.5E-02
TA V	TA A	0.831	1.5E-03	pH V	N B	0.697	1.7E-02
TA V	TA B	0.742	9.0E-03	pH L	N L	0.823	1.8E-03
TA A	TA L	0.618	4.3E-02	pH V	DO 420 A	-0.617	4.3E-02
TA A	TA B	0.907	1.2E-04	pH V	DO 520 A	-0.712	1.4E-02
TA L	TA B	0.678	2.2E-02	pH V	marks	0.639	3.4E-02
TA V	Date V	-0.664	2.6E-02	tartaric ac. A	berry weight V	-0.863	6.2E-04
TA V	pH V	-0.663	2.6E-02	tartaric ac. L	polyphenol L	0.749	8.0E-03
TA A	pH A	-0.814	2.3E-03	tartaric ac. V	anthocyanin A	-0.654	2.9E-02
TA L	pH L	-0.613	4.5E-02	tartaric ac. V	anthocyanin L	-0.685	2.0E-02
TA B	pH B	-0.844	1.1E-03	tartaric ac. V	anthocyanin B	-0.708	1.5E-02
TA L	tartaric ac. L	0.710	1.4E-02	tartaric ac. L	IC L	0.706	1.5E-02
TA A	malic ac. A	0.702	1.6E-02	tartaric ac. L	IC B	0.642	3.3E-02
TA V	degree L	0.819	2.1E-03	tartaric ac. L	N L	-0.923	5.2E-05
TA V	degree B	0.781	4.6E-03	tartaric ac. L	N B	-0.828	1.7E-03
TA A	degree L	0.788	4.0E-03	tartaric ac. L	DO 420 L	0.615	4.4E-02
TA A	degree B	0.791	3.8E-03	tartaric ac. L	DO 520 L	0.770	5.5E-03
TA V	polyphenol B	0.610	4.6E-02	tartaric ac. V	complexity M	-0.817	2.2E-03
TA L	polyphenol L	0.661	2.7E-02	tartaric ac. V	fruit M	-0.625	4.0E-02
TA B	anthocyanin B	-0.609	4.7E-02	tartaric ac. A	vegetal M	-0.665	2.5E-02
TA V	IC L	0.719	1.3E-02	tartaric ac. L	marks	-0.672	2.3E-02
TA L	IC L	0.688	1.9E-02	malic ac. A	Date V	-0.662	2.6E-02
TA L	N L	-0.688	1.9E-02	malic ac. A	anthocyanin B	-0.784	4.3E-03
TA L	DO 420 L	0.612	4.5E-02	malic ac. A	complexity M	-0.618	4.3E-02
TA L	DO 520 L	0.732	1.1E-02	malic ac. A	fruit M	-0.604	4.9E-02
TA L	DO 620 L	0.601	5.1E-02	polyphenol V	polyphenol A	0.738	9.6E-03
TA V	complexity M	-0.716	1.3E-02	polyphenol V	polyphenol L	0.736	9.8E-03
TA V	fruit M	-0.646	3.2E-02	polyphenol V	polyphenol B	0.735	1.0E-02
TA A	fruit M	-0.643	3.3E-02	polyphenol A	polyphenol L	0.966	1.4E-06



variable 1	variable 2	r	p
polyphenol A	polyphenol B	0.961	2.4E-06
polyphenol L	polyphenol B	0.952	6.4E-06
polyphenol L	anthocyanin A	0.608	4.7E-02
polyphenol B	anthocyanin A	0.626	4.0E-02
polyphenol V	IC A	0.616	4.4E-02
polyphenol V	IC L	0.620	4.2E-02
polyphenol V	IC B	0.816	2.2E-03
polyphenol A	IC A	0.839	1.3E-03
polyphenol L	IC L	0.882	3.2E-04
polyphenol B	IC B	0.949	8.4E-06
polyphenol L	N A	-0.639	3.4E-02
polyphenol B	N A	-0.644	3.3E-02
polyphenol V	DO 420 A	0.662	2.6E-02
polyphenol V	DO 420 L	0.678	2.2E-02
polyphenol V	DO 420 B	0.813	2.4E-03
polyphenol A	DO 420 A	0.875	4.2E-04
polyphenol L	DO 420 L	0.879	3.7E-04
polyphenol B	DO 420 B	0.937	2.1E-05
polyphenol V	DO 520 B	0.786	4.2E-03
polyphenol A	DO 520 A	0.808	2.6E-03
polyphenol L	DO 520 L	0.864	6.0E-04
polyphenol B	DO 520 B	0.952	6.3E-06
polyphenol V	DO 620 A	0.674	2.3E-02
polyphenol V	DO 620 L	0.687	1.9E-02
polyphenol V	DO 620 B	0.875	4.2E-04
polyphenol A	DO 620 A	0.813	2.3E-03
polyphenol L	DO 620 L	0.880	3.5E-04
polyphenol B	DO 620 B	0.906	1.2E-04
anthocyanin V	anthocyanin L	0.738	9.5E-03
anthocyanin V	anthocyanin A	0.641	3.4E-02
anthocyanin A	anthocyanin L	0.920	5.9E-05
anthocyanin A	anthocyanin B	0.667	2.5E-02
anthocyanin L	anthocyanin B	0.860	6.9E-04
anthocyanin L	Date V	0.740	9.2E-03
anthocyanin B	Date V	0.851	8.9E-04
anthocyanin L	K+ A	0.677	2.2E-02
anthocyanin A	IC A	0.695	1.8E-02
anthocyanin A	IC B	0.642	3.3E-02
anthocyanin A	N A	-0.630	3.8E-02
anthocyanin A	DO 420 A	0.666	2.5E-02
anthocyanin A	DO 520 A	0.688	1.9E-02
anthocyanin A	DO 620 A	0.694	1.8E-02
anthocyanin L	complexity M	0.608	4.7E-02
anthocyanin B	complexity M	0.781	4.5E-03
anthocyanin B	fruit M	0.600	5.1E-02
IC A	IC L	0.844	1.1E-03
IC A	IC B	0.875	4.3E-04
IC L	IC B	0.939	1.8E-05

variable 1	variable 2	r	p
IC A	N A	-0.800	3.1E-03
IC A	N B	-0.717	1.3E-02
IC A	DO 420 A	0.985	3.1E-08
IC L	DO 420 L	0.986	2.3E-08
IC B	DO 420 B	0.991	2.8E-09
IC A	DO 520 A	0.993	1.2E-09
IC L	DO 520 L	0.991	4.4E-09
IC B	DO 520 B	0.993	1.0E-09
IC A	DO 620 A	0.912	9.1E-05
IC L	DO 620 L	0.972	5.4E-07
IC B	DO 620 B	0.981	9.6E-08
N A	N L	0.831	1.5E-03
N A	N B	0.922	5.4E-05
N L	N B	0.845	1.1E-03
N A	DO 420 A	-0.697	1.7E-02
N A	DO 520 A	-0.853	8.4E-04
N L	DO 520 L	-0.673	2.3E-02
N B	DO 520 B	-0.615	4.4E-02
N L	marks	0.715	1.3E-02
DO 420 A	DO 420 L	0.837	1.3E-03
DO 420 A	DO 420 B	0.863	6.2E-04
DO 420 L	DO 420 B	0.964	1.9E-06
DO 420 A	DO 520 A	0.959	3.0E-06
DO 420 L	DO 520 L	0.955	4.8E-06
DO 420 B	DO 520 B	0.971	6.8E-07
DO 420 A	DO 620 A	0.956	4.3E-06
DO 420 L	DO 620 L	0.994	4.1E-10
DO 420 B	DO 620 B	0.986	2.3E-08
DO 520 A	DO 520 L	0.867	5.4E-04
DO 520 A	DO 520 B	0.905	1.3E-04
DO 520 L	DO 520 B	0.924	4.8E-05
DO 520 A	DO 620 A	0.860	6.9E-04
DO 520 L	DO 620 L	0.932	2.9E-05
DO 520 B	DO 620 B	0.956	4.5E-06
DO 620 A	DO 620 L	0.717	1.3E-02
DO 620 A	DO 620 B	0.742	8.9E-03
DO 620 L	DO 620 B	0.936	2.3E-05
DO 620 A	DO 520 L	0.701	1.6E-02
DO 620 A	DO 520 B	0.806	2.7E-03
DO 620 L	DO 520 B	0.913	8.7E-05
intensity M	finish M	0.677	2.2E-02
complexity M	fruit M	0.781	4.6E-03
complexity M	tannins M	0.665	2.6E-02
complexity M	Date V	0.623	4.0E-02
fruit M	Date V	0.669	2.4E-02
fruit M	tannins M	0.735	1.0E-02
tannins M	marks	0.674	2.3E-02



**Figure 3. Characteristics of the musts and wines of 2003:** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. **PC 1** (39.6 % of the variance): negative values were grapes pH and wines hue ; positive values were wines polyphenol concentration, DO and colored intensity. **PC 2** (18.6 % of the variance): negative values were grapes tartaric acid concentration and wines TA ; positive values were wines pH and anthocyanin and K concentration **PC 3** (14.9 % of the variance): negative values were K grapes concentration and wines pH, hue an malic acid concentration ; positive values were wines aromatic complexity in the mouth and fruity aromas on the nose.

**Wines and terroirs 2001 :** PCA was carried out on 88 variables, whose mean and variance are presented on the Table 7. Table 8 gives the most important correlation between the studied factors. We retained four PCs for the PCA, which permitted us to account for 66.6 % of the variability on the data set. Table 7 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 4 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2, PC 1 and 3 and PC 1 and 4. The ascending hierarchical classification allowed us to identify 5 categories which give a good summary of the information.

Climate of plot A1 to A5 was quite cool and humid. Soils had high CEC and Ca and Mg concentration (above all A3). These soils were with an important root development (above all A2 and A4). Wines from these plots were acid and complex (above all A1, A2 and A3).

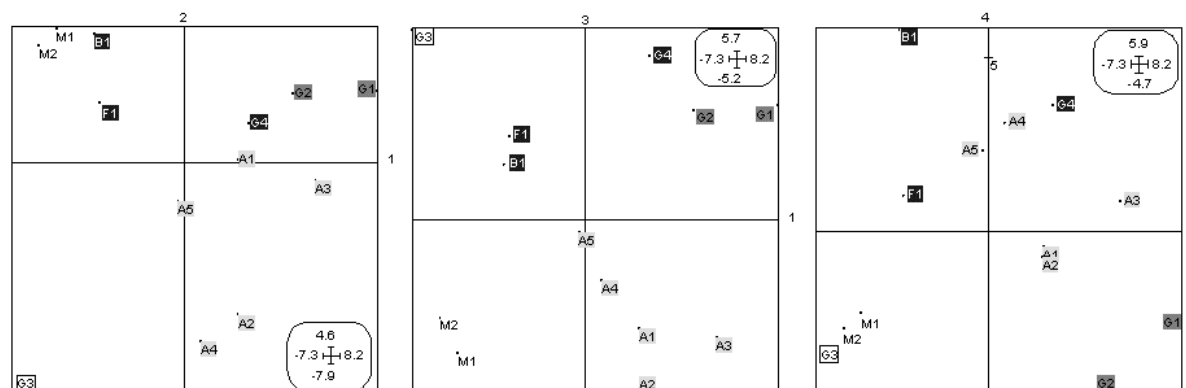
Climate of plots M1 and M2 was quite cool and humid. The soil was saturated and had numerous oxidation spots. On these plots, K leaf and grapes concentration were high and wines had high pH, color intensity and alcohol concentration, these wines were complex with a long finish.

Climate of plots G1 and G2 was quite hot (high Iw). Soils had high CEC and Ca and Mg concentration. These soils were saturated and less stony and porous than the first category.

On these high carbonate soils, the rootstocks used were the SO4 or the 41B. Wines from these plots were acid, well colored with a long finish.

Climate of plots G4, F1 and B1 was quite hot (high Iw). Soils were deep, saturated (especially G4) and had numerous oxidation and reduction spots (especially B1 and F1). Soil of plot G4 had a higher CEC, Ca and Mg concentration and wines had higher acidity. Potassium nutrition of plots F1 and B1 was higher, so grapes had higher concentration in the nutrient and wines had higher pH and hue.

Climate of plot G3 was quite hot (high Iw). The soil was oxidized, stony and porous, with an important root development. On this plot, K leaf and grapes concentration were high and wine had high pH and alcohol concentration with a long finish.



**Figure 4. Wines and terroirs 2001:** distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2, 1 and 3 and 1 and 4. **PC 1** (24.8 % of the variance): negative values were abundance of oxidation spots in the soils, K concentration of the leaves and grapes, pH and hue of the wines ; positive values were CEC, Ca and Mg concentration of the soils and wines TA. **PC 2** (17.4 % of the variance): negative values were percentage of stones and porosity of the soils and the number of roots ; positive values were saturation of the soils. **PC 3** (14.2 % of the variance): negative values were Q and Iq and wines aromatic complexity on the nose ; positive values : Iw and the rootstock used. **PC 4** (10.3 % of the variance): negative values were wines colored intensity, alcohol concentration and finish ; positive values were abundance of spots of oxydization and the depth of the soils.

**Wines and terroirs 2002 :** PCA was carried out on 88 variables, whose mean and variance are presented on the Table 9. Table 10 gives the most important correlation between the studied factors. We retained four PCs for the PCA, which permitted us to account for 69.9 % of the variability on the data set. Table 9 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 5 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2, PC 1 and 3 and PC 1 and 4. The ascending hierarchical classification allowed us to identify 6 categories, which give a good summary of the information.

**Table 7.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) obtained for the wines and terroirs of 2001.

variables	mean	variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3	coord. PC 4
altitude	267.77	1.70E+04	0.5810	-0.4755	-0.6220	-0.0020
slope	6.92	5.98E+01	0.1860	-0.5168	-0.6099	0.1705
soil type	5269.20	3.19E+06	-0.1683	0.6243	-0.0221	0.2046
depht	120.00	7.08E+02	0.2387	0.0743	0.3279	<b>0.5525</b>
vine age	25.92	6.71E+01	0.2233	0.1103	-0.7118	-0.4457
rootstock	2.08	1.46E+00	0.3030	0.4289	<b>0.6405</b>	-0.4356
density	4706.20	8.52E+05	0.1857	-0.6585	-0.4308	0.3263
soil management	2.00	1.54E-01	0.2452	0.1183	0.3683	-0.1337
soil management (row)	2.69	5.21E-01	-0.3578	0.3150	0.5227	-0.0078
lq	36.90	4.54E+01	-0.0906	-0.1342	<b>-0.9361</b>	0.0548
Q	195.14	1.62E+03	-0.1570	-0.0647	<b>-0.9413</b>	0.0618
lw	1469.40	1.98E+04	-0.3151	0.5440	<b>0.6409</b>	-0.0952
IB	0.54	1.38E-03	0.4000	-0.5558	0.2181	-0.5433
inf. depth B	45.46	1.18E+02	0.3913	0.0279	-0.7316	-0.1115
oxydation spots B	2.54	1.94E+00	<b>-0.6225</b>	0.4334	-0.0625	0.0892
reduction spots B	1.23	6.39E-01	-0.2342	0.3209	0.1222	<b>0.5593</b>
structure type B	8.46	2.56E+00	-0.4501	-0.5763	0.4612	-0.3141
biological activity B	3.69	5.21E-01	-0.3530	-0.6971	0.1074	0.0135
porosity B	4.46	7.10E-01	-0.3736	-0.5711	-0.1572	-0.2484
total roots/ m <sup>2</sup> B	280.15	1.85E+04	-0.3195	0.0797	0.4556	0.3296
inf. depth C	106.92	2.78E+03	-0.0822	0.5147	-0.3250	-0.3576
oxydation spots C	3.46	3.33E+00	<b>-0.6981</b>	0.3461	0.1336	0.1106
reduction spots C	1.69	2.67E+00	-0.1655	0.1293	0.0535	<b>0.5477</b>
structure type C	7.69	7.14E+00	-0.1886	-0.6315	0.4193	0.0422
biological activity C	2.62	1.01E+00	-0.1507	-0.7276	0.1173	-0.0485
porosity C	3.62	1.01E+00	-0.3490	<b>-0.8117</b>	-0.0210	-0.1891
total roots/ m <sup>2</sup> C	178.23	1.57E+04	-0.1645	<b>-0.8105</b>	0.2425	-0.3046
pH H <sub>2</sub> O B	7.01	9.70E-01	0.8040	0.1625	-0.4032	-0.0506
%gravel B	19.11	5.58E+02	-0.1079	<b>-0.8184</b>	-0.2791	-0.0541
%silt B	50.44	9.27E+01	-0.5792	-0.1027	-0.3844	<b>0.5324</b>
%sand B	22.92	5.60E+01	-0.5158	-0.2042	0.0916	-0.2063
%clay B	26.62	1.51E+02	0.7661	0.2054	0.2773	-0.2465
total CaCO <sub>3</sub> B	15.76	5.44E+02	0.5008	-0.4715	-0.2793	-0.0796
active CaCO <sub>3</sub> B	2.30	1.16E+01	0.7444	0.0023	0.1360	-0.4253
C/N B	8.58	3.24E+00	0.2575	-0.3626	0.0163	0.3443
MO B	1.21	3.09E-01	0.4247	-0.4395	-0.1560	0.2262
P mehlich B	17.83	7.69E+02	-0.5189	-0.5368	0.5238	-0.1554
K BaCl <sub>2</sub> B	1.56	2.90E-01	0.2675	-0.3820	-0.3554	-0.1531
Ca BaCl <sub>2</sub> B	11.09	7.31E+01	0.8528	0.2732	0.2563	-0.2223
Mg BaCl <sub>2</sub> B	2.24	2.29E+00	0.8779	0.1073	0.0430	-0.0181
CEC B	15.21	7.11E+01	<b>0.9491</b>	0.0560	0.1313	-0.0372
saturation B	97.68	6.17E+02	0.0549	<b>0.7679</b>	-0.1109	-0.3332

Variables	mean	variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3	coord. PC 4
pH H <sub>2</sub> O C	6.88	1.32E+00	0.7808	0.0972	-0.4671	-0.1556
%gravel C	19.75	7.15E+02	-0.3446	<b>-0.8189</b>	-0.0331	-0.2335
%silt C	49.01	7.72E+01	-0.3976	0.1096	-0.4298	<b>0.4733</b>
%sand C	20.54	5.30E+01	-0.4204	-0.4364	0.0966	-0.1972
%clay C	30.46	1.22E+02	0.5944	0.2006	0.2478	-0.2925
total CaCO <sub>3</sub> C	14.55	4.66E+02	0.5518	-0.3549	-0.1160	-0.1887
active CaCO <sub>3</sub> C	2.35	1.29E+01	0.7159	0.0185	0.1601	-0.4539
C/N C	7.20	6.04E+00	0.3615	-0.3780	-0.1283	0.2987
MO C	0.85	4.72E-01	0.2792	-0.5445	-0.2468	0.3736
P mehlich C	4.16	5.78E+01	-0.2590	-0.6942	0.0363	-0.2915
K BaCl <sub>2</sub> C	1.32	3.01E-01	0.0627	-0.1705	-0.4366	-0.2252
Ca BaCl <sub>2</sub> C	11.50	9.77E+01	0.8181	0.2897	0.3727	-0.2262
Mg BaCl <sub>2</sub> C	2.54	2.29E+00	0.8162	0.0487	0.0666	0.1814
CEC C	15.94	6.76E+01	<b>0.9725</b>	-0.0688	0.1391	0.0412
saturation C	95.88	1.14E+03	0.1026	<b>0.8292</b>	0.0799	-0.3343
K flowering	1.30	3.78E-02	-0.5966	-0.0647	-0.1876	-0.4869
K veraison	1.07	3.63E-02	<b>-0.7413</b>	0.2063	-0.0399	-0.1845
Ca flowering	2.03	2.55E-01	0.5601	0.2047	-0.3715	<b>0.4717</b>
Ca veraison	2.38	2.18E-01	0.7712	0.2306	-0.1487	0.3539
Mg flowering	0.30	3.62E-03	0.6109	0.2600	-0.2077	0.3806
Mg veraison	0.33	1.78E-02	0.6495	0.0089	-0.2184	0.0735
N flowering	2.47	8.83E-02	0.3543	-0.5998	0.4836	-0.2510
N veraison	1.88	3.73E-02	-0.4186	-0.2667	0.4767	0.0176
Date V	37174.00	5.82E+00	0.1941	-0.4043	-0.2195	-0.5279
berry weight V	403.48	2.35E+03	-0.4523	0.5840	-0.2207	0.0551
K+ V	1.38	1.89E-02	-0.6816	0.4534	-0.1223	0.0878
TA L	3.55	8.86E-02	0.9125	0.1460	-0.1009	0.2198
pH L	3.74	1.87E-02	<b>-0.8251</b>	0.2268	0.1791	-0.4240
degree L	12.48	4.23E-01	-0.1780	0.4505	-0.0775	<b>-0.6500</b>
polyphenol L	51.92	1.40E+02	-0.1728	0.6515	-0.3347	-0.5976
anthocyanin L	867.04	6.11E+04	-0.2060	0.5704	-0.6326	-0.2169
IC L	9.27	1.10E+01	0.2428	0.4328	0.0372	<b>-0.7545</b>
N L	0.59	5.41E-03	<b>-0.7409</b>	-0.3130	0.4243	0.0306
IBMP	9.67	1.59E+02	0.3407	-0.5753	-0.2929	0.2317
intensity N	5.56	5.86E-01	-0.3254	-0.0967	-0.6288	-0.3454
complexity N	4.61	6.85E-01	-0.3541	-0.0110	<b>-0.8539</b>	-0.0370
fruit N	4.73	6.42E-01	0.1087	-0.4095	-0.0507	-0.3920
yeast N	3.08	1.17E+00	0.7042	-0.3797	0.3745	-0.3183
vegetal N	4.13	1.33E+00	0.6206	-0.2992	0.2304	-0.1834
intensity M	5.22	4.79E-01	0.1738	0.2087	-0.5528	-0.2835
complexity M	4.35	5.45E-01	-0.4069	-0.3073	-0.5909	-0.3839
fruit M	4.27	3.85E-01	-0.4263	-0.0661	-0.1824	0.2741
vegetal M	4.49	1.31E+00	0.7181	-0.0530	0.1392	-0.2926
tannins M	4.87	6.43E-01	-0.4521	0.2626	-0.5585	-0.5441
finish M	5.18	1.21E+00	-0.3503	-0.2047	-0.0761	<b>-0.7354</b>
marks	5.03	4.84E-01	-0.2826	0.2178	-0.6337	-0.2077

**Table 8.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained for the wines and terroirs of 2001.

variable 1	variable 2	r	p	variable 1	variable 2	r	p
soil type	Date V	-0.650	1.6E-02	%clay B	TA L	0.685	9.7E-03
soil type	berry weight V	0.661	1.4E-02	%clay B	yeast N	0.611	2.7E-02
soil type	Fruit N	-0.614	2.6E-02	%silt B	yeast N	-0.617	2.5E-02
altitude	pH L	-0.712	6.4E-03	total CaCO <sub>3</sub> B	IBMP	0.752	3.0E-03
altitude	IBMP	0.607	2.8E-02	total CaCO <sub>3</sub> C	IBMP	0.646	1.7E-02
slope	IBMP	0.764	2.4E-03	total CaCO <sub>3</sub> C	vegetal M	0.603	2.9E-02
density	IBMP	0.624	2.3E-02	total CaCO <sub>3</sub> B	vegetal N	0.691	8.9E-03
rootstock	IC L	0.686	9.6E-03	total CaCO <sub>3</sub> C	vegetal N	0.810	7.9E-04
rootstock	complexity N	-0.694	8.5E-03	active CaCO <sub>3</sub> B	IC L	0.629	2.1E-02
IB	Date V	0.603	2.9E-02	active CaCO <sub>3</sub> C	IC L	0.664	1.3E-02
IB	K+ V	-0.687	9.6E-03	active CaCO <sub>3</sub> B	vegetal M	0.785	1.5E-03
IB	yeast N	0.694	8.5E-03	active CaCO <sub>3</sub> C	vegetal M	0.787	1.4E-03
lq	complexity N	0.795	1.2E-03	active CaCO <sub>3</sub> B	vegetal N	0.796	1.1E-03
Q	complexity N	0.819	6.1E-04	active CaCO <sub>3</sub> C	vegetal N	0.796	1.1E-03
Ca flowering	TA L	0.681	1.0E-02	active CaCO <sub>3</sub> B	yeast N	0.722	5.3E-03
Ca veraison	TA L	0.777	1.8E-03	active CaCO <sub>3</sub> C	yeast N	0.727	4.9E-03
Ca flowering	pH L	-0.717	5.8E-03	P mehlich B	TA L	-0.617	2.5E-02
Ca veraison	pH L	-0.750	3.1E-03	P mehlich B	N L	0.754	2.9E-03
Ca veraison	N L	-0.652	1.6E-02	P mehlich C	complexity M	0.627	2.2E-02
Ca veraison	finish M	-0.633	2.0E-02	P mehlich C	finish M	0.642	1.8E-02
K flowering	TA L	-0.683	1.0E-02	Ca BaCl <sub>2</sub> B	TA L	0.714	6.1E-03
K veraison	TA L	-0.621	2.4E-02	Ca BaCl <sub>2</sub> C	TA L	0.679	1.1E-02
K flowering	pH L	0.659	1.4E-02	Ca BaCl <sub>2</sub> C	complexity N	-0.619	2.4E-02
K veraison	pH L	0.745	3.5E-03	Ca BaCl <sub>2</sub> B	vegetal M	0.619	2.4E-02
K veraison	K+ V	0.620	2.4E-02	Ca BaCl <sub>2</sub> C	vegetal M	0.690	9.0E-03
Mg flowering	TA L	0.852	2.2E-04	Ca BaCl <sub>2</sub> C	vegetal N	0.609	2.7E-02
Mg veraison	TA L	0.705	7.2E-03	Ca BaCl <sub>2</sub> B	yeast N	0.627	2.2E-02
Mg flowering	pH L	-0.693	8.7E-03	Ca BaCl <sub>2</sub> C	yeast N	0.669	1.2E-02
Mg veraison	pH L	-0.676	1.1E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> B	TA L	0.907	1.9E-05
Mg veraison	K+ V	-0.625	2.3E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> C	TA L	0.840	3.3E-04
Mg flowering	N L	-0.629	2.1E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> B	pH L	-0.742	3.7E-03
Mg veraison	N L	-0.618	2.4E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> C	pH L	-0.779	1.7E-03
Mg veraison	vegetal M	0.652	1.6E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> B	K+ V	-0.719	5.6E-03
N flowering	berry weight V	-0.621	2.4E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> C	K+ V	-0.605	2.8E-02
N flowering	yeast N	0.769	2.1E-03	Mg BaCl <sub>2</sub> B	N L	-0.709	6.6E-03
inf. depth B	N L	-0.623	2.3E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> C	N L	-0.683	1.0E-02
inf. depth C	berry weight V	0.791	1.3E-03	Mg BaCl <sub>2</sub> B	vegetal M	0.625	2.2E-02
structure type C	anthocyanin L	-0.631	2.1E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> B	yeast N	0.612	2.6E-02
structure type C	N L	0.618	2.4E-02	CEC B	TA L	0.881	6.9E-05
structure type B	finish M	0.656	1.5E-02	CEC C	TA L	0.902	2.5E-05
oxydation spots B	berry weight V	0.786	1.4E-03	CEC B	pH L	-0.748	3.3E-03
oxydation spots C	berry weight V	0.806	8.8E-04	CEC C	pH L	-0.812	7.5E-04
oxydation spots B	pH L	0.605	2.9E-02	CEC B	K+ V	-0.653	1.6E-02
oxydation spots C	pH L	0.651	1.6E-02	CEC C	K+ V	-0.735	4.2E-03
oxydation spots B	K+ V	0.661	1.4E-02	CEC B	N L	-0.637	1.9E-02
oxydation spots B	Fruit N	-0.718	5.7E-03	CEC C	N L	-0.611	2.7E-02
oxydation spots C	Fruit N	-0.685	9.7E-03	CEC B	vegetal M	0.612	2.6E-02
oxydation spots B	yeast N	-0.697	8.2E-03	CEC C	vegetal M	0.677	1.1E-02
oxydation spots C	yeast N	-0.673	1.2E-02	CEC C	vegetal N	0.600	3.0E-02
reduction spots B	fruit M	0.670	1.2E-02	CEC B	yeast N	0.670	1.2E-02
pH H <sub>2</sub> O B	TA L	0.696	8.2E-03	CEC C	yeast N	0.736	4.1E-03
pH H <sub>2</sub> O C	TA L	0.683	1.0E-02	saturation B	polyphenol L	0.781	1.6E-03
pH H <sub>2</sub> O B	pH L	-0.665	1.3E-02	saturation C	polyphenol L	0.762	2.5E-03
pH H <sub>2</sub> O C	pH L	-0.636	1.9E-02	saturation B	anthocyanin L	0.613	2.6E-02
pH H <sub>2</sub> O B	N L	-0.886	5.5E-05	saturation B	IC L	0.624	2.3E-02
pH H <sub>2</sub> O C	N L	-0.855	2.0E-04	saturation C	IC L	0.721	5.4E-03

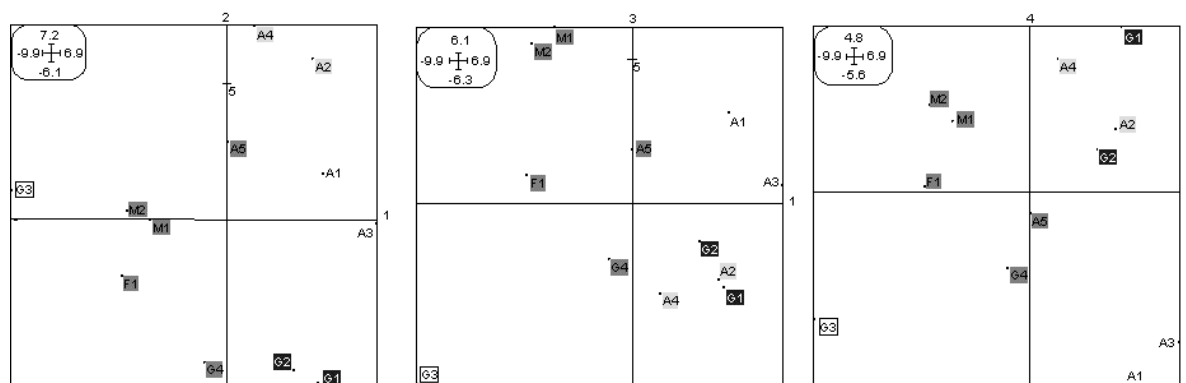
Climate of plots A1 and A3 was quite cool and humid climate. Soils had high pH and CEC. Wines had high acidity and polyphenol concentration, they were fruity, complex and tannic.

Climate of plots A2 and A4 was equally quite cool and humid climate. The slope and the vine density of these plots were high. Soils were stony, with high pH, CEC, and total carbonate concentration. The root development of vines was important and N leaf concentration was high. These plots produced acid wines with vegetal aromas.

The climate of plots G1 and G2 was quite hot. Soils were heavy in clay, saturated with high pH, CEC and total carbonate and Ca concentration. The root development of vines was important and N leaf concentration was high. These plots produced acid wines with vegetal aromas.

Soils of plots G4, F1, M1, M2 and A5 were oxidized with high P concentration. K leaf concentration was high and pH and hue of wines were high. The climate of plots M1 and M2 was more humid and wines were higher in polyphenol and more fruity. Wines of plots G4 and A5 were more complex and tannic.

Climate of plot G3 was quite hot. Soil was oxidized with high P concentration. Root development of vine was important and N and K leaf concentration was high. The wine had a high pH and hues with fruity aromas, it was complex and tannic.



**Figure 5. Wines and terroirs 2002** : distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2, 1 and 3 and 1 and 4. **PC 1** (25.1 % of the variance): negative values were abundance of oxidization spots in the soils, K concentration of the leaves and wines pH and hue ; positive values were soils pH and CEC and wines TA. **PC 2** (18.8 % of the variance): negative values were rootstock used, Iw and soils saturation and clay and Ca concentration ; positive values were IB, Q, Iq, slope, vines density and soils stones and silt concentration. **PC 3** (14.5 % of the variance): negative values were number of roots and N concentration at flowering ; positive values were Q, Iq and K concentration of the leaves at veraison and of the grapes and wines polyphenol concentration and fruity note in the mouth. **PC 4** (11.5 % of the variance): negative values were wines fruity notes on the nose and in the mouth, aromatic complexity in the mouth, tannins in the mouth and total marks ; positive values were soils total carbonate and wines vegetal aromas on the nose and the mouth.

**Table 9.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) obtained for the wines and terroirs of 2002.

variables	mean	variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3	coord. PC 4
altitude	281.42	1.60E+04	0.7805	0.5572	-0.0932	-0.1247
slope	7.50	6.04E+01	0.3892	<b>0.7923</b>	-0.0154	0.1975
soil type	5114.40	3.15E+06	-0.1335	-0.3376	0.3287	0.4681
depht	115.83	5.41E+02	0.3272	-0.2200	-0.3400	-0.4641
vine age	27.00	5.77E+01	0.4216	0.1718	0.4793	0.1570
rootstock	2.08	1.58E+00	0.0009	<b>-0.8419</b>	-0.2142	0.3316
density	4765.10	8.78E+05	0.3139	<b>0.7511</b>	-0.2425	0.0434
soil management	2.00	1.67E-01	-0.0108	-0.3878	-0.3461	<b>0.6640</b>
soil management (row)	2.67	5.56E-01	-0.5142	-0.3203	0.1257	0.1780
lq	37.38	4.62E+01	0.2640	<b>0.7447</b>	<b>0.5862</b>	-0.0084
Q	197.24	1.70E+03	0.2142	<b>0.7169</b>	<b>0.6317</b>	0.0207
lw	1283.00	2.04E+04	-0.4968	<b>-0.7691</b>	-0.1289	0.1232
IB	0.68	1.12E-02	0.4455	<b>0.8340</b>	0.0552	-0.0593
inf. depth B	46.33	1.18E+02	0.6188	0.2167	0.3172	-0.0823
oxydation spots B	2.42	1.91E+00	-0.5417	0.0607	0.4840	0.5509
structure type B	8.50	2.75E+00	-0.6312	0.0815	-0.5320	-0.3464
biological activity B	3.75	5.21E-01	-0.4707	0.4865	-0.4459	-0.1052
porosity B	4.58	5.76E-01	-0.4872	0.4390	-0.1567	-0.2888
total roots/ m <sup>2</sup> B	248.17	6.69E+03	-0.4949	-0.1714	-0.6004	0.0283
inf. depth C	107.92	3.00E+03	-0.0261	-0.1597	0.5228	0.5030
oxydation spots C	3.33	3.39E+00	<b>-0.7215</b>	-0.0225	0.3388	0.4578
reduction spots C	1.42	1.91E+00	0.0003	0.2142	0.1560	-0.0582
structure type C	7.67	7.72E+00	-0.2996	0.1840	-0.6019	-0.4773
biological activity C	2.75	8.54E-01	-0.3811	0.4217	-0.6101	0.0612
porosity C	3.67	1.06E+00	-0.3891	0.5878	-0.5542	0.0617
total roots/ m <sup>2</sup> C	189.08	1.54E+04	-0.3503	0.3897	<b>-0.7436</b>	0.2022
pH H <sub>2</sub> O B	7.05	1.03E+00	<b>0.9098</b>	-0.0271	0.0914	0.3007
%gravel B	20.70	5.71E+02	-0.0617	<b>0.7343</b>	-0.4789	0.1344
%silt B	48.90	6.94E+01	-0.3021	<b>0.7928</b>	0.1800	0.1419
%sand B	23.49	5.63E+01	-0.6126	0.2687	0.1043	0.2629
%clay B	27.58	1.51E+02	0.4243	<b>-0.7011</b>	-0.1861	-0.4722
total CaCO <sub>3</sub> B	17.07	5.67E+02	0.5122	0.3815	-0.4858	0.5379
active CaCO <sub>3</sub> B	2.49	1.20E+01	0.5853	-0.3575	-0.4048	0.4783
C/N B	8.49	3.40E+00	0.2721	0.2743	-0.4962	0.3083
MO B	1.23	3.31E-01	0.4171	0.1890	-0.4382	-0.1691
P mehlich B	18.99	8.16E+02	<b>-0.7587</b>	0.0518	-0.5271	-0.2895
K BaCl <sub>2</sub> B	1.65	2.13E-01	0.3427	0.4630	0.0951	-0.1552
Ca BaCl <sub>2</sub> B	11.51	7.69E+01	0.6505	<b>-0.6878</b>	-0.2327	0.0962
Mg BaCl <sub>2</sub> B	2.38	2.22E+00	0.7446	-0.4129	-0.1079	-0.1163
CEC B	15.92	7.05E+01	<b>0.8072</b>	-0.4618	-0.2358	-0.1353
saturation B	96.99	6.63E+02	0.0734	-0.5462	0.4348	0.4681



variables	mean	variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3	coord. PC 4
pH H <sub>2</sub> O C	6.97	1.33E+00	<b>0.9081</b>	0.0232	0.1318	0.2432
%gravel C	21.39	7.40E+02	-0.3916	0.5976	-0.5421	0.0609
%silt C	47.59	5.76E+01	-0.0762	0.6345	0.2854	0.4359
%sand C	21.33	4.92E+01	-0.5974	0.3915	-0.1237	0.2847
%clay C	31.08	1.27E+02	0.5753	<b>-0.6710</b>	-0.1146	-0.2535
total CaCO <sub>3</sub> C	15.76	4.86E+02	0.4900	0.1879	-0.5077	<b>0.6392</b>
active CaCO <sub>3</sub> C	2.54	1.35E+01	0.5525	-0.3736	-0.3982	0.4867
C/N C	7.00	6.03E+00	0.4431	0.3288	-0.5785	0.3735
MO C	0.86	5.09E-01	0.3254	0.5015	-0.4336	0.2059
P mehlich C	4.51	6.11E+01	-0.3190	0.3715	-0.5276	-0.2081
K BaCl <sub>2</sub> C	1.39	2.71E-01	0.1551	0.3601	0.2838	-0.0448
Ca BaCl <sub>2</sub> C	11.90	1.04E+02	0.5538	<b>-0.7324</b>	-0.2970	0.2396
Mg BaCl <sub>2</sub> C	2.67	2.24E+00	0.6758	-0.3101	-0.1312	-0.0967
CEC C	16.54	6.84E+01	<b>0.8078</b>	-0.3574	-0.3809	-0.0460
saturation C	96.08	1.23E+03	0.0187	<b>-0.6937</b>	0.4378	0.4832
K flowering	1.43	2.43E-01	-0.3822	-0.4297	-0.4912	-0.0089
K veraison	0.98	3.69E-02	<b>-0.7023</b>	0.0352	<b>0.5646</b>	-0.0687
Ca flowering	1.86	1.47E-01	0.7608	-0.0207	0.0753	0.0913
Ca veraison	2.66	3.14E-01	0.7628	-0.2138	-0.0308	-0.0472
Mg flowering	0.28	2.97E-03	0.4664	-0.3744	-0.2683	0.1587
Mg veraison	0.35	2.78E-02	0.7001	0.2141	-0.1528	-0.4122
N flowering	2.49	2.57E-02	0.0162	0.0458	<b>-0.7189</b>	0.0568
N veraison	1.77	2.10E-02	-0.4694	0.3132	-0.4968	-0.2668
berry weight V	383.27	3.01E+03	0.3221	0.5981	0.4223	-0.0056
K+ V	1.03	1.36E-01	-0.4866	-0.0364	<b>0.5898</b>	0.2715
TA L	4.03	1.84E-01	<b>0.8873</b>	0.1174	-0.1006	-0.1799
pH L	3.61	3.01E-02	<b>-0.8781</b>	-0.1553	0.1948	0.1206
tartaric ac. L	2.15	9.12E-02	0.6796	0.1937	0.5111	0.3525
degree L	11.76	1.59E-01	0.0306	0.2967	-0.3730	0.4107
polyphenol L	59.24	4.21E+01	0.2717	0.2411	<b>0.6493</b>	0.2874
anthocyanin L	953.90	2.90E+04	0.3993	0.6699	0.3222	0.1254
IC L	12.39	8.96E+00	0.5290	0.4699	-0.2287	0.1617
N L	0.50	5.30E-03	<b>-0.7830</b>	-0.3888	0.2266	-0.0646
IBMP	29.33	1.37E+02	0.5604	0.5253	-0.0608	0.5745
intensity N	4.81	5.74E-01	0.1957	-0.1042	-0.2977	-0.4207
complexity N	4.45	5.61E-01	0.1961	0.5009	0.1709	-0.3315
fruit N	4.86	6.29E-01	0.2191	-0.2027	0.1694	<b>-0.6675</b>
yeast N	5.07	5.20E-01	0.7083	-0.0873	0.0851	-0.4373
vegetal N	6.25	8.33E-01	0.3492	0.5492	0.0702	<b>0.6351</b>
intensity M	5.11	7.63E-01	0.5175	0.0864	-0.0671	-0.3043
complexity M	4.99	1.17E+00	0.1657	0.5625	0.3283	<b>-0.6371</b>
fruit M	4.72	7.76E-01	0.1173	0.1030	<b>0.6308</b>	<b>-0.7214</b>
vegetal M	6.08	4.25E-01	0.2338	0.0197	0.1689	<b>0.6258</b>
tannins M	4.56	9.75E-01	0.0259	-0.1025	0.4833	<b>-0.6023</b>
finish M	5.01	8.30E-01	0.6781	-0.1100	0.3167	-0.3095
marks	4.63	1.03E+00	-0.0543	0.3095	0.2092	-0.4866

**Table 10.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained for the wines and terroirs of 2002.

variable 1	variable 2	r	p	variable 1	variable 2	r	p
soil type	berry weight V	0.632	2.7E-02	Ca flowering	TA L	0.641	2.5E-02
altitude	berry weight V	-0.724	7.8E-03	Ca veraison	TA L	0.722	8.1E-03
altitude	TA L	0.770	3.4E-03	Ca flowering	pH L	-0.712	9.4E-03
altitude	pH L	-0.756	4.4E-03	Ca veraison	pH L	-0.788	2.4E-03
altitude	anthocyanin L	0.631	2.8E-02	Ca veraison	K+ V	-0.639	2.5E-02
altitude	IC L	0.721	8.1E-03	Mg veraison	berry weight V	-0.748	5.2E-03
altitude	N L	-0.869	2.4E-04	Mg veraison	TA L	0.785	2.5E-03
altitude	IBMP	0.657	2.0E-02	Mg veraison	pH L	-0.792	2.1E-03
altitude	intensity M	0.621	3.1E-02	Mg veraison	IC L	0.625	3.0E-02
slope	Date V	0.623	3.0E-02	Mg veraison	N L	-0.777	2.9E-03
slope	anthocyanin L	0.714	9.1E-03	Mg veraison	intensity M	0.713	9.3E-03
slope	IBMP	0.838	6.7E-04	Mg veraison	yeast N	0.764	3.8E-03
slope	complexity N	0.641	2.5E-02	N flowering	K+ V	-0.677	1.6E-02
slope	vegetal N	0.710	9.7E-03	N veraison	tartaric ac. L	-0.669	1.7E-02
density	complexity N	0.622	4.1E-02	N veraison	degree L	-0.655	2.1E-02
rootstock	complexity M	-0.714	9.1E-03	N veraison	finish M	-0.614	3.4E-02
vine age	tartaric ac. L	0.626	3.0E-02	inf. depth B	finish M	0.830	8.4E-04
vine age	polyphenol L	0.615	3.3E-02	inf. depth C	vegetal M	0.626	2.9E-02
vine age	finish M	0.642	2.5E-02	structure type B	tartaric ac. L	-0.866	2.7E-04
soil management	complexity M	-0.751	4.9E-03	structure type C	tartaric ac. L	-0.686	1.4E-02
soil management	fruit M	-0.707	1.0E-02	oxydation spots B	berry weight V	0.693	1.3E-02
soil management	marks	-0.738	6.2E-03	oxydation spots C	berry weight V	0.819	1.1E-03
soil manage <sup>1</sup> (row)	finish M	-0.617	3.3E-02	oxydation spots C	TA L	-0.655	2.1E-02
lw	Date V	-0.611	3.5E-02	oxydation spots B	pH L	0.637	2.6E-02
lw	berry weight V	0.639	2.5E-02	oxydation spots C	pH L	0.705	1.0E-02
lw	anthocyanin L	-0.830	8.3E-04	oxydation spots B	K+ V	0.809	1.5E-03
lw	IC L	-0.733	6.7E-03	oxydation spots C	K+ V	0.695	1.2E-02
lw	N L	0.746	5.3E-03	oxydation spots B	yeast N	-0.643	2.4E-02
lw	complexity M	-0.626	2.9E-02	oxydation spots C	yeast N	-0.815	1.2E-03
IB	Date V	0.681	1.5E-02	total roots/ m <sup>2</sup> B	Date V	-0.678	1.5E-02
IB	anthocyanin L	0.726	7.5E-03	total roots/ m <sup>2</sup> C	degree L	0.676	1.6E-02
IB	IC L	0.625	3.0E-02	total roots/ m <sup>2</sup> B	tartaric ac. L	-0.640	2.5E-02
IB	N L	-0.697	1.2E-02	pH H <sub>2</sub> O B	TA L	0.724	7.8E-03
IB	IBMP	0.646	2.3E-02	pH H <sub>2</sub> O C	TA L	0.717	8.7E-03
IB	complexity N	0.663	1.9E-02	pH H <sub>2</sub> O B	pH L	-0.733	6.7E-03
IB	vegetal N	0.628	2.9E-02	pH H <sub>2</sub> O C	pH L	-0.729	7.2E-03
lq	Date V	0.855	3.9E-04	pH H <sub>2</sub> O B	tartaric ac. L	0.837	6.8E-04
lq	anthocyanin L	0.714	9.1E-03	pH H <sub>2</sub> O C	tartaric ac. L	0.803	1.7E-03
lq	complexity M	0.664	1.9E-02	pH H <sub>2</sub> O B	N L	-0.693	1.3E-02
Q	Date V	0.854	4.1E-04	pH H <sub>2</sub> O C	N L	-0.667	1.8E-02
Q	polyphenol L	0.617	3.3E-02	pH H <sub>2</sub> O B	IBMP	0.647	2.3E-02
Q	anthocyanin L	0.679	1.5E-02	pH H <sub>2</sub> O C	IBMP	0.663	1.9E-02
Q	complexity M	0.634	2.7E-02	pH H <sub>2</sub> O B	yeast N	0.619	3.2E-02
K veraison	TA L	-0.781	2.7E-03	pH H <sub>2</sub> O C	yeast N	0.669	1.7E-02
K veraison	pH L	0.866	2.7E-04	%clay B	yeast N	0.637	2.6E-02
K flowering	tartaric ac. L	-0.689	1.3E-02	%clay C	finish M	0.618	3.2E-02
K veraison	K+ V	0.792	2.2E-03	%sand B	yeast N	-0.750	5.0E-03
K veraison	N L	0.703	1.1E-02	%sand C	yeast N	-0.723	7.8E-03

variable 1	variable 2	r	p	variable 1	variable 2	r	p
%sand B	finish M	-0.687	1.4E-02	C/N B	tannins M	-0.621	3.1E-02
%sand C	finish M	-0.765	3.8E-03	C/N C	tannins M	-0.719	8.5E-03
total CaCO <sub>3</sub> B	degree L	0.604	3.8E-02	P mehlich B	tartaric ac. L	-0.858	3.6E-04
total CaCO <sub>3</sub> C	degree L	0.641	2.5E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> B	TA L	0.763	3.9E-03
total CaCO <sub>3</sub> B	IC L	0.641	2.5E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> C	TA L	0.796	2.0E-03
total CaCO <sub>3</sub> C	IC L	0.645	2.4E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> B	pH L	-0.715	9.0E-03
total CaCO <sub>3</sub> B	N L	-0.636	2.6E-02	Mg BaCl <sub>2</sub> C	pH L	-0.732	6.7E-03
total CaCO <sub>3</sub> B	IBMP	0.806	1.6E-03	Mg BaCl <sub>2</sub> B	N L	-0.625	3.0E-02
total CaCO <sub>3</sub> C	IBMP	0.748	5.1E-03	Mg BaCl <sub>2</sub> C	N L	-0.637	2.6E-02
total CaCO <sub>3</sub> B	vegetal N	0.702	1.1E-02	CEC B	TA L	0.768	3.5E-03
total CaCO <sub>3</sub> C	vegetal N	0.670	1.7E-02	CEC C	TA L	0.798	1.9E-03
total CaCO <sub>3</sub> C	fruit M	-0.689	1.3E-02	CEC B	pH L	-0.731	6.9E-03
total CaCO <sub>3</sub> B	tannins M	-0.599	4.0E-02	CEC C	pH L	-0.797	1.9E-03
C/N C	IBMP	0.620	3.2E-02	CEC C	K+ V	-0.674	1.6E-02

**Wines and terroirs 2003** : PCA was carried out on 87 variables, whose mean and variance are presented on the Table 11. Table 12 gives the most important correlation between the studied factors. We retained four PCs for the PCA, which permitted us to account for 70.7 % of the variability on the data set. Table 11 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 6 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2, PC 1 and 3 and PC 1 and 4. The ascending hierarchical classification allowed us to identify 6 categories, which give a good summary of the information.

Climate of Marcillac (A) was cooler and more humid than that of Madiran (M) more humid than the others appellations.

Plots of Marcillac had high altitude, slope and vines and gave wines with high complexity. Plot A2 differed from plots A1 and A5 because it was manual weeding, had a lower K leaf concentration and its soil was higher carbonate concentration and C/N ratio.

Soils of Madiran were silty, porous, with chemical weeding. The N and K leaf concentration was high and wines had high pH and hue and had a high tasting mark.

Soils of plots G4 and F1 were chemically weeded and had medium CEC and Ca concentration. Wines had medium pH and hue and had medium tasting mark.

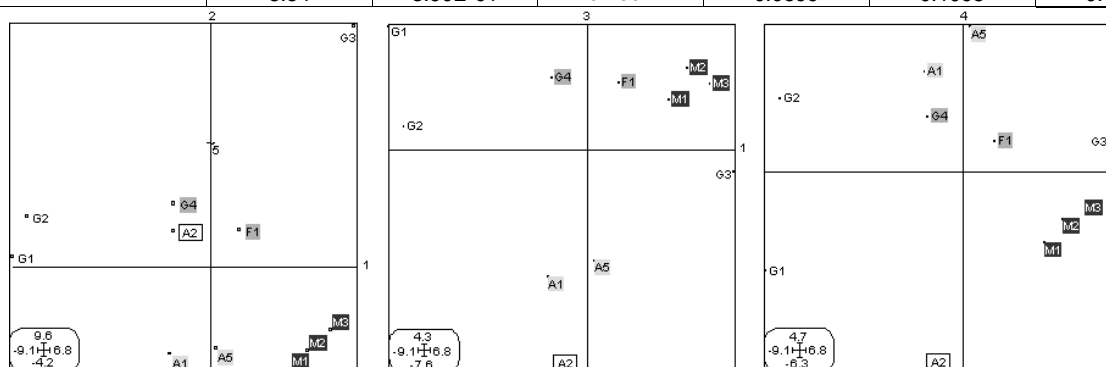
Soils of plot G3 were silty, porous with a high biological activity and root development. The N leaf concentration was high and wine had high pH and hue and received a good tasting mark.

Soils of plots G1 and G2 had high CEC and Ca concentration. The Ca leaf concentration was high and wines had low pH and hue. They received a low tasting mark. Plot G1 had higher carbonate concentration and C/N ratio.

Table 11. Mean, variance and PCs coordinates (coord.) obtained for the wines and terroirs of 2003.

variables	mean	variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3	coord. PC 4
altitude	244.27	1.27E+04	-0.3885	-0.2312	<b>-0.8259</b>	-0.1949
slope	5.91	4.92E+01	-0.0170	-0.3277	<b>-0.7776</b>	-0.1151
soil type	5295.60	3.77E+06	0.1246	-0.2418	0.6250	-0.4303
depht	110.91	5.90E+02	-0.4460	0.3338	-0.0476	0.4444
vine age	25.46	6.42E+01	-0.1723	-0.4333	-0.1097	-0.4999
rootstock	2.27	1.47E+00	-0.6281	0.2791	0.6148	0.0229
density	4411.50	4.18E+05	-0.0031	0.0012	<b>-0.7936</b>	-0.0342
soil management	2.00	1.82E-01	-0.3121	0.2134	0.5190	-0.4502
soil management (row)	2.82	3.31E-01	0.1035	-0.1126	<b>0.6787</b>	<b>0.6561</b>
lq	36.91	4.77E+01	0.4344	<b>-0.7560</b>	-0.4396	-0.1783
Q	195.58	1.85E+03	0.4701	<b>-0.7638</b>	-0.3688	-0.1994
lw	1870.50	1.80E+04	-0.2176	0.5444	<b>0.7315</b>	0.0007
IB	0.20	8.97E-04	-0.0107	<b>-0.7961</b>	-0.2445	-0.3686
inf. depth B	44.64	8.04E+01	0.0084	-0.5566	-0.0924	-0.5742
oxydation spots B	2.73	2.38E+00	0.5379	-0.4386	0.5391	-0.1798
structure type B	8.55	2.98E+00	0.4252	<b>0.7816</b>	-0.0681	0.1041
biological activity B	3.73	3.80E-01	0.5916	0.5638	-0.1529	-0.0319
porosity B	4.55	6.12E-01	<b>0.7720</b>	0.3733	-0.1353	-0.1535
total roots/ m <sup>2</sup> B	259.82	6.21E+03	0.1124	<b>0.7402</b>	0.2505	-0.1519
inf. depth C	110.91	3.18E+03	-0.0281	-0.5096	0.3900	-0.5013
oxydation spots C	3.73	3.65E+00	0.6306	-0.2551	0.6318	-0.1264
reduction spots C	1.45	2.07E+00	0.0228	-0.2711	-0.3401	0.4905
structure type C	7.64	8.41E+00	0.2585	0.6940	-0.2590	0.3235
biological activity C	2.64	7.77E-01	0.2362	<b>0.7234</b>	-0.2804	-0.2314
porosity C	3.55	9.75E-01	0.3803	0.6486	-0.4101	-0.3597
total roots/ m <sup>2</sup> C	171.00	1.44E+04	0.0692	<b>0.8254</b>	-0.2957	-0.1489
pH H <sub>2</sub> O B	6.85	1.10E+00	-0.8483	-0.4030	-0.2274	-0.1512
%gravel B	13.28	3.44E+02	0.3130	0.5351	-0.4858	-0.5032
%silt B	49.46	8.08E+01	<b>0.7359</b>	-0.2393	-0.2473	-0.3692
%sand B	24.82	4.03E+01	0.5066	-0.0867	-0.0733	0.2922
%clay B	25.73	1.41E+02	-0.8266	0.2271	0.1559	0.1230
total CaCO <sub>3</sub> B	11.99	4.71E+02	-0.5619	0.1692	-0.4013	<b>-0.6750</b>
active CaCO <sub>3</sub> B	2.11	1.34E+01	-0.8510	0.1697	0.1043	-0.3203
C/N B	8.02	2.02E+00	-0.2098	0.3257	0.0079	-0.3014
MO B	1.06	1.85E-01	-0.1983	0.5103	-0.4182	-0.4218
P mehlich B	25.65	1.09E+03	0.6327	0.6200	0.1539	0.0275
K BaCl <sub>2</sub> B	1.54	2.37E-01	-0.1499	-0.2434	-0.4652	0.3004
Ca BaCl <sub>2</sub> B	10.50	7.45E+01	<b>-0.9322</b>	0.1315	0.2689	-0.0385
Mg BaCl <sub>2</sub> B	2.18	2.39E+00	-0.8229	-0.1122	-0.0431	0.0888
CEC B	14.12	6.91E+01	<b>-0.9393</b>	0.0392	-0.0127	0.2317
saturation B	100.50	6.10E+02	-0.2436	-0.3328	0.5489	-0.5741
pH H <sub>2</sub> O C	6.80	1.39E+00	-0.7617	-0.4591	-0.2786	-0.1656
%gravel C	17.31	6.72E+02	0.3904	0.6445	-0.3638	-0.3500
%silt C	48.27	5.73E+01	0.4724	-0.4941	-0.0917	-0.5038
%sand C	22.18	2.67E+01	0.5877	0.1037	-0.1164	0.1413
%clay C	29.55	6.90E+01	-0.7962	0.3858	0.2261	0.3713
total CaCO <sub>3</sub> C	12.34	4.27E+02	-0.7060	0.1776	-0.2343	-0.6006
active CaCO <sub>3</sub> C	2.26	1.52E+01	-0.8511	0.1758	0.0884	-0.3013
C/N C	6.14	3.83E+00	-0.4624	0.4104	-0.2162	<b>-0.7229</b>
MO C	0.59	1.51E-01	-0.2019	0.3740	-0.3508	-0.5476

variables	mean	variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3	coord. PC 4
P mehlich C	4.85	6.52E+01	0.2660	0.6788	-0.5622	-0.3675
K BaCl <sub>2</sub> C	1.31	3.00E-01	0.0722	-0.3240	-0.2102	0.0153
Ca BaCl <sub>2</sub> C	11.30	1.12E+02	<b>-0.9108</b>	0.1562	0.3245	-0.0919
Mg BaCl <sub>2</sub> C	2.52	2.34E+00	-0.7105	-0.1368	-0.0536	0.1661
CEC C	14.33	7.80E+01	<b>-0.9153</b>	0.1349	-0.0972	0.0946
saturation C	115.04	2.88E+03	0.0659	-0.3804	0.5938	-0.2613
K flowering	0.98	7.99E-02	-0.2055	0.2067	0.2180	0.4294
K veraison	0.85	5.93E-02	0.1253	<b>-0.8187</b>	0.1316	0.3034
Ca flowering	1.69	1.64E-01	-0.7587	-0.4725	-0.1193	-0.1399
Ca veraison	2.48	3.62E-01	<b>-0.9073</b>	-0.0669	-0.0925	0.1992
Mg flowering	0.19	5.45E-03	-0.8634	-0.0064	0.0020	-0.0297
Mg veraison	0.25	1.52E-02	-0.7043	-0.0719	0.0046	0.0021
N flowering	2.17	3.87E-02	-0.3695	0.5026	-0.3137	0.4696
N veraison	1.76	1.33E-02	<b>0.7509</b>	-0.0046	0.2513	0.1287
Date V	37876.00	1.29E+02	0.3722	-0.6025	-0.5110	-0.0373
berry weight V	306.69	2.87E+03	0.4777	-0.3728	0.3487	-0.3739
K+ V	1.26	7.33E-02	0.3628	0.0461	0.4246	<b>-0.6492</b>
TA L	3.39	3.46E-01	-0.7566	-0.0050	-0.1734	0.3191
pH L	3.65	4.19E-02	<b>0.7572</b>	-0.3600	0.4410	-0.0438
tartaric ac. L	1.82	5.95E-02	-0.7286	-0.3197	-0.5218	0.0549
degree L	12.94	1.39E+00	-0.6898	-0.0249	0.4208	-0.1045
polyphenol L	58.02	1.05E+02	-0.6228	-0.5798	-0.0001	0.1773
anthocyanin L	601.92	2.29E+04	0.2873	-0.6664	-0.5560	-0.0482
IC L	8.21	8.07E+00	-0.6987	-0.2888	0.0300	-0.0620
N L	0.66	6.30E-03	<b>0.8361</b>	0.1523	0.4429	0.0310
intensity N	5.30	6.39E-01	0.2662	0.3437	-0.3913	-0.3028
complexity N	4.82	6.47E-01	0.3536	-0.0881	-0.4692	0.3471
fruit N	5.41	6.24E-01	-0.1252	-0.0070	-0.5170	0.3908
yeast N	5.33	5.89E-01	-0.4308	-0.1422	-0.3240	0.0826
vegetal N	2.17	6.15E-01	-0.0841	-0.5043	0.1997	0.1608
intensity M	5.36	5.00E-01	-0.4758	-0.1237	-0.2431	0.0387
complexity M	5.69	1.34E+00	0.3689	-0.2031	<b>-0.8253</b>	0.1780
fruit M	5.29	7.26E-01	0.4708	-0.2996	-0.4560	0.4406
vegetal M	2.17	5.55E-01	0.1757	-0.5170	0.2714	-0.3862
tannins M	5.45	1.00E+00	0.4826	-0.3907	-0.1669	0.4308
finish M	5.38	4.08E-01	-0.1481	-0.4239	-0.0559	-0.1968
marks	5.54	3.90E-01	<b>0.7862</b>	0.0699	0.1098	0.1904



**Figure 6. Wines and terroirs 2003** : distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2, 1 and 3 and 1 and 4. **PC 1** (28.8 % of the variance): negative values were soils CEC and Ca concentration and leaves Ca concentration at veraison ; positive values were soils silt concentration and porosity, leaves N concentration at veraison and wines pH, hue, and marks. **PC 2** (17.3 % of the variance): negative values were IB, Q, Iq and leave K concentration at veraison ; positive values were soils structure and biological activity and number of roots. **PC 3** (14.2 % of the variance): negative values were altitude, vines density, slope and wines aromatic complexity in the mouth ; positive values were Iw and soil management on row. **PC 4** (10.3 % of the variance): negative values were soil total carbonate concentration and C/N ratio and grapes K concentration.

**Table 12.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained for the wines and terroirs of 2003.

variable 1	variable 2	r	p	variable 1	variable 2	r	p
soil type	vegetal M	0.667	2.5E-02	oxydation spots B	N L	0.608	4.7E-02
depht	K+ V	-0.757	7.0E-03	oxydation spots C	N L	0.771	5.5E-03
altitude	tartaric ac. L	0.725	1.2E-02	oxydation spots C	fruit N	-0.643	3.3E-02
altitude	N L	-0.701	1.6E-02	oxydation spots C	yeast N	-0.712	1.4E-02
slope	tartaric ac. L	0.626	4.0E-02	reduction spots C	complexity N	0.689	1.9E-02
slope	anthocyanin L	0.788	4.0E-03	total roots/ m <sup>2</sup> B	polyphenol L	-0.758	6.8E-03
slope	complexity N	0.617	4.3E-02	total roots/ m <sup>2</sup> B	anthocyanin L	-0.720	1.3E-02
density	complexity N	0.688	1.9E-02	total roots/ m <sup>2</sup> C	vegetal M	-0.707	1.5E-02
density	complexity M	0.620	4.2E-02	Ca veraison	degree L	0.615	4.4E-02
rootstock	date V	-0.846	1.0E-03	Ca veraison	TA L	0.716	1.3E-02
rootstock	degree L	0.807	2.7E-03	Ca veraison	pH L	-0.751	7.8E-03
rootstock	anthocyanin L	-0.681	2.1E-02	Ca flowering	tartaric ac. L	0.804	2.8E-03
rootstock	complexity M	-0.763	6.3E-03	Ca veraison	tartaric ac. L	0.724	1.2E-02
rootstock	fruit M	-0.630	3.8E-02	Ca flowering	polyphenol L	0.787	4.1E-03
soil management	fruit N	-0.704	1.6E-02	Ca veraison	polyphenol L	0.609	4.7E-02
soil management	fruit M	-0.923	5.1E-05	Ca flowering	IC L	0.835	1.4E-03
soil management	tannins M	-0.670	2.4E-02	Ca flowering	N L	-0.771	5.5E-03
lw	date V	-0.651	3.0E-02	Ca veraison	N L	-0.807	2.7E-03
lw	anthocyanin L	-0.830	1.6E-03	Ca veraison	marks	-0.623	4.1E-02
lw	complexity M	-0.826	1.7E-03	K flowering	date V	-0.619	4.3E-02
IB	anthocyanin L	0.667	2.5E-02	K veraison	polyphenol L	0.614	4.4E-02
IB	finish M	0.620	4.2E-02	K flowering	vegetal M	-0.622	4.1E-02
lq	date V	0.814	2.3E-03	Mg flowering	TA L	0.617	4.3E-02
lq	anthocyanin L	0.879	3.6E-04	Mg flowering	pH L	-0.732	1.1E-02
lq	complexity M	0.660	2.7E-02	Mg flowering	N L	-0.727	1.1E-02
Q	date V	0.781	4.5E-03	Mg flowering	intensity M	0.795	3.5E-03
Q	anthocyanin L	0.853	8.4E-04	Mg veraison	intensity M	0.768	5.7E-03
Q	complexity M	0.604	4.9E-02	N flowering	berry weight V	-0.603	5.0E-02
inf. depth C	K+ V	0.633	3.7E-02	N veraison	berry weight V	0.619	4.3E-02
inf. depth B	finish M	0.661	2.7E-02	N veraison	TA L	-0.636	3.6E-02
structure type B	polyphenol L	-0.691	1.9E-02	N flowering	pH L	-0.654	2.9E-02
structure type C	vegetal M	-0.612	4.6E-02	N veraison	pH L	0.719	1.3E-02
biological activity B	degree L	-0.670	2.4E-02	N veraison	tartaric ac. L	-0.727	1.1E-02
biological activity B	tartaric ac. L	-0.632	3.7E-02	N flowering	K+ V	-0.652	3.0E-02
biological activity B	polyphenol L	-0.890	2.5E-04	N veraison	IC L	-0.716	1.3E-02
biological activity C	polyphenol L	-0.694	1.8E-02	N veraison	N L	0.785	4.2E-03
biological activity B	IC L	-0.847	1.0E-03	N flowering	fruit N	0.633	3.7E-02
porosity B	TA L	-0.731	1.1E-02	N flowering	vegetal M	-0.683	2.0E-02
porosity B	tartaric ac. L	-0.610	4.6E-02	pH H <sub>2</sub> O B	tartaric ac. L	0.873	4.5E-04
porosity B	polyphenol L	-0.639	3.4E-02	pH H <sub>2</sub> O C	tartaric ac. L	0.831	1.5E-03
porosity C	polyphenol L	-0.628	3.8E-02	pH H <sub>2</sub> O B	polyphenol L	0.730	1.1E-02
porosity B	IC L	-0.613	4.5E-02	pH H <sub>2</sub> O C	polyphenol L	0.725	1.2E-02
porosity B	N L	0.650	3.1E-02	pH H <sub>2</sub> O B	IC L	0.718	1.3E-02
porosity B	intensity M	-0.626	3.9E-02	pH H <sub>2</sub> O C	IC L	0.675	2.3E-02
porosity C	intensity N	0.742	9.0E-03	pH H <sub>2</sub> O B	N L	-0.893	2.2E-04
oxydation spots B	pH L	0.854	8.1E-04	pH H <sub>2</sub> O C	N L	-0.830	1.6E-03
oxydation spots C	pH L	0.887	2.7E-04	pH H <sub>2</sub> O C	yeast N	0.645	3.2E-02
oxydation spots C	tartaric ac. L	-0.682	2.1E-02	pH H <sub>2</sub> O B	marks	-0.749	8.0E-03
oxydation spots C	K+ V	0.655	2.9E-02	pH H <sub>2</sub> O C	marks	-0.744	8.7E-03

variable 1	variable 2	r	p
%gravel C	polyphenol L	-0.645	3.2E-02
%gravel B	intensity N	0.649	3.1E-02
%gravel C	intensity N	0.703	1.6E-02
%clay C	berry weight V	-0.625	4.0E-02
%clay C	date V	-0.611	4.6E-02
%clay B	degree L	0.653	2.9E-02
%clay B	pH L	-0.645	3.2E-02
%clay C	pH L	-0.670	2.4E-02
%clay B	anthocyanin L	-0.623	4.1E-02
%silt B	date V	0.636	3.6E-02
%silt B	degree L	-0.802	3.0E-03
%sand B	complexity N	0.797	3.3E-03
%sand B	yeast N	-0.688	1.9E-02
total CaCO <sub>3</sub> B	pH L	-0.620	4.2E-02
total CaCO <sub>3</sub> C	pH L	-0.666	2.5E-02
total CaCO <sub>3</sub> B	N L	-0.658	2.8E-02
total CaCO <sub>3</sub> C	N L	-0.688	1.9E-02
total CaCO <sub>3</sub> C	fruit M	-0.624	4.0E-02
total CaCO <sub>3</sub> B	tannins M	-0.614	4.5E-02
total CaCO <sub>3</sub> C	tannins M	-0.648	3.1E-02
total CaCO <sub>3</sub> B	marks	-0.633	3.7E-02
total CaCO <sub>3</sub> C	marks	-0.667	2.5E-02
active CaCO <sub>3</sub> B	date V	-0.620	4.2E-02
active CaCO <sub>3</sub> C	date V	-0.627	3.9E-02
active CaCO <sub>3</sub> B	degree L	0.767	5.9E-03
active CaCO <sub>3</sub> C	degree L	0.762	6.5E-03
active CaCO <sub>3</sub> B	TA L	0.628	3.9E-02
active CaCO <sub>3</sub> C	TA L	0.628	3.9E-02
active CaCO <sub>3</sub> B	pH L	-0.644	3.3E-02
active CaCO <sub>3</sub> C	pH L	-0.653	2.9E-02
active CaCO <sub>3</sub> B	IC L	0.742	9.0E-03
active CaCO <sub>3</sub> C	IC L	0.755	7.3E-03
active CaCO <sub>3</sub> B	N L	-0.634	3.6E-02
active CaCO <sub>3</sub> C	N L	-0.645	3.2E-02
active CaCO <sub>3</sub> B	fruit M	-0.751	7.7E-03
active CaCO <sub>3</sub> C	fruit M	-0.729	1.1E-02
active CaCO <sub>3</sub> B	marks	-0.603	5.0E-02
MO C	tannins M	-0.606	4.8E-02
C/N C	tannins M	-0.726	1.2E-02

variable 1	variable 2	r	p
P mehlich B	polyphenol L	-0.867	5.6E-04
P mehlich C	polyphenol L	-0.642	3.3E-02
P mehlich B	IC L	-0.725	1.2E-02
P mehlich B	N L	0.619	4.2E-02
P mehlich C	intensity N	0.639	3.4E-02
P mehlich B	marks	0.626	3.9E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> B	degree L	0.798	3.3E-03
Ca BaCl <sub>2</sub> C	degree L	0.823	1.9E-03
Ca BaCl <sub>2</sub> B	TA L	0.624	4.0E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> C	TA L	0.632	3.7E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> B	pH L	-0.650	3.0E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> C	pH L	-0.608	4.7E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> B	IC L	0.638	3.5E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> C	IC L	0.614	4.5E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> B	N L	-0.656	2.8E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> C	complexity M	-0.658	2.8E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> C	fruit M	-0.662	2.7E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> C	tannins M	-0.621	4.1E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> B	marks	-0.728	1.1E-02
Ca BaCl <sub>2</sub> C	marks	-0.727	1.1E-02
Mg BaCl <sub>2</sub> B	TA L	0.674	2.3E-02
Mg BaCl <sub>2</sub> C	TA L	0.671	2.4E-02
Mg BaCl <sub>2</sub> B	pH L	-0.629	3.8E-02
Mg BaCl <sub>2</sub> B	N L	-0.691	1.9E-02
Mg BaCl <sub>2</sub> C	N L	-0.683	2.1E-02
Mg BaCl <sub>2</sub> B	marks	-0.721	1.2E-02
Mg BaCl <sub>2</sub> C	marks	-0.697	1.7E-02
CEC B	degree L	0.624	4.0E-02
CEC B	TA L	0.788	4.0E-03
CEC C	TA L	0.767	5.9E-03
CEC B	pH L	-0.756	7.1E-03
CEC C	pH L	-0.782	4.5E-03
CEC B	tartaric ac. L	0.663	2.6E-02
CEC C	tartaric ac. L	0.644	3.3E-02
CEC B	N L	-0.769	5.7E-03
CEC C	N L	-0.753	7.5E-03
CEC B	marks	-0.784	4.3E-03
CEC C	marks	-0.825	1.8E-03

**Vintage Effects** : PCA was carried out on 34 variables, whose mean and variance are presented on the Table 13. Table 14 gives the most important correlation between the

studied factors. We retained four PCs for the PCA, which permitted us to account for 56.7 % of the variability on the data set. Table 13 gives the coordinates of variables on each PC. Figure 7 represents the distribution of the individuals in the center of the orthogonal axis formed by PC 1 and 2 and PC 1 and 3. The ascending hierarchical classification allowed us to identify 5 categories, which give a good summary of the information.

Group A brings plots of Marcillac, G1 and G2 in 2003: The Ca leaf concentration was high and wines developed yeasty aromas. Marcillac had a colder climate, a lesser Ca leaf concentration and higher anthocyanin wine concentration than plots G1 and G2, also the wines were more complex and tannic (particularly A1 and A5).

Group B brings plots of Madiran, F1, G3 and G4 in 2003 and plot G3 in 2001: wines had high hue. Plots of Madiran had a colder climate, a lesser Ca leaf concentration, grapes had larger berries and wines had higher pH and anthocyanin concentration than plots F1, G3 and G4 in 2003, also the wines were more complex and tannic (particularly M1 and M3 in 2003 and G3 in 2001).

These two groups were characterized by a hot and dry climate and wines with high hue and low IBMP concentration and vegetal tasting.

Group C brings plots F1 and M2 in 2001 and 2002, plots M1, B1 and A5 in 2001 and plots G3 in 2002: grapes had large berries and wines had high pH. Plots M1 and M2 in 2001, had a higher K concentration and gave wines with higher anthocyanin concentration, they were more complex and tannic than the others.

Group D brings plots G1, G4 and A4 in 2001 and 2002 and plots A2, A5 and G2 in 2002: wines had high IBMP concentration and low anthocyanin concentration, they had vegetal aromas but low complexity (except A2 and A5 in 2002). In 2001, the berry weight and the wine pH were higher than in 2002.

Group E brings plots A1 and A3 in 2001 and 2002, plots A2 and G2 in 2001 and plot M1 in 2002: the berry weight was low and wines had low pH, high IBMP and anthocyanin concentration, vegetal aromas and complexity (particularly in 2002). Wines of plot M1 and G2 had higher pH than the others and Ca leaf concentration of plots A1 and A3 in 2002 was higher than the others and their wines developed more yeasty aromas.

Whatever the plot, loading obtained on PC 1 are higher in 2002 and lower in 2003. Also loading obtained on PC 2 was higher in 2003 and lower in 2001. Vintage 2003 was the hottest and the driest, the Ca leaf concentration was highest, grapes had smallest berries and



wines had highest hue and yeasty aromas. Vintage 2002 was the coldest and the most humid, wines had highest IBMP concentration and vegetal aromas.

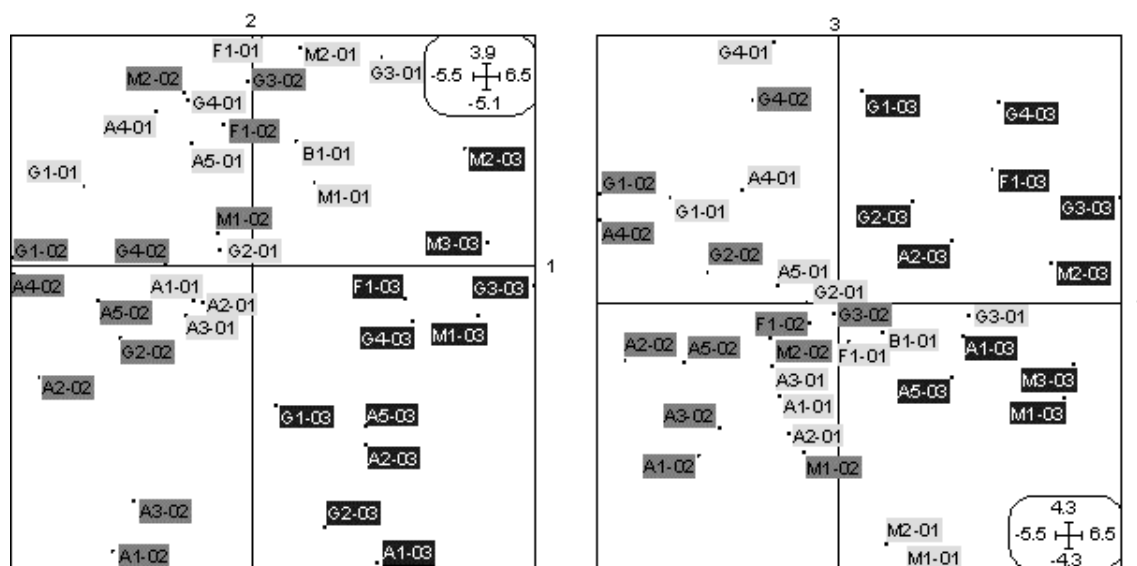
**Table 13.** Mean, variance and PCs coordinates (coord.) obtained for the vintage effects.

variables	mean	variance	coord. PC 1	coord. PC 2	coord. PC 3
lw	1529.80	7.65E+04	<b>-0.8249</b>	0.0921	<b>-0.4313</b>
IB	0.48	4.30E-02	<b>0.8607</b>	-0.2405	0.3109
K flowering	1.25	1.53E-01	0.2646	-0.3517	0.1173
K veraison	0.97	5.21E-02	0.0065	-0.5225	<b>0.5937</b>
Ca flowering	1.87	2.11E-01	0.4680	0.3306	-0.0617
Ca veraison	2.50	3.08E-01	0.4539	<b>0.6340</b>	<b>-0.3347</b>
Mg flowering	0.26	6.13E-03	0.7193	0.0411	-0.1303
Mg veraison	0.31	2.20E-02	0.5610	0.4549	-0.0397
N flowering	2.38	7.21E-02	0.5519	-0.1477	-0.2341
N veraison	1.80	2.77E-02	-0.1019	-0.6319	-0.1314
Date V	37164.00	1.92E+02	0.6332	-0.3934	0.4458
berry weight V	367.17	4.41E+03	0.2605	<b>-0.7606</b>	0.2408
K+ V	1.23	9.58E-02	-0.4456	-0.4897	0.1750
TA L	3.66	2.70E-01	0.7464	0.4588	-0.1276
pH L	3.67	3.26E-02	-0.4296	<b>-0.7545</b>	0.3426
tartaric ac.	2.02	1.16E-01	0.6129	0.2586	0.2615
degree L	12.38	8.57E-01	-0.3457	0.2045	-0.1167
polyphenol L	56.22	1.07E+02	0.0735	0.3255	0.3995
anthocyanin L	814.98	6.00E+04	0.5351	-0.0875	<b>0.6715</b>
IC L	9.99	1.25E+01	0.6027	0.2305	0.1996
N L	0.58	9.98E-03	<b>-0.8899</b>	-0.3191	-0.0799
IBMP	13.27	2.48E+02	<b>0.7966</b>	0.0175	0.0492
intensity N	5.23	6.98E-01	-0.3196	0.1334	0.4512
complexity N	4.62	6.54E-01	-0.2467	0.2695	<b>0.6205</b>
fruit N	4.98	7.15E-01	-0.3303	0.5798	0.1889
yeast N	4.43	1.81E+00	-0.0002	<b>0.6844</b>	-0.2310
vegetal N	4.24	3.61E+00	<b>0.8586</b>	-0.1238	0.1262
intensity M	5.23	5.90E-01	0.0580	0.5509	0.3209
complexity M	4.97	1.30E+00	-0.3529	0.5406	0.5282
fruit M	4.73	7.91E-01	-0.4577	0.4300	0.3991
vegetal M	4.31	3.24E+00	<b>0.8379</b>	-0.2157	0.1384
tannins M	4.94	9.93E-01	-0.5099	0.2756	<b>0.6157</b>
finish M	5.18	8.60E-01	-0.2119	0.3543	0.4691
marks	5.05	7.68E-01	-0.5318	0.2087	0.3596

**Table 14.** Correlation coefficient (r) and P value (p) obtained for the vintage effects.

variable 1	variable 2	r	p
Date V	[Anth] L	0.611	7.6E-05
Date V	Veg N	0.619	5.7E-05
Date V	Veg B	0.7050	1.61E-06
berry weight V	fruit N	-0.598	1.2E-04
berry weight V	yeast N	-0.611	7.6E-05
TA L	pH L	-0.717	8.7E-07
TA L	N L	-0.799	5.3E-09
pH L	K+ V	0.609	8.0E-05
pH L	N L	0.625	4.5E-05
tartaric ac. L	N L	-0.662	1.1E-05
polyphenol L	IC L	0.619	5.7E-05
N L	IBMP	-0.661	1.2E-05
N L	vegetal N	-0.672	7.3E-06
N L	vegetal M	-0.639	2.7E-05
complexity M	fruit M	0.777	2.6E-08
complexity M	tannins M	0.679	5.4E-06
fruit N	fruit M	0.608	8.3E-05
fruit M	tannins M	0.611	7.5E-05
vegetal N	vegetal M	0.926	5.8E-16
vegetal N	IBMP	0.840	1.5E-10
vegetal M	IBMP	0.723	6.3E-07
Iw	IB	-0.927	5.1E-16
Ca flowering	Ca veraison	0.725	5.6E-07
Mg flowering	Mg veraison	0.702	1.9E-06

variable 1	variable 2	r	p
Date V	IB	0.794	7.6E-09
Date V	Iw	-0.784	1.6E-08
TA L	Ca veraison	0.694	2.7E-06
TA L	Mg veraison	0.643	2.3E-05
pH L	K veraison	0.651	1.7E-05
pH L	Ca veraison	-0.770	4.1E-08
pH L	Mg veraison	-0.610	7.9E-05
tartaric ac. L	Iw	-0.611	7.5E-05
N L	IB	-0.688	3.6E-06
N L	Iw	0.712	1.1E-06
N L	Mg flowering	-0.641	2.5E-05
N L	Mg veraison	-0.632	3.5E-05
N L	IC L	-0.710	1.2E-06
anthocyanin L	IB	0.643	2.3E-05
anthocyanin L	Iw	-0.693	2.8E-06
IBMP	IB	0.737	3.0E-07
IBMP	Iw	-0.747	1.6E-07
vegetal N	IB	0.861	1.7E-11
vegetal N	Iw	-0.792	9.0E-09
vegetal M	IB	0.847	7.6E-11
vegetal M	Iw	-0.774	3.1E-08



**Figure 7. Vintage effects** : distribution of individuals in the center of the orthogonal axis formed by the PC 1 and 2 and 1 and 3. **PC 1** (28.5 % of the variance): negative values were Iw and wines hue ; positive values were IB and wines IBMP concentration and vegetal aromas on the nose and in the mouth. **PC 2** (16.8 % of the variance): negative values were berries weight and wines pH ; positive values were leaves Ca concentration and wines yeasty aromas on the nose. **PC 3** (11,4 % of the variance): negative values were Iw and leaves Ca concentration ; positive values were leaves K concentration and wines anthocyanin concentration, aromatic complexity on the nose and tannins in the mouth.

## DISCUSSION

These results showed that Fer Servadou wines were principally characterised by their acidity (total acidity and pH) and their color (DO, colored intensity, hue). Also the enological potential depended on the vintage and it was rather difficult to determine the factors, which influenced the quality of the wines. In fact, even if the chemical analysis of the wines permitted us to specify certain factors of quality, the sensory evaluation, although subjective, remained decisive.

Even if the enological potential depended on the vintage, results showed that soil and climate determined certain characteristics of the wines.

Wines from the high carbonate soil (distinctive structure, high pH, conductivity, CEC and Ca concentration) were acid, colored, well structured (high polyphenol and anthocyanin concentration) and complex. On these soils, the colder and more humid climates increased the aromatic potential and the structure. Also, wines were more fruity and less vegetal when the nitrogen nutrition was low. Wines from the low carbonate soils (numerous oxidation spots, high value, silty and K/CEC ratio) were fruity with low acidity, color and structure. On these soils, colder and more humid climate increased the acidity and the structure. In addition, the wines were more acid when the N and K nutrition was low. In this study, we assume they were four components of soil that play an important part on wine quality because they induce numerous physical and chemical characteristics of the soil. First, the granulometric composition determines soil structure, stability and porosity, which affect the root development. It also determines soil CEC and water retention, which affect mineral nutrition. Second, organic matter determines soil structure, porosity, biological activity, which affect root development. At the same time, it determines soil CEC, water retention, and available P and N concentration, which affect mineral nutrition. Third, calcium concentration determines the soil pH, conductivity, saturation, CEC and also in this study Mg concentration which affect mineral nutrition. Lastly, oxido-reduction phenomenon, linked to temporary excess of water, leaching of particles and biological activity, determine Ca concentration and CEC and affect root development and mineral nutrition. According to Jackson and Lombard (1993), the soil affects the vine and grape quality because it regulates water supply to the vine, availability of nutrients and root penetration but it also creates a micro-climate (absorption, heat replacement and light reflection). In this way, granulometric composition, organic matter, calcium concentration, oxido-reduction phenomenon all affect

the nutrient availability and hydro-mineral nutrition and consequently vine metabolism and wine quality.

Results showed that on high carbonate soil the nutrition was higher for Ca and Mg but lower for K and N than on low carbonate soils and these results concur with those obtained by Bertoni and Morard (1982) in the same region on the Chasselas de Moissac variety. As several other authors have shown, we can affirm that K nutrition strongly affects the quality of the wines in Fer servadou variety, and notably their pH (Cadet et Garcia 2003 ; Hepner and Bravdo 1985) and their color (Somers 1975). On the other hand, we observed that an increase of Ca and Mg nutrition induced an increase of acidity in the wine. Also, Mg nutrition seemed to influence the color and aromatic intensity of the wines, as the result of its function in the plant. Indeed, Mg is a major component of chlorophyll and is necessary for its' synthesis, as it intervenes in protein synthesis and is the catalyst of numerous enzyme reactions (Marshner 1997).

In this study we showed that climate played a major role in wine quality because it determines the water (rain) and the energy supply (temperature and light) to the vine. Results showed that vines planted on the coldest terroirs produced acid wines with high anthocyanin concentration and complexity. We supposed that temperature and light had two different effects on wine quality. An increase of light and temperature tended to increase the synthesis of organic acid but at the same increase their degradation (Alleweldt *et al.* 1984, Ibrahim *et al.* 2001). Some authors declared the importance of the variation of night and day temperature for the anthocyanin (Mateus *et al.* 2002 Becker 1977) and for the accumulation of aromatic compounds in grapes (Smart *et al.* 1980, and Kliewer, 1973). We also observed that climate can affect the mineral nutrition: high temperatures increased Ca absorption but decreased those of N and K. These results concur with those obtained on limestone soil by Garcia *et al.* (1984) which showed that where the climate was hotter and dryer (weak Ib), the nitrogen content in the laminae decreased and the calcium content increased.

This study showed that the IBMP concentrations of the wines were on carbonated soils but particularly in the coldest terroirs. These results correspond with those already obtained by Roujou De Boubée *et al.* (2004) and Allen (1993). As Roujou de Boubée (2000), has shown, the vegetal aromas apparent in tasting were connected to the IBMP concentration of the wines, however they were observed more in the most acid wines. We showed that these vegetal aromas did not always alter the quality of Fer Servadou wines, on the contrary, they contributed to a greater aromatic complexity.

Principal components analysis permitted us to differentiate four terroirs who gave four differing types of wines and to identify the most important factors, which can affect wine quality. Nevertheless, it was difficult to establish the importance of each factor separately as it seems that climate and soil together determine vine metabolism and thus wine quality. As a result, we believe it is essential that the study of soil and climate must be included in the determination of terroir.

## **CONCLUSIONS**

PCA allowed us to show that the four terroirs determined previously each possessed a different enological potential. On high carbonate soil with a cold and humid climate, vines had low or medium K but high Ca and Mg nutrition, the grapes ripened late and the wines were acid, well structured with high aromatic potential (wine for long ageing). On the other hand, on high carbonated soil with a hot and dry climate, vines had low or medium K but high Ca and Mg nutrition, the grapes ripened quite late and wines were acid, quite well structured with low aromatic potential (wine for ageing). Whereas, on low carbonate soil with a hot and humid climate, the vines had low Ca and Mg but high K nutrition, the grapes ripened quickly and the wines had low acidity but were quite well structured with fruity aromas (wines for short ageing). Finally, on low carbonate soil with a hot and dry climate, the vines had low Ca and Mg but high K nutrition, the grapes ripened quickly and the wines had very low acidity with fruity aromas (for drinking quickly). These results therefor reveal the overall importance of climate and soil interaction for zoning as well as for determining wine quality.

## 4. Synthèse des résultats

### 4.1. Caractérisation des terroirs

#### ➤ Caractéristiques générales des parcelles :

Ces variables nous ont permis de déterminer 3 groupes de parcelles qui se différencient principalement en fonction du climat caractéristique de l'appellation. Ainsi, par rapport aux appellations de Gaillac, Côtes du Frontonnais et Coteaux du Bruhlois, le climat de l'appellation Marcillac est plus froid et plus humide, car il est proche du Massif Central (influence montagnarde) et celui de l'appellation Madiran est plus humide, car plus proche de l'océan (influence océanique). Les parcelles de l'appellation Marcillac sont également caractérisées par une altitude, une pente et une densité de plantations plus élevées que les autres appellations ; le porte greffe-utilisé est toujours le Riparia Gloire. Au sein de chaque appellation, les parcelles se différencient aussi par l'exposition, le type et la profondeur du sol, ainsi que par l'âge de la vigne et le travail du sol.

Les indices climatiques sont positivement corrélés entre eux et avec les précipitations annuelles (tableau 16), mais pas avec la température moyenne annuelle. L'indice d'aridité de Martone et le quotient pluviométrique d'Emberger nous informent donc sur l'importance des apports en eau, mais peu sur les températures ; l'un ou l'autre peut être utilisé pour caractériser le climat de la région Midi-Pyrénées.

**Tableau 16.** Coefficient de corrélations obtenus pour les indices climatiques

	<i>Q</i>	<i>PP annuelle</i>
Iq	0,9936	0,89163
Q	-	0,91996

#### ➤ Les sols :

- *Profils pédologiques* : Les horizons superficiels se différencient nettement des horizons profonds car il sont plus riches en matière organique, plus poreux, et leur activité biologique est plus importante. Les horizons profonds sont quant à eux caractérisés par la présence

d'éléments figurés (tâches d'oxydation et de réduction). Les sols se différencient principalement par la présence d'éléments carbonatés (effervescence à l'acide chlorhydrique) ou de tâches d'oxydation, mais aussi par leur structure, leur couleur (value), leur transition entre horizons et leur teneur en cailloux.

- *Analyses physico-chimiques des sols* : Comme pour les profils, les horizons superficiels se détachent nettement des horizons profonds car il sont plus riches en matière organique et en phosphore assimilable ; les horizons profonds sont plus argileux. Les sols se différencient principalement par leur pH, leur conductivité, leur capacité d'échange cationique, leur teneur en calcium et en potassium (K/CEC) et leur richesse en limons et en argile. Ils se différencient également par leur teneur en magnésium, en phosphore, en matière organique et en cailloux.

- *Conclusion* : Le tableau 17 donne les principales caractéristiques des sols des différentes parcelles. Deux grands groupes de terroirs se différencient en fonction du type de sol, carbonaté ou non carbonaté. Quel que soit le type de sol, les parcelles se différencient aussi par la présence ou l'absence de cailloux et une teneur importante en MO et en phosphore assimilable, ou une teneur importante argile. Les parcelles se différencient également par leur teneur en Mg pour les sols carbonatés et celle en Ca pour les sols non-carbonatés.

**Tableau 17.** Principales caractéristiques des sols des différentes parcelles

Présence d'éléments carbonatés Structure nette pH ↗ Conductance ↗ CEC ↗ Ca ↗				Présence de tâches d'oxydation Value ↗ Transition peu nette, irrégulière Limon ↗ K/CEC ↗			
Présence de cailloux		Absence de cailloux		Absence de cailloux		Présence de cailloux	
Argile ↗ Mg ↗	MO ↗ P ↗	Argile ↗ Mg ↗		Argile ↗ Ca ↗		MO ↗ P ↗	MO ↗ P ↗
	A2, A4	A1,	G1, G2, G4	M1, M2,F1,	A5	M3, B1	G3
A3							

#### 4.2. *La nutrition minérale*

La nutrition minérale est liée aux caractéristiques des sols. En effet, l'alimentation de la vigne en calcium et magnésium est élevée sur les sols carbonatés (parcelles A1, A2, A3, A4, G1, G2 et G4) alors qu'elle est faible sur les sols non carbonatés (parcelles M1, M2, M3, B1, F1 et G3). Inversement, l'alimentation potassique est élevée pour les sols non carbonatés mais faible pour les sols carbonatés. La parcelle A5 quant à elle présente une alimentation très équilibrée en K, Ca, Mg et N.

Cependant, la nutrition la nutrition minérale est aussi affectée par le climat. Les résultats montrent qu'en 2003, millésime particulièrement sec et chaud, les teneurs foliaires en calcium sont plus importantes, et celles en potassium et en azote plus faibles par rapport à 2001 et 2002.

#### 4.3. *Maturation et composition des raisins*

- **Effet du millésime :** L'analyse en composante en principale effectuée sur l'ensemble des contrôles maturité, réalisés au cours des trois années et sur l'ensemble du réseau Fer servadou, montre que les facteurs qui varient le plus fortement sont la teneur en sucre, l'acidité totale, le poids des baies et la teneur en polyphénols. Le millésime 2001 se caractérise par une teneur en sucre et une acidité moyenne, de grosses baies et des teneurs élevées en anthocyanes. Le millésime 2002 se caractérise par une maturité plus tardive (teneur en sucre plus faible et acidité plus forte) et des teneurs en anthocyanes plus importantes par rapport à 2001. Le millésime 2003, année particulièrement chaude et sèche, se détache nettement des deux autres et se caractérise par une maturité beaucoup plus précoce (teneur en sucre plus élevée et faible acidité), des baies de petite taille et des teneurs importantes en polyphénols mais faibles en anthocyanes. Nous avons ensuite étudié chaque millésime indépendamment des autres.



➤ **Millésime 2001** : Au cours des différentes dates de prélèvement l'acidité totale diminue, alors que la teneur en sucre augmente. Ces deux facteurs sont les principales composantes de l'axe 1, qui représente plus de 60 % de la variabilité. Les résultats montrent que :

- les parcelles les plus précoces sont : M1, M2, F1, M3 et B1 (le score sur l'axe 1 devient positif à partir de la date 3).
- les parcelles moyennement précoces sont : G3, G2, G4, A2 et G1 (le score sur l'axe 1 devient positif à partir de la date 4).
- les parcelles les plus tardives sont : A1, A3, A4, A5 (le score sur l'axe 1 devient positif à partir de la date 5).

Les axes 2 et 3 représentent la grosseur des baies de raisin et leurs teneurs en anthocyanes et polyphénols. Les principales caractéristiques des raisins à maturité sont résumées dans le tableau 18.

**Tableau 18.** Principales caractéristiques des raisins lors du dernier contrôle maturité (2001)

				<i>Date</i>		
				3	5	6
AT ↗ Sucre ↘	Grosses baies	Polyphénols ↘	Anthocyanes ↘	M1		A4
	Baies moyennes	Polyphénols ↘	Anthocyanes ↗			G1, G3, G4
	Petites baies	Polyphénols ↗	Anthocyanes ↘	M2, M3		A3, A5
AT ↘ Sucre ↗	Baies moyennes	Polyphénols ↘	Anthocyanes ↗		F1	B1, A2
	Petites baies	Polyphénols ↗	Anthocyanes ↘			A1, G2
		Polyphénols ↗	Anthocyanes ↗			

➤ **Millésime 2002** : Au cours des différentes dates de prélèvement, l'acidité totale diminue alors que la teneur en sucre et le pH augmentent. Ces trois facteurs sont les principales composantes de l'axe 1, qui représente plus de 57 % de la variabilité. Les résultats montrent que :

- les parcelles les plus précoces sont : G3 (le score sur l'axe 1 devient négatif à partir de la date 3).
- les parcelles moyennement précoces sont : F1, G2 et G4 (le score sur l'axe 1 devient négatif à partir de la date 4).
- les parcelles tardives sont : A2, A4 et G1, (le score sur l'axe 1 devient négatif à partir de la date 5).
- les parcelles les plus tardives sont : A1, A3 et A5 (le score sur l'axe 1 devient négatif à partir de la date 6).

Les axes 2 et 3 représentent la grosseur des baies de raisin et leur teneur en anthocyanes et polyphénols. Les principales caractéristiques des raisins à maturité sont données dans le tableau 19.

**Tableau 19.** Principales caractéristiques des raisins lors du dernier contrôle maturité (2002)

				<i>Date 6</i>
AT ↗	Grosses baies	Polyphénols ↗	Anthocyanes ↘	G1, G4
pH ↘				
Sucre ↘	Petites baies	Polyphénols ↘	Anthocyanes ↗	A1, A3, A5
AT ↘	Grosses baies	Polyphénols ↘	Anthocyanes ↘	G3
pH ↗				
Sucre ↗	Petites baies	Polyphénols ↘	Anthocyanes ↗	A2, A4, G2

➤ **Millésime 2003** : Au cours des différentes de prélèvement, l'acidité totale diminue alors que la teneur en sucre augmente. Ces deux facteurs sont les principales composantes de l'axe 1, qui représente plus de 57 % de la variabilité. Les résultats montrent que :

- les parcelles les plus précoces sont : G3 et G2 (le score sur l'axe 1 devient négatif à partir de la date 0).
- les parcelles moyennement précoces sont : M2, B1, M1 et G1 (le score sur l'axe 1 devient négatif à partir de la date 1).
- les parcelles tardives sont : A3, G4 et F1 (le score sur l'axe 1 devient négatif à partir de la date 2).
- les parcelles les plus tardives sont : A2, A1, A5, A4 et M3 (le score sur l'axe 1 devient négatif à partir de la date 3).

Les axes 2 et 3 représentent la grosseur des baies de raisin, leur pH et leur teneur en sucre, anthocyanes et polyphénols. Les principales caractéristiques des raisins à maturité sont données dans le tableau 20.

**Tableau 20.** Principales caractéristiques des raisins lors du dernier contrôle maturité (2003)

			<i>Date</i>			
			0	2	3	4
AT ↗ Sucre ↘	Grosses baies	Polyphénols ↗, pH ↘	G2			A4
	Anthocyanes ↘	Polyphénols ↘, pH ↗				A2, B1, G4
	Petites baies	Polyphénols ↗, pH ↗				A1, A5
	Anthocyanes ↗	Polyphénols ↘, pH ↘				
AT ↘ Sucre ↗	Grosses baies	Polyphénols ↗, pH ↘		G1		M2, M3
	Anthocyanes ↘	Polyphénols ↘, pH ↗		G3		
	Petites baies	Polyphénols ↗, pH ↘			F1	M1
	Anthocyanes ↗	Polyphénols ↗, pH ↗				A3

- **Conclusion** : Quel que soit le millésime, les parcelles A1, A3, A4 et A5 sont toujours les plus tardives et les parcelles M1, M2, F1 et B1 les plus précoces. Pour le millésime 2003 la maturité est beaucoup plus précoce que les deux autres millésimes. Concernant la qualité des raisins, il est difficile de tirer des conclusions, car l'effet du millésime n'a pas le même impact selon les terroirs. La maturation et la qualité des raisins est donc dépendante à la fois du climat et du sol. D'une manière générale, nous remarquons que :
- Sur les sols carbonatés la maturation est plus tardive et les raisins sont plus acides,
  - Sur les sols non carbonatés la maturation est plus précoce et les raisins ont des baies plus grosses et un pH plus élevé.
  - Sur les terroirs les plus chauds la maturation des raisins est plus précoce, et les raisins ont un pH élevé et des teneurs en acide malique et en anthocyanes faibles.
  - Quel que soit le terroir, les raisins du millésime 2003 (particulièrement chaud et sec) sont plus riches en polyphénols que ceux des millésimes 2001 et 2002.

#### 4.4. Qualité des vins

- **Millésime 2001** : Les vins de Fer Servadou en 2001 se différencient principalement par leur acidité totale et leur teneur en alcool, en polyphénols et la quantité de tanins en bouche (axe 1), mais aussi par l'intensité des arômes végétaux et fermentaires, leur nuance et leur teneur en potassium (axe 2). Les caractéristiques des vins des différentes parcelles sont résumées dans le tableau 21.

**Tableau 21.** Principales caractéristiques des vins du millésime 2001

pH ↗ AT ↘	Couleur ↘	Note fruité et fermentaire ↗	K ↗	G3
		Note végétale et fermentaire ↘	K ↗	B1, F1
	Couleur ↘	Note végétale et fermentaire ↘	tanins ↗	M1, M2
pH ↘ AT ↗	Couleur ↘	Note végétale et fermentaire ↘	K ↗	A4, A5, G4
		Note végétale et fermentaire ↗	complexité ↘	G1, G2
			complexité ↗	A1, A2, A3

- **Millésime 2002** : Les vins de Fer Servadou en 2002 se différencient principalement par leur pH et leur couleur (axe 1) mais aussi leur acidité totale, leur teneur en potassium (axe 2) et leurs caractéristiques aromatiques (teneur en IBMP, note végétale et fruitée). Les caractéristiques des vins des différentes parcelles sont résumées dans le tableau 22.

**Tableau 22.** Principales caractéristiques des vins du millésime 2002

Couleur ↘	Note fruitée ↗	AT ↘ et K ↗	G3, M2, F1
		AT ↗ et K ↘	G4
Couleur ↗	Note fruitée ↗	AT ↘ et K ↗	M1
	Note végétale ↘	AT ↘ et K ↗	G2, A5
	Note végétale ↗	AT ↗ et K ↘	G1, A2, A4
	Note fruitée ↗	AT ↗ et K ↘	A1, A3

- **Millésime 2003** : Les vins de Fer Servadou en 2003 se différencient principalement par leur pH et leur couleur (axe 1) mais aussi leur acidité totale, leur teneur en acide tartrique, en anthocyanes et potassium (axe 2), leur teneur en acide malique et leurs caractéristiques aromatiques (note fruitée et complexité aromatique). Les caractéristiques des vins des différentes parcelles sont résumées dans le tableau 23.

**Tableau 23.** Principales caractéristiques des vins du millésime 2003

pH ↗ AT ↘	Couleur ↘	Anthocyanes ↗	Complexité ↘	M3
		Anthocyanes ↘	Complexité ↘	G3, G4, F1
	Couleur ↗	Anthocyanes ↗	Complexité ↘	M1, M2
pH ↘ AT ↗	Couleur ↗	Anthocyanes ↗	Complexité ↗	A1, A2, A5
	Couleur ↗	Anthocyanes ↘	Complexité ↘	G1, G2

- **Conclusion** : Les résultats montrent que, quel que soit le millésime étudié, les vins se caractérisent principalement par leur acidité (acidité totale et pH) et leur couleur (DO, intensité colorante, nuance et teneur en polyphénols totaux), mais aussi par leurs caractéristiques aromatiques. Le potentiel œnologique de chaque parcelle est variable d'une année à l'autre et les vins ne sont pas jugés de la même manière selon le millésime. En 2001 et 2002, les vins les mieux notés à la dégustation sont plus acides,

plus riches en IBMP, ils développent plus d'arômes végétaux et fermentaires et sont plus complexes. En 2003, année particulièrement chaude et sèche, les vins les mieux notés sont moins acides, plus riches en anthocyanes et plus tanniques. Ainsi, la qualité des vins dépend de l'interaction de plusieurs facteurs qui doivent se trouver en équilibre dans le vin, ce qui rend la qualité difficile à définir.

#### **4.5. Détermination du potentiel viticole**

L'ACP suivie d'une classification hiérarchique ascendante nous a permis de différencier quatre groupes de terroirs ayant des potentialités viticoles différentes.

Sur les sols non-carbonatés, oxydés, riches en sable et en limon et présentant une faible CEC, l'alimentation potassique est importante, la maturation des raisins est précoce (S/AT élevé à la date 1), et les baies sont plus grosses, ont un pH élevé et de faibles teneurs en acide tartrique. Les parcelles de Madiran se différencient des parcelles B1, F1 et G3 car le climat est plus humide, la maturation des raisins plus tardive et les baies plus riches en anthocyanes et en acide malique.

Sur les sols carbonatés, riches en argiles, en Ca, en Mg et ayant un pH et une CEC élevée, l'alimentation calci-magnésienne est importante, la maturation des raisins est tardive et les baies sont plus petites, plus riches en acide tartrique et malique et leur pH, leur teneur en potassium et leur rapport S/AT sont plus faibles. Les parcelles de Marcillac se différencient des parcelles G1, G2 et G4 car le climat est plus froid et plus humide, la maturation des raisins plus tardive et les baies plus riches en anthocyanes et en acide malique.

#### **4.6. Détermination du potentiel oenologique**

- **Effet du millésime :** Quelle que soit la parcelle étudiée, le millésime 2001 se caractérise par une alimentation potassique de la vigne élevée, une vendange plus tardive, des baies de raisin plus grosses et des vins moins acides, moins complexes en bouche et moins fermentaires au nez. Le millésime 2002 se caractérise par un climat plus frais et plus

humide et des vins plus acides, plus riches en IBMP et plus végétaux à la dégustation. Le millésime 2003 se caractérise par un climat plus chaud et plus sec et des vins moins acides, moins colorés (nuance élevée), plus tanniques, plus fruités et moins végétaux (et teneur en IBMP très faibles).

➤ **Millésime 2001 :** Cinq groupes de terroirs ayant des potentialités œnologiques différentes ont été identifiés.

- Sur les sols carbonatés les vins sont plus acides, plus colorés et développent plus d'arômes végétaux. Les parcelles de Marcillac (groupe 1) se différencient des parcelles G1 et G2 (groupe 2) car le climat est plus froid et les vins plus riches en IBMP et plus complexes.
- Sur les sols non carbonatés les vins sont moins acides, moins colorés et développent moins d'arômes végétaux. Les parcelles de Madiran (groupe 3) se différencient des parcelles G4, F1, B1 (groupe 4) et G3 car le climat est plus humide et les vins plus riches en anthocyanes et en polyphénols. La parcelle G3 (groupe 5), qui a un sol plus caillouteux, donne un vin particulièrement peu acide et peu coloré.

➤ **Millésime 2002 :** Cinq groupes de terroirs ayant des potentialités œnologiques différentes ont été identifiés.

- Sur les sols carbonatés les vins sont plus acides, plus colorés, plus tanniques, riches en IBMP et développent plus d'arômes végétaux. Les parcelles A1 et A3 (groupe 1) donnent des vins plus tanniques, plus complexes et sont les mieux notés alors que les parcelles A2 et A4 (groupe 2), implantées sur de plus fortes pentes (terrasses) et dont les sols sont plus riches en calcaire total, donnent des vins plus riches en IBMP. Les parcelles G1 et G2 (groupe 3) se différencient des précédentes car le climat est plus chaud et les vins ont des caractéristiques proches des parcelles A2 et A4.
- Sur les sols non carbonatés, les vins sont moins acides, moins colorés, moins longs en bouche et développent moins d'arômes végétaux. La parcelle G3 (groupe 4) se différencie des parcelles G4, F1, M1, M2 et A5 (groupe 5) car le sol est très oxydé, riche en phosphore et présente une forte activité biologique ; les vins sont plus fruités, plus complexes, plus tanniques et mieux notés à la dégustation.

➤ **Millésime 2003** : Six groupes de terroirs ayant des potentialités œnologiques différentes ont été identifiés.

- Sur les sols carbonatés les vins sont plus riches en acide tartrique et plus colorés. Les parcelles G1 et G2 (groupe 1) ont un climat plus chaud que les parcelles A1, A5 et A2 et donnent des vins moins riches en anthocyanes, moins fruités, moins complexes et développent moins d'arômes végétaux. Les vins des parcelles A1 et A5 (groupe 2) sont plus riches en anthocyanes et en polyphénols que celui de la parcelle A2 (groupe 3).
- Sur les sols non carbonatés, les vins sont moins acides et moins colorés. La parcelle G3 (groupe 4) se différencie des parcelles G4, F1, M1, M2 et M3 car le sol est très oxydé, riche en phosphore et présente une forte activité biologique ; le vin est plus aromatique et moins riche en alcool. Les parcelles de Madiran (groupe 5) se différencient des parcelles F1 et G4 (groupe 6) car l'alimentation potassique est plus faible et les vins moins tanniques, moins fruités et développent plus des arômes végétaux.

➤ **Conclusion** : Quelque soit le millésime, nous pouvons distinguer 4 groupes de terroirs :

- Sur les sols carbonatés les vins sont toujours plus acides, plus colorés, plus riches en IBMP et développent plus d'arômes végétaux en liaison avec une alimentation potassique faible. Sur ce type de terroir, lorsque l'alimentation azotée est faible, les vins sont plus fruités, moins végétaux et plus complexes.
- Sur les sols non carbonatés, les vins sont toujours moins acides, moins colorés et plus tanniques. Sur ce type de terroir, les vins sont d'autant moins acides que l'alimentation potassique est azotée et élevée.



#### 4.7. Conclusions

L'ACP nous a permis de montrer que les différents terroirs ont un potentiel viticole et œnologique différent pour le Fer Servadou.

➤ **terroirs froids/humides/sols carbonatés :**

- l'alimentation potassique de la vigne est faible à moyenne, et l'alimentation calci-magnésienne élevée,
- la maturation des raisins est tardive,
- les vins sont acides, structurés et aromatiques, et ont par conséquent un potentiel de garde important.

➤ **terroirs chauds/secs/sols carbonatés :**

- l'alimentation potassique de la vigne est faible à moyenne et l'alimentation calci-magnésienne élevée,
- la maturation des raisins est moyennement tardive,
- les vins sont acides, assez structurés mais le potentiel aromatique est plus faible que sur le terroir précédent ; le potentiel de garde est bon.

➤ **terroirs chauds/secs/sols non carbonatés :**

- l'alimentation potassique de la vigne est importante et l'alimentation calci-magnésienne faible,
- la maturation des raisins est précoce,
- les vins sont peu acides, fruités et assez tanniques ; par conséquent, le potentiel de garde est assez limité et les vins issus de ces terroirs s'apprécieront dans leur jeunesse.

➤ **terroirs chauds/humides/sols non carbonatés :**

- l'alimentation potassique est assez importante et l'alimentation calci-magnésienne faible,
- la maturation des raisins est assez précoce,
- les vins sont moyennement acides, fruités et assez riches en anthocyanes et en polyphénols, le potentiel de garde est moyen et ces vins seront très appréciées durant leur jeunesse.

L'ACP nous a aussi permis de mettre en évidence un certain nombre de facteurs qui influencent la qualité des raisins et des vins.

➤ **Sol / nutrition minérale / qualité des raisins et des vins**

- Plus les sols sont oxydés, pauvres en argile et ont une CEC faible ; plus l'absorption du Ca et du Mg est faible et celle du K importante ; plus les baies sont grosses, plus leur pH et leur rapport S/AT sont élevés et plus elles sont pauvres en acide tartrique.
- Plus les sols ont un pH et une CEC élevés et plus ils sont riches en Ca et Mg ; plus l'absorption du Ca et du Mg est importante ; plus la teneur en potassium, le pH et le rapport S/AT des raisins sont faibles et plus ils sont riches en acide tartrique et malique.
- Plus les baies de raisin sont grosses, moins les vins développent d'arômes fruités et fermentaires au nez.
- Plus la nutrition potassique à la véraison est élevée, plus le pH des vins est élevé.
- Plus la nutrition calcique est élevée à la véraison, plus les vins sont acides (pH faible et TA élevée).
- Plus l'alimentation en magnésium est élevée à la floraison et à la véraison, plus les vins sont acides (TA élevée et pH faible) et colorés (nuance faible).
- Plus les raisins sont riches en potassium, moins les vins sont acides (pH élevé) ;

➤ **Climat / qualité des raisins et des vins**

- Plus la somme des températures efficaces est grande (Iw), plus le rapport S/AT, le poids des baies sont élevés et plus les teneurs en anthocyanes et acide malique sont faibles.
- Plus l'indice de Winkler est élevé, ou plus l'indice de Bessemoulin est faible, plus les vins sont pauvres en acide tartrique, en anthocyanes et en IBMP, moins ils sont colorés et moins ils développent d'arômes végétaux.
- Plus l'indice de Bessemoulin est élevé, plus la date de vendange est tardive, et plus les vins sont riches en anthocyanes et en IBMP, colorés et végétaux au nez.

## 5. Discussion

Dans cette étude terroir, un grand nombre de facteurs est étudié et il est assez difficile de déterminer l'effet précis de chacun d'eux. De plus, la qualité du vin est elle même difficile à définir, car même si de nombreux paramètres analytiques permettent de juger la qualité d'un vin, la dégustation reste à ce jour l'étape déterminante. En effet, le vin est un milieu complexe où un grand nombre de molécules doivent trouver le juste équilibre afin de satisfaire le consommateur. Cependant, l'analyse en composante principale nous a permis, dans un premier temps de déterminer les principaux facteurs qui caractériser les terroirs et les vins de Fer servadou et, dans un deuxième temps de mettre en évidence les relations terroirs et qualité des vins. Les résultats montrent que la nutrition minérale du cépage Fer servadou dépend essentiellement des caractéristiques physiques et chimiques des sols et que la maturation des raisins est étroitement liée au climat alors que la composition des raisins et des vins est fonction de l'interaction sol-nutrition minérale-climat.

Tout d'abord, la nutrition minérale de la plante est étroitement liée aux caractéristiques des sols. L'absorption des différents éléments minéraux par la plante dépend principalement de leur teneur et de leur proportion dans le sol, mais aussi de leur biodisponibilité. En effet, Bentchikou (1987) montre que plus le sol est riche en un élément, plus la plante l'absorbe. Nous avons aussi montré en culture hors-sol (chapitre 3) la présence d'un antagonisme Ca-Mg marqué sur le cépage Fer Servadou. Cet antagonisme n'apparaît pas dans l'étude en plein champ, car les sols les plus riches en calcium sont également les plus riches en magnésium. Nous savons aussi que la biodisponibilité du potassium, du magnésium et du phosphore diminue en sol basique, et que celle du calcium diminue en sol acide (Crespy, 2003). Ainsi, sur les sols carbonatés, l'absorption du calcium et du magnésium est forte alors qu'elle est faible pour le potassium (en faible proportion et peu disponible) et pour le phosphore (peu disponible) ; inversement sur les sols acides, l'absorption du potassium et du phosphore est forte, alors qu'elle est faible pour le calcium (peu disponible et en faible proportion) et pour le magnésium (en faible proportion). Nous avons également pu mettre en évidence l'importance de la composition granulométrique des sols sur la nutrition minérale : l'absorption du potassium par la plante est plus importante sur les sols limoneux et l'absorption du calcium et du magnésium est importante sur les sols argileux. Des résultats similaires ont été obtenus par Faraj *et al.* (1998) sur le vignoble Marocain et Garcia *et al.* (2002) montrent que, sur l'A.O.C. Côtes du Frontonnais où le climat et la topographie sont

sensiblement les mêmes sur l'ensemble de l'appellation, les différents terroirs se caractérisent par la composition granulométrique de leur sol. De même, nous avons mis en évidence des corrélations entre la nutrition minérale de la plante et la teneur en calcium et en matière organique et les phénomènes d'oxydo-réductions du sol. Nous pensons que ces quatre facteurs sont déterminants car de nombreuses caractéristiques des sols leur sont étroitement liées : capacité du sol à fixer les éléments minéraux (importance du complexe argilo-humique et des phénomènes de lessivage) et à les rendre disponibles pour la plante (pH, CEC, minéralisation de la matière organique et développement racinaire). Cependant, nous avons également mis en évidence que la nutrition minérale varie selon le millésime : en 2003, année particulièrement chaude et sèche, les teneurs des limbes sont plus importantes en calcium mais plus faibles en potassium et en azote. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par Garcia *et al.* (1984) qui montrent que, sur sol calcaire, plus le climat est chaud et sec, plus les teneurs en azote des limbes diminuent et plus celles en calcium augmentent. D'autre part, Stevens et Prior (1994) ont observé, sur le cépage Sultana soumis à un stress hydrique, une augmentation des teneurs en Mg et une diminution des teneurs en N et Ca. Ainsi, une augmentation des température entraîne une augmentation des besoins en éléments minéraux mais également en eau (évapo-transpiration plus importante) mais un stress hydrique tend à diminuer leur absorption, et plus particulièrement celle du calcium car étroitement liée à l'évapo-transpiration.

Concernant la maturation des raisins de Fer servadou, nous avons confirmé l'importance, bien connue, du climat. En effet, plus la somme des températures efficaces est élevée plus la maturation des raisins est précoce. Cet indice climatique est un bon indicateur de maturité pour les terroirs à potentiel énergétique moyen à élevé mais il est moins pertinent pour les terroirs les plus froids. En effet, dans le cas de l'appellation Marcillac, la somme des températures efficace est faible, et n'atteint jamais la valeur de maturité théorique. Pourtant, bien que la date de vendange soit plus tardive que pour les autres appellations, les raisins arrivent bien à maturité (teneur en sucre similaire aux autres appellations) car les fortes pentes, les expositions sud augmentent considérablement les gains énergétiques, et la forte densité de plantation entraîne un arrêt de croissance plus précoce (ce qui améliore la maturation). On constate également une maturation plus précoce pour la parcelle A2 dont le climat est plus chaud (Iw plus élevé) et qui est implantée en terrasse, sur un sol caillouteux (effet positif sur le réchauffement du sol). De plus, un stress hydrique trop important et/ou trop précoce peut entraîner un blocage de maturité lié à un ralentissement important du

métabolisme de la vigne. Ainsi, les indices d'aridité de Martone, pluviométrique d'Emberger ou de Bessmoulin sont des indicateurs indispensables car ils établissent le rapport quantité d'eau apportée et température ou perte d'eau.

Comme pour la maturation des raisins, nous avons pu montrer que le climat affecte fortement la composition des raisins. D'ailleurs, Van Leeuwen *et al.* (2004) montrent que, dans le Bordelais, le climat explique une plus forte variabilité des facteurs de qualité des raisins que le sol et le cépage. De même, Araùjo *et al.* (2004) montrent que, pour les terroirs du nord-ouest du Portugal, le climat joue un rôle plus important que le sol sur la qualité des raisins (le degré potentiel et la teneur en composés aromatiques libres et glycosylés varient principalement en fonction du millésime). Dans cette étude nous avons montré que, plus la somme des températures efficaces est élevée, moins les raisins, les moûts et les vins sont colorés et acides (faible teneur en acide tartrique), moins ils sont riches en anthocyanes et en IBMP et moins ils développent d'arômes végétaux. De plus, par rapport aux millésimes 2001 et 2002, les vins obtenus en 2003 (année très chaude et sèche) ont des teneurs en anthocyanes plus faibles et des pH, des nuances et des teneurs en polyphénols plus élevés. Ces résultats sont accords avec ceux obtenus par Morlat *et al.* (1992) qui montrent qu'un stress hydrique sévère entraîne une diminution de l'accumulation des sucres et des anthocyanes dans les baies, mais une dégradation plus importante de l'acide malique et une augmentation de la synthèse des polyphénols. Dans cette étude, les teneurs en sucre sont similaires voir supérieures aux autres millésimes, mais il faut considérer que les baies sont plus petites et donc plus concentrées ; par conséquent, nous pouvons considérer que la quantité totale de sucre mais aussi des autres éléments produits par la plante est en fait plus faible. La chute des teneurs en acide malique et en anthocyanes seraient également liée à une synthèse moins importante mais surtout à une dégradation plus importante.

Récemment, certains auteurs ont également montré divers effets du micro-climat sur la maturation et la qualité des raisins et des vins. Oliveira et Magalhães (2004) montrent que les expositions sud favorisent la maturation et l'accumulation des sucres, car la production est plus faible et les baies plus petites que pour les expositions est, et une exposition sud-ouest favorise l'accumulation des polyphénols et des anthocyanes ; ces mêmes auteurs montrent également que plus l'altitude est importante, plus la maturation est tardive, moins les vignes sont productives, plus les baies sont petites, moins riches en sucre mais plus riches en anthocyanes et polyphénols. Ainsi, dans le cas des terroirs les plus froids

(Marcillac), la maturation est plus tardive que pour les autres terroirs, les raisins ont des teneurs en sucre similaire mais sont plus acides et plus riches en anthocyanes, polyphénols et composés aromatiques. Sur ces terroirs, les fortes pentes et les expositions sud augmentent considérablement les gains énergétiques, la forte densité de plantation entraîne un arrêt de croissance précoce et les écarts importants de température jour-nuit favorisent l'accumulation des acides organiques, des anthocyanes et des composés aromatiques. On constate également une maturation plus précoce pour la parcelle A2 dont le climat est plus chaud (Iw plus élevé) et qui est implantée en terrasse, sur un sol caillouteux (effet positif sur le réchauffement du sol).

D'autres auteurs ont mis en évidence l'importance du régime hydrique et de la nutrition minérale de la vigne sur la qualité des raisins et des vins. Sur le cépage Tempranillo, Martin *et al.* observent qu'une fertilisation potassique entraîne une augmentation des teneurs en sucre et une baisse de l'acidité mais qu'elle n'a pas d'effet sur la couleur, alors qu'une fertilisation azotée entraîne une diminution des teneurs en sucre, mais une augmentation des anthocyanes et de la couleur. Måjer (2004) observe qu'une fertilisation magnésienne entraîne une augmentation de l'absorption du magnésium et de la surface foliaire, une diminution des symptômes de carence ; les vins sont mieux notés à la dégustation. Hilbert *et al.* (2003) montrent que plus l'alimentation en azote est importante plus la synthèse d'anthocyanes diminue. Choné *et al.* observent que les carences en azote entraînent une diminution de la surface foliaire et de la production ; les baies sont plus petites, plus riches en composés phénoliques mais moins riches en acide malique et en composés aromatiques (composés cystéinylés). Ces mêmes auteurs montrent qu'un déficit hydrique entraîne une baisse de la surface foliaire et de la production ; les baies sont plus petites, plus riches en azote, en sucre, en composés phénoliques et aromatiques mais moins riches en acide malique. Dans cette étude nous avons également pu mettre en évidence l'importance de la nutrition minérale de la vigne sur la composition des raisins et des vins : plus l'alimentation magnésienne est importante plus les vins sont acides, colorés, aromatiques, riches en IBMP et développent des arômes végétaux et fermentaires ; plus l'alimentation calcique est importante, plus les vins sont acides ; plus l'alimentation potassique est élevée, plus les raisins et les vins sont riches en cet élément et moins ils sont acides. L'alimentation azotée a des effets différents selon son importance au cours de la période végétative (teneurs à la floraison) et de la période de maturation (teneurs à la véraison).

Oliveira *et al.* (2003) montrent que le sol a un effet plus important que l'irrigation sur la concentration en caroténoïdes (précurseur d'arômes variétaux). Dans cette étude nous avons montré que sur les sols carbonatés les vins sont toujours plus acides, plus colorés, plus riches en IBMP et développent plus d'arômes végétaux que sur les sols non carbonatés. Nous pensons que le sol intervient affecte la composition des raisins et des vins car il va déterminer d'une part, le régime hydrique de la vigne (capacité de rétention en eau) et d'autre part, la quantité d'éléments minéraux disponible pour la plante.

Ainsi, le sol et climat vont tous deux déterminer le métabolisme de la plante et par conséquent la composition des raisins et des vins. Cependant, le climat joue un rôle primordial car une augmentation de la température et de l'intensité lumineuse entraîne une activation du métabolisme de la plante, et par conséquent une augmentation de ces besoins en eau et en éléments minéraux, mais aussi une augmentation de la dégradation des molécules thermosensibles ou photosensibles tels que l'acide malique, les IBMP et les composés glycosylés (anthocyanes), norisoprenoïdes et shikimiques (précurseurs d'arômes). Cependant, si pour la vigne un stress hydrique modéré est nécessaire pour permettre l'arrêt de la croissance végétative et la maturation des raisins, un stress hydrique précoce et/ou prolongé entraîne une diminution de l'activité métabolique et un blocage de l'assimilation des éléments minéraux, une chute de rendement (coulure et millerandage) et un retard de maturation des raisins. Dans cette étude, les sols carbonatés, riches en argile, en calcium et en magnésium ont une réserve en eau plus importante que les sols non carbonatés par conséquent l'installation du stress hydrique et la maturation des raisins sont plus tardives, surtout si le climat est froid et humide.

En résumé, de l'interaction entre le sol et le climat va dépendre la nutrition hydro-minérale et le métabolisme de la plante, qui vont déterminer les caractéristiques des raisins et des vins. Pour le Fer servadou, le calcium jouerait un rôle important pour le stockage de l'acide tartrique, le magnésium favoriserait la synthèse de l'acide tartrique, des polyphénols, des anthocyanes et des composés aromatiques, l'azote favoriserait la synthèse de précurseurs d'arômes (à l'origine des arômes fruités), mais diminuerait la synthèse d'arômes variétaux (IBMP) et d'acide tartrique. D'une manière générale la température et l'éclairement, augmentent la synthèse de nombreuses molécules (acide tartrique, polyphénols, molécules aromatiques tels que les composés cystéinilés) mais aussi la dégradation de certaines d'entre elles (anthocyanes, acide malique, certaines molécules aromatiques telles que les IBMP). Le

stress hydriques entraîne une diminution de l'assimilation des éléments minéraux et de l'accumulation des photosynthétats dans les baies (sucres, acides organiques, anthocyanes, composés aromatiques) mais une augmentation de la synthèse des polyphénols.



# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION

Cette étude sur le Fer Servadou nous a permis de déterminer les principales caractéristiques de ce cépage et des vins qui en sont issus, et de mettre en évidence les relations cépage/terroir/qualité des vins.

Dans un premier temps, nous avons pu montrer que ce cépage avait des besoins particuliers en éléments minéraux. En effet, par rapport à d'autres cépages, ces besoins sont plus importants en magnésium, similaires pour le potassium mais assez faibles pour le calcium. Cependant, ce cépage absorbe facilement le magnésium et le potassium, mais difficilement le calcium, et présente un fort antagonisme Ca-Mg. Aussi, ce cépage est très bien adapté aux sols calci-magnésiques, mais moins aux sols alluviaux fortement décalcifiés et riches en potassium.

Dans un deuxième temps, l'analyse en composantes principales nous a permis d'identifier et de caractériser quatre terroirs et de déterminer leurs potentialités viticoles et œnologiques.

➤ **terroirs froids/humides/sols carbonatés :**

- topographie : altitude et pente élevées
- sols : présence d'éléments carbonatés, bien structuré, pH, conductance, CEC et teneur en calcium élevés.
- alimentation potassique de la vigne faible à moyenne, alimentation calci-magnésienne élevée,
- maturation des raisins est tardive,
- vins acides, structurés et aromatiques ( potentiel de garde important)

➤ **terroirs chauds/secs/sols carbonatés :**

- topographie : altitude et pente faibles
- sols : présence d'éléments carbonatés, bien structuré, pH, conductance, CEC et teneur en calcium élevés.
- alimentation potassique de la vigne faible à moyenne et alimentation calci-magnésienne élevée,
- maturation des raisins moyennement tardive,
- vins acides, assez structurés mais potentiel aromatique plus faible que sur le terroir précédent (bon potentiel de garde).

➤ **terroirs chauds/secs/sols non carbonatés :**

- topographie : altitude et pente faibles
- sols : présence de taches d'oxydation, valeur élevée, transition peu nette et irrégulière, limoneux, riches en potassium,
- alimentation potassique de la vigne importante et alimentation calci-magnésienne faible,
- maturation des raisins précoce,
- vins peu acides, fruités et assez tanniques (vins à consommer jeune).

➤ **terroirs chauds/humides/sols non carbonatés :**

- topographie : altitude et pente faibles
- sols : présence de taches d'oxydation, valeur élevée, transition peu nette et irrégulière, limoneux, riches en potassium,
- alimentation potassique assez importante et alimentation calci-magnésienne faible,
- maturation des raisins assez précoce,
- vins moyennement acides, fruités et assez riches en anthocyanes et en polyphénols (potentiel de garde moyen)

Dans un troisième temps, nous avons pu mettre en évidence l'importance de certains facteurs du terroir sur la qualité des vins.

D'une part, quatre facteurs du sol jouent un rôle clé car ils affectent la nutrition hydro-minérale de la plante :

- l'état physique : la composition granulométrique va déterminer la texture, la stabilité structural, la porosité, la réserve en eau, la capacité de stockage des éléments minéraux du sol mais aussi l'accessibilité des racines de la plante
- l'état organique : la matière organique va déterminer l'intensité de la vie biologique, la stabilité structural, la porosité, la réserve en eau, la capacité de stockage des éléments minéraux du sol mais aussi la quantité d'azote et de phosphore disponible pour la plante (minéralisation)
- l'état calcique : la teneur en calcium va déterminer le pH, la structure et la réserve en eau du sol et la biodisponibilité des éléments minéraux pour la plante
- l'état d'aération : lié essentiellement au phénomène de lessivage des sols et à la présence temporaire ou permanente d'eau.

D'autre part, le climat affecte également la nutrition hydro-minérale de la plante mais il affecte aussi directement le métabolisme de la vigne ce qui lui donne un rôle primordial dans la qualité des raisins et des vins.

Cependant, il est indispensable de considérer l'interaction sol-climat car l'alimentation hydrique de la vigne dépend de la quantité et de la régularité des apports (précipitations), de la capacité du sol à stocker l'eau et des pertes liées au métabolisme (évapo-transpiration). En régime hydrique peu limitant, une augmentation de la température et/ou de la lumière va entraîner une augmentation des besoins en éléments minéraux et de la synthèse de nombreux composés mais aussi l'augmentation de la dégradation des composés thermosensibles ou photosensibles. Cependant, l'augmentation des températures entraîne également une augmentation des besoins et des pertes en eau pouvant aboutir à un stress hydrique important

entraînant un fort ralentissement du métabolisme (diminution des activités de synthèse et augmentation des activités de dégradation).

La caractérisation des terroir par l'analyse en composantes principales est intéressante, car elle permet d'étudier un très grand nombre de facteurs, et peut aboutir sur une approche plus systémique du fonctionnement des terroirs. Nous avons ainsi pu mettre en évidence que le cépage Fer Servadou donne des vins plus acides, plus colorés, plus aromatiques et plus complexes sur les sols carbonatés, surtout si le climat est frais et l'alimentation hydrique satisfaisante ; inversement il donne des vins moins acides, peu colorés mais fruités et riches en polyphénols sur les sols alluviaux (oxydés) surtout si le climat est chaud et l'alimentation hydrique limitante.

Cette étude nous a aussi permis de montrer que l'aspect qualitatif des vins est assez difficile à aborder car le vin est un milieu complexe où les différents constituants doivent être en équilibre pour satisfaire le consommateur. Aussi, le climat jouant un rôle déterminant sur la synthèse et la dégradation des constituants du raisins, l'effet du millésime reste pour chaque terroir déterminant. En effet, sur les sols carbonatés un stress hydrique sévère est plus préjudiciable que sur les sols alluviaux car il entraîne un déséquilibre important des constituants du raisin et du vin (acidité élevée mais teneur en polyphénols et anthocyanes faibles, peu de fruits et peu complexes).

Enfin, cette étude montre aussi que les vins de Fer servadou issus des terroirs froids et/ou sols carbonatés ont des teneurs importantes en méthoxy-pyrazines (IBMP) et qu'ils développent plus d'arômes végétaux à la dégustation. Cependant, la perception de ces arômes est d'autant plus importante que les vins sont acides. Alors que les IBMP sont souvent considérés comme éléments dépréciateurs de la qualité des vins de Cabernet sauvignon par exemple, dans les vins de Fer Servadou ces arômes végétaux augmentent souvent leur complexité et les vins sont alors mieux notés.

## **PERSPECTIVES**

Cette étude nous a permis d'acquérir un grand nombre de résultats sur les caractéristiques du cépage, des raisins et des vins de Fer servadou. Nous avons également pu mettre en évidence les facteurs du terroir qui influencent le plus les caractéristiques de ces vins.

Ces résultats vont permettre aux viticulteurs de la région de prévoir quel type de vin il vont pouvoir produire en fonction des différents terroirs, mais aussi de choisir le porte-greffe le plus adapté. Enfin, grâce à une meilleure interprétation du diagnostic foliaire (norme spécifique au Fer servadou), ils leurs sera possible de réaliser une fertilisation vraiment adaptée et ainsi améliorer la qualité des vins. En effet, sur les sols alluviaux les vins seront légers, fruités, destinés à une commercialisation rapide ; sur ces sols, des apports en calcium et magnésium permettraient d'obtenir des vins un plus acides, mais les apports en azote doivent être limités afin de diminuer la vigueur et favoriser les arômes fruités au dépend des arômes végétaux. Sur les sols carbonatés, les vins seront acides, structurés, complexes, destinés soit à l'assemblage avec des vins plus légers, soit à la production de vins de garde ; dans ces sols, les teneurs en magnésium et en potassium doivent être surveillées et on limitera les apports azotés pour favoriser la production d'arômes fruités.

Cependant, il serait intéressant de compléter et d'approfondir cette étude par une approche plus systémique. En effet, l'analyse en composantes principales nous permis de mettre en évidence le rôle important de la nutrition hydro-minérale et du climat sur la qualité des vins, mais il nous a été difficile de discerner l'importance relative de chacun d'eux du fait de leur interaction. Ainsi, il serait intéressant d'étudier chacun des facteurs séparément. Par exemple, il serai possible d'étudier l'effet du stress hydrique, ou de la nutrition minérale en régime hydrique non limitant, ou de la température et de l'éclairement, sur la maturation et la qualité des raisins en culture hors-sol de longue durée. Il serait également intéressant d'étudier, en plein champ, l'effet de la fertilisation sur différents types de sols, de l'enherbement, et du mode de conduite de la vigne.

De plus, la voie de biosynthèse des IBMP n'est, à ce jour, pas encore élucidée mais, grâce aux nouvelles techniques de biologie moléculaire, la voie métabolique et les précurseurs à l'origine de cette molécule devraient pouvoir être élucidés.

**REFERENCES**

---

**BIBLIOGRAPHIQUES**

---

- AFNOR. 1994. Qualité des sols. AFNOR, Paris, France.
- AFNOR. 1999. Qualité des sols. AFNOR, Paris, France.
- Aljibury, F.K. 1975. Grape response to cooling with sprinklers. *Am. J. Enol. Vitic.* 26:217-217.
- Allen M.S., M.J. Lacey, W.V. Brown and R.L.N. Harris. 1989. Occurrence of methoxypyrazine in grapes of *Vitis vinifera* cv. Cabernet-sauvignon and Sauvignon blanc. In: *Actualités Œnologiques 89, Compte Rendu du IV<sup>e</sup> Symposium d'Œnologie de Bordeaux*, Dunod, Paris, 25-30.
- Allen, M.S. and M.J. Lacey. 1993. Methoxypyrazine grape flavour : influence of climate, cultivar and viticulture. *Wein-Wiss* 48:211-213.
- Allen, M.S., M.J. Lacey, R.L.N and S. Boyd. 1994. Determination of methoxypyrazines in red wines by stable isotope dilution gas chromatography-mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 42:1734-1738.
- Allen, M.S., M.J. Lacey, R.L.N Harris and W.V Brown. 1991. Contribution of methoxypyrazines to Sauvignon blanc wine aroma. *Am. J. Enol. Vitic.* 42:109-112.
- Alleweldt, G., H. During and Z.H. Jung. 1984. Zum Einfluss des Klimas auf Beerentwicklung, Ertrag, und qualitt bei Reben : Ergebnisse einer siebenjährigen Faktorenanalyse. *Vitis* 23:127-142.
- Araújo, M., J.M. Oliveira, M.O. Maia and R.L. Baumes. 2004. Soil and climatic influence on the free and glycosidically bound volatiles of grapes from two white varieties from Vinhos Verdes region. In: *Proceedings of the first International Symposium on Grapevine growing, commerce and research. Acta Horticulturae 652*, O.A. de Sequeira and J.C. Sequeira eds, ISHS (ed), Leuven, Belgium, pp. 205-212.
- Astruc, H., J.C. Jacquinet and J Heritier. 1984. Une application originale de la recherche fondamentale en écologie : la naissance d'un cru. *Le courrier du CNRS* 58:44-47.
- Augustyn O.P.H., A. Rapp and C.J. Van Wyk. 1982. Some volatile aroma components of *Vitis Vinifera* cv. Sauvignon blanc. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 3(2), 53-60.
- Bavaresco, L. 1997. Relationship between chlorosis occurrence and mineral composition of grapevine leaves and berries. *Commun.. Soil Sci. Plant Anal.* 28:13-21.
- Bavaresco, L. and S. Poni. 2003. Effect of calcareous soil on photosynthesis rate, mineral nutrition, and soil source-sink ratio of table grape. *J. Plant Nutr.* 26(10-11):2123-2135.
- Bavaresco, L. ; E. Giachino, and S. Pezzuto. 2003. Grapevine rootstock effects on limed-induced chlorosis, nutrient uptake and source-sink relationships. *J. Plant Nutr.* 26(7):1451-1465.
- Bayonove, C. 1998. Arômes. In: Flanzky, C., *Oenologie, fondements scientifiques et technologiques*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris, pp 164-165.



Bayonove, C., R. Cordonnier and P. Dubois. 1975. Etude d'une fraction caractéristique de l'arôme du raisin de la variété Cabernet Sauvignon, mise en évidence de la 2-methoxy-3-isobutylpyrazine. CR Acad. Sci. 281:75-78.

Beaudou, A and H. Lemartret. 2004. MURIRAM/VALSOL: Un système d'information et une base de données pour représenter les sols tropicaux et leurs environnements. Etude et Gestion des Sols 11(3):271-284.

Becker, N.J. 1977. The influence of geographical and topographical factors on the quality of the grape crop. In : Proceedings of the OIV Symposium on quality of the vintage. Oenological and Viticulture Research Institute, Capetown, pp 169-180.

Becker, N.J. 1978. Recherche expérimentale sur l'influence du micro-climat sur la composition des baies de raisin et de la qualité de la récolte. In : Proceedings of the International Symposium "Ecologie de la vigne", Constantza, Roumanie, pp 113-121.

Bentchikou, M. M. 1987. Appréciation de l'alimentation minérale du vignoble d'appellation garantie (V.A.O.G.) de Mascara (Algérie). Connaissance Vigne Vin 21:13-22.

Bertamini, M., K. Muthuchelian and N. Nedunchezian. 2002. Iron deficiency induced changes on the donor side of PSII in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) leaves. Plant Sci. 162:599-605.

Bertaud, J.L., G. Guimbertain and J.P. Soyer. 1987. Etude statistique des relations entre les conditions climatiques, la constitution des raisins et la qualité des vins en Bordelais. In : proceedings of the International Symposium "physiologie de la vigne", Bordeaux, pp 347-355.

Bertoni, G. 1980. Influence des interactions cationiques sur la nutrition minérale et la qualité du Chasselas de Moissac, raisin de table. Thèse INP, Toulouse, France, 153 p.

Bertoni, G. and P. Morard. 1982. Blade or petiole analysis as a guide for grape nutrition. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 13(8):593-605.

Besnard, E., F. Laffargue et M. Garcia. 2003. Influence du sol et de la nutrition hydrique de la vigne sur la qualité des vins – Cas des vins de l'AOC Cahors. In Oenologie 2003, 7e Symposium international d'œnologie. Tec&Doc (ed.), Paris, France, pp. 130-133.

Beuret, S. 1998. Influence de différentes techniques viticoles sur la maturation des principaux cépages bordelais. Utilisation de la 2-methoxy-3-isobutylpyrazine comme un marqueur inverse de la maturité. Mémoire pour l'obtention du Diplôme National d'œnologie, Université Bordeaux II, 34 p.

Bogoni, M., A. Panont, L. Valenti and A. Scienza. 1995. Effects of soil physical and chemical conditions on grapevine nutritional status. Acta Horticulturae 383:299-311.

Boidron, R., J.M. Boursiquet, J.P. Doazan, P. Leclair, M. Leguay and B. Walter. 1995. Catalogue des variétés et des clones de vignes cultivés en France. Ministère de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation Ed., 356-357. Paris, France.

Bonnardo, V. 1997. Some climatic indices for Pinot noir maturation at a meteorological station in Burgundy. S. Afr. J. Enol. Vitic. 18(1):19-23.

Bouzai, R., B. Ezzili, M. Bejaoui and M. Gazzah. 2000. Different behavior of two grape cultivars in relation to the changes of major mineral elements and soluble sugar. *Bull. O.I.V.* 73:161-180.

Branas, J. 1980. Des appellations d'origine des vins, éléments historiques et agronomiques d'une méthode d'étude. *Revue Française d'Oenologie* 78 :13-61.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.

Buttery R.G., R.M. Seiffert, D.G. Guadagni, and L.C. Ling. 1969. Characterization of some volatile constituents of bell peppers. *J. Agric. Food Chem.* 17:1322-1327.

Cadet, A., J. Scheiner, J.L. Favarel and M. Garcia. 2003. Validation of the Mehlich-3 method to determine the amounts of phosphorus availability and exchangeable bases in diverse viticultural soils of South West France. *Proceedings of the 2de international symposium on phosphorus dynamics in the soil-plant continuum*, printed by uniprint university of western Australia, Perth, Australia, pp 34-38.

Cadet, A. and M. Garcia. 2003. Nutrition potassique et acidité des vins du cépage Négrette greffé sur 3309C sur sols acides. In *Oenologie 2003, 7e Symposium international d'œnologie*. Tec&Doc (ed.), Paris, France, pp. 104-106.

Cadet, A., J.L. Favarel and M. Garcia. 2003. Etude de la nutrition cationique du cépage Fer Servadou en culture hydroponique et en plein champ. In *Oenologie 2003, 7e Symposium international d'œnologie*. Tec&Doc (ed.), Paris, France, pp. 104-106.

Cadet, A., J.L. Favarel and M. Garcia. 2005. Effect of different ratios of potassium, calcium and magnesium on grapes grown hydroponically. Accepted in *J. of Plant Nutr.*

Cadet, A., J.L. Favarel and M. Garcia. 2005. Viticultural and enological potential of different terroirs. I. Mineral nutrition and grape quality. Accepted in *Am. J. Enol. Vitic.*

Cadet, A., J.L. Favarel and M. Garcia. Viticultural and enological potential of different terroirs. II. Must and wine quality. Accepted in *Am. J. Enol. Vitic.*

Carbonneau A., C. Riou, D. Guyon and J. Riom. 1992. *Agrométéorologie de la vigne en France. Un système d'information agronomique pour la communauté européenne*, pp 23-29.

Carrel, G., D. Barthelemy, Y. Auda and D. Chessel. 1986. Approche graphique de l'analyse en composantes principales normée : utilisation en hydrobiologie. *Acta Oecologica, Oecologia Generalis* 7-2:189-203.

Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées. 1995. *Les grands ensembles morpho-pédologiques de la région Midi-Pyrénées*. Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées, Toulouse, France.

Champagnol, F. 1984. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Champagnol F., Saint Gely du Fesc, France, 351 p.

Champagnol, F. 1986. L'acidité des moûts et des vins. *Revue Française d'Oenologie* 104 :26-57.

Champagnol, F. 1988. Fertilization of grapevines, composition of must, and quality of wines. *Revue Française d'Oenologie* 115:23-26.

Champagnol, F. 1990. Rajeunir le diagnostic foliaire. *Progrès Agricole et Viticole* 107:343-351.

Charbaji, T. 1988. Effet du chlorure de sodium sur la vigne en culture hors sol (*Vitis vinifera* cv. Cabernet sauvignon). Thèse INP, Toulouse, France.

Choné, X., V. Lavigne-Cruege, V. Moine-Ledoux, T. Tominaga and D. Dubourdieu. 2003. Acquisition récentes sur les déficits hydriques modérés de la vigne : influence de ces déficits et de l'alimentation en azote sur le potentiel aromatique du moût : exemple du Sauvignon blanc. In: *Oenologie 2003, 7e Symposium international d'œnologie*. Tec&Doc (ed.), Paris, France, pp. 121-125.

Clarkson, D.T. and J.B. Hanson. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:239-298.

Coïc, Y. and C. Lesaint. 1975. La nutrition minérale et en eau des plantes en horticulture avancée. Documentation technique SCPA 7.

Conradie, W.J. and D. Saayman. 1989. Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on Chenin blanc vines. II. Leaf analysis and grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 40(2):91-98.

Conradie, W.J. and V. Bonnardot. 2004. Effects of soil and climate on wine style in the Breede river valley : Sauvignon blanc and Cabernet sauvignon. In: *proceedings of the International conference on viticultural zoning, Cape Town, South Africa*.

Coombe, B.G. and P.G. Iland. 1987. Grape berry development. In: *Proceedings of Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide*, T.H. Lee (ed.), pp50-54.

Cordeau, J. 1993. Sur vigne en place, limiter les apports. *Viti. Mars* 1993, 31-34.

Crespy, A. 2003. Fonctionnement des terroirs et savoir-faire viticole : les clés de la qualité. *Avenir Œnologie*, Oenoplurimédia ed., 191p.

Daverede, C. 1996. Influence de différents équilibres K-Ca sur la nutrition cationique et le manque d'acidité des moûts et des vins du cépage Négrette (*Vitis vinifera* L.) greffé sur 101.14 M.G., cultivée en hors-sol. Thèse INP. Toulouse, France, 151 p.

Daverede, C. and M. Garcia. 1997. Influence de différents équilibres cationiques (K-Ca) sur la nutrition potassique de la Négrette *Vitis vinifera* L. greffée sur 101.14. *Agrochimica* 41(1-2):1-9.

Delas, J. 2000. La fertilisation de la vigne. Ed. Féret, Bordeaux, 159 p.

Doledec, A.F. 1995. Recherche des composantes principales des terroirs viticoles afin d'élaborer un outil d'aide à la gestion au moyen d'observatoires et de traitements statistiques de données spatialisées. Application au vignoble Champenois. Thèse de doctorat INA PG, 160 p.

Duering, H. and F. Oggioni. 1986. Transpiration and accumulation of mineral nutrients in grape berries. *Vitis* 25:59-66.

Duteau, J. and H. Detomasi. 1987. Contribution des réserves hydriques profondes de certaines roches-mères compactes à l'alimentation en eau de la vigne. Section 3. Nutrition minérale et régime hydrique. *Bull. O.I.V.* 54:185-189.

Duteau, J., M. Guilloux and G. Seguin. 1981. Influence de l'alimentation en eau de la vigne sur la teneur en sucres réducteurs, acides organiques et composés phénoliques des raisins. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 292(3):965-967.

Elzam O.E. and T.K. Hodges. 1967. Calcium inhibition of potassium absorption in corn root. *Plant Physiol.* 42:1483-1488.

Esteban, M.A., M.J. Villanueva and J.R. Lissarrague. 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempranillo during maturation. Sugars, organics acids, and mineral element. *Am. J. Enol. Vitic.* 50(4):418-434.

Ewart, A.J.W. 1987. Influence of vineyard site and grape maturity on juice and wine quality of *Vitis vinifera* cv Riesling. In: *Proceedings of Sixth Australian Wine Industry Conference*, Adelaide, T.H. Lee (ed.), pp 71-74.

Ezzahouani, A. and L.E. Williams. 1995. The influence of rootstock on leaf water potential, yield, and berry composition of Ruby seedless grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 46(4):559-663.

Failla O., A. Scienza and L. Brancadoro. 1996. Effect of nutrient spray applications on malic and tartaric acid levels in grapevine berry. *J. Plant Nut.* 19(1):41-50.

Failla O., A. Scienza, A. Galluzzi, G. Stringari and R. Stefani. 1993. Relationships between mineral nutrition and organic acids levels in grape berry. In: *Proceedings of the fourth International Symposium "Grapevine physiology"*, Torino, Italy, pp. 380-391.

Falcetti, M. 1990. Un exemple de zonage en Italie du nord. Influence sur les vins. *Bull. OIV* 715-716:741-759.

Faraj, S. ; F. Champagnol and D. Boubals. 1997. Le contrôle de la nutrition phospho-potassique et magnésienne de la vigne au Maroc par la méthode du diagnostic foliaire. *Bull. O.I.V.* 70: 848-859.

Faraj, S., F. Champagnol, and D. Boubals. 1998. Le diagnostic foliaire de la vigne au Maroc en relation avec l'interprétation de l'analyse de sol pour le phosphore, le potassium et le magnésium. *Bulletin de l'O.I.V.* 805-806:233-246.

Fardossi, A., W. Wunderer, C. Mayer, V. Schober and S. Swinda. 1996. Influence of permanent green cover on the nutritive conditions of different grape varieties. *Mitteilungen Klosterneuburg* 46-152-161.

Fardossi, A., W. Wunderer, E. Hepp, C. Mayer and R. Kalchgruber. 1994. Nutrient uptake of different grape clones in the year 1991 and 1992. *Mitteilungen Klosterneuburg* 44:77-90.

France, B. 2002. *Grand Atlas des vignobles de France*. Solar ed., Paris, 322 p.

- Fregoni, M. 2002. Histoire de la recherche a priori et a posteriori des terroirs viticoles. IVe Symposium International sur le Zonage Vitivinicole, Avignon, France.
- Gadille, J. 1967. Le vignoble de la Côte bourguignonne : fondements physiques et humains d'une viticulture de haute qualité. Thèse de doctorat, Université de Dijon, 688 p.
- Gallego, P. 1999. Influence des terroirs de l'appellation d'origine contrôlée « Côtes du Frontonnais » sur la nutrition potassique cationique et le manque d'acidité des moûts et des vins de Négrette (*Vitis vinifera* L.) greffée sur 3309C. Thèse INP Toulouse, 189 p.
- Gallego, P. and M. Garcia. 2001. Influence of three rootstocks on grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Négrette grown hydroponically. South African J. Enol. Vitic. 22(2):104-106.
- Garcia M. , Laffargue F., Besnard E., Ibrahim H., Cadet A. 2002. Influence des terroirs sur la qualité des vins de l'A.O.C. Cahors. IVe symposium international sur le zonage vitivinicole, Avignon, France.
- Garcia, M., H. Ibrahim, and A. Cadet. 2002. Comment résoudre le manque d'acidité des vins par une meilleure connaissance de l'adéquation cépage-terroir : la Négrette sur les terroirs des Côtes du Frontonnais. In: Proceedings of the IVe Symposium International sur le Zonage Vitivinicole, Avignon, France.
- Garcia, M., P. Gallego, C. Daverede and H. Ibrahim. 2001a. Effect of rootstocks on grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv Négrette, grown hydroponically. I. Potassium, Calcium and Magnésium nutrition. S. Afr. J. Enol. Vitic. 22(2):101-103.
- Garcia, M., H. Ibrahim, P. Gallego and P. Puig. 2001 b. Effect of rootstocks on grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv Négrette, grown hydroponically. II. Acidity of musts and wines. S. Afr. J. Enol. Vitic. 22(2):104-106.
- Garcia M., H. Ibrahim, C. Daverede, P. Gallego and F. Dedieu. 2000. Effect of cationic nutrition on the acidity of musts and wines *Vitis vinifera* L. cv Négrette. In: Proceedings of the tenth International Colloquium for the Optimisation of Plant Nutrition, Cairo, Egypt.
- Garcia, M., C. Daverede, P. Gallego, and M. Toumi. 1999. Effect of various potassium-calcium ratios of cation nutrition of grape grown hydroponically. J. Plant Nutr. 22:417-425.
- Garcia, M., C. Doux, and G. De Monpezat. 1984. Alimentation minérale de la vigne en sol calcaire. Essai d'explication géo-climatique. In : Proceedings for the 4ème Colloque International sur l'Optimisation de la Nutrition des Plantes, Montpellier, France, pp. 899-906.
- Geny, L., M. Broquedis, J. Martin-Tanguy, J.P. Soyer and J. Bouard. 1997. Effect of potassium nutrition on polyamines content of various organs of fruiting cutting of *Vitis vinifera* L. cv Cabernet sauvignon. Am. J. Enol. Vitic. 48:85-92.
- Geny, L., M. Broquedis, J.P. Soyer, and J; Bouard. 1996. Effect of excessive nitrogen nutrition on free and conjugated polyamines content of leaves and berries of *Vitis vinifera* L. during their development. J. Inter. Sci. Vigne Vin 30 :121-131.
- Green, J.F. and R.M. Muir. 1979. Analysis of the role of potassium in the growth effects of cytokinin, light and abscisic acid on cotyledon expansion. Physiol. Plant 46:19-24.

Guyot, G. 1999. Climatologie de l'environnement. Cours et exercices corrigés 2ème cycle, CAPES, Agrégation. Dunod, Paris, France.

Harris R.L.N., M.J. Lacey, W.V. Brown and M.S. Allen. 1987. Determination of 2-methoxy-3-alkylpyrazines in wine by gas chromatography/mass spectrometry. *Vitis* 26:201-207.

Hashizume K. and T. Samuta. 1999. Grape maturity and light exposure affect berry methoxypyrazine concentration. *Am. J. Enol. Vitic.* 50:194-198.

Hepner, Y. and B. Bravdo. 1985. Effect of crop level and drip irrigation scheduling in the potassium status of Cabernet Sauvignon and Carignane vines and its influence on must and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:140-147.

Herrick, I.W. and C.W. Nagel. 1985. Thecaffeoyl tartrate content of white Riesling wines from California, Washington and Alsace. *Am. J. of Enol. And Vitic.* 36:95-97.

Heymann H. 1986. Studies of methoxypyrazines and vegetative flavour of Cabernet Sauvignon wines. PhD Thesis, University of California, Davis.

Hilbert, G., J.P. Soyer and J.P. Gaudillère. 2003. Incidence de la nutrition azotée de *Vitis vinifera* L. cv merlot sur la composition en anthocyanes des raisins. In: *Oenologie 2003, 7e Symposium international d'œnologie*. Tec&Doc (ed.), Paris, France, pp. 173-176.

Himelrick, D.G. 1991. Growth and nutritional responses of nine grape cultivars to low soil pH. *Hortscience* 26(3):269-271.

Hoppmann, D. and K. Schaller. 1996. Characterization of vineyard sites for quality wine production using meteorological and soil chemical and physical data. In: *Proceedings of the first International Symposium "terroirs viticoles"*, Angers, France.

Hsiao, T.C. and A. Läuckli. 1986. Role of Potassium in Plant-Water Relations. In: *Advances in Plant Nutrition*, eds B. Tinker and A. Läuchli, Praeger Scientific, vol. 2, 281-332. New York.

Huglin, P. 1978. nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *C.R. Acad. Agric. France*, pp 1117-1126.

Iacono, F. ; A.D. Porro, A. Scienza and G. Stringari. 1995. Differential effects of canopy manipulation and shading of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet sauvignon plant nutrition status. *J. Plant Nutr.* 18:1785-1796.

Ibrahim, H., F. Dedieu and M. Garcia. 2001. Influence of rootstock on malate and tartrate accumulation during grape (*Vitis vinifera* L. cvs Cot and Négrette) berry development. In: *Proceedings of the fourteenth International Plant Nutrition Colloquium*, Hannover, Germany, pp 330-331.

Ibrahim, H. 2001. Génèse et evolution des acides organiques dans les feuilles, les baies, les moûts et les vins des cépages Cot et Négrette (*Vitis Vinifera* L.). Thèse INP Toulouse, 278 p.

Ibrahim, H., F. Dedieu and M. Garcia. 2000. Relationship between potassium and the malate and tartrate contents of grapes grown hydroponically. In: *Proceedings of the tenth International Colloquium for the Optimisation of Plant Nutrition*, Cairo, Egypt.

Iland, P.G. and B.G. Coombe. 1988. Malate, tartrate, potassium and sodium in flesh and skin of Shiraz grapes during ripening : concentration and compartmentation. *Am. J. Enol. Vitic.* 39(1):71-76.

Jackson, D.I. and P.B. Lombard. 1993. Environmental and management practice affecting grape composition and wine quality – A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44(4):409-430.

Jacquet, A. and R. Morlat. 1997. Caractérisation de la variabilité des terroirs viticoles en Val de Loire. Influence du paysage et des facteurs physiques du milieu. *Agronomie* 17:465-480.

Jakobsen, S.T. 1993. Interaction between plant nutrients. III. Antagonism between potassium, magnesium and calcium. *Acta Agric. Scand. B. Soil and Plant* 43:1-5.

Klenert, M., A. Rapp and G. Alleweldt. 1978. Einfluss des Traubentemperatur auf Beerenwachstum and Beerenreife der Rebsorte Silvaner. *Vitis* 17:350-360.

Kliewer, W.M. 1973. Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo and nycto-temperatures during maturation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 98:153-159.

Kliewer, W.M. and A. Bledsoe. 1986. Influence of hedging and leaf removal on canopy microclimate, grape composition and wine quality under Californian conditions. *HortScience* 21(3).

Kocsis, L. and E. Lehoczky. 2000. The effect of the graperootstock-scion interaction on the potassium and calcium content of the leaves in connection with yield production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2283-2289.

Kotseridis Y., A. Anocibar Beloqui, A. Bertrand and J.P. Doazan. 1998. An analytical method for studying the volatile compounds of merlot noir clone wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 49:44-47.

Kuhnoltz-Lordat, G. 1963. La génèse des appellations d'origine des vins. Collection Avenir Œnologie, 150 p.

Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* Sparks D.L. (Ed), Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, U.S.A, pp.869-919.

Lacey, M.J., M.S. Allen, R.L.N Harris and W.V. Brown. 1991. Methoxypyrazines in Sauvignon blanc grapes and wines. *Am J. Enol. Vitic.* 1991, 42, 103-108.

Lavignac, G. 2001. Cépages du Sud-Ouest, 2000 ans d'histoire, Mémoire d'un ampélographe. Edition du Rouergue, INRA Editions, pp. 176-177.

Laville P. 1990. Le terroir, un concept indispensable à l'élaboration et à la production des appellations d'origine comme à la gestion des vignobles : le cas de la France. *Bull. OIV* 709-710:217-241.

Laville, P. 1993. Unités de terroir naturel et terroir. Une distinction nécessaire pour redonner plus de cohérence au système d'appellation d'origine. *Bull. OIV* 745-746 :227-251.

Lehoczky, E. and L. Kocsis. 1998. Nutrient content of grapevine leaves in various graft combinations. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(11-14) :1983-1989.

Löhnertz, O. 1988. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme bei *Vitis vinifera* (cv Riesling). Dissertation, Universität Giessen, 228 p.

Lorenzini, F. 1996. Teneur en azote et fermentescibilité des moûts. *Revue Suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 28(3) :169-173.

Loué, A. 1990. Le Diagnostic foliaire (ou pétiolaire) dans les enquêtes de nutrition minérale des vignes. *Progrès Agricole et Viticole* 107:439-453.

MacLeod, L.B. 1969. Effect of N, P and K and their interactions on the yield and kernel weight of barley in hydroponic culture. *Agron. J.* 61:26-29.

Maga, J.A. 1989. Sensory and stability properties of added methoxypyrazines to model and authentic wines. In: *Flavors and off-flavors, Proceedings of the 6th international flavor conference.* Charalambous, G. Ed., Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Netherlands., pp 61-70.

Magny, J. and J. Baur. 1975. Pour comprendre les analyses de terre. Publication Purpan, reproduction 41/42.

Májér, J. 2004. Magnesium supply of the vineyards in the Balaton Highlands. In: *Proceedings of the first International Symposium on Grapevine growing, commerce and research.* Acta Horticulturae 652, O.A. de Sequeira and J.C. Sequeira eds, ISHS (ed), Leuven, Belgium, pp. 175-182.

Mallarino, A. and J.E. Sawyer. 1999. Interpreting Mehlich-3 soil test result. In *Integrated crop management*, Iowa State University.

Marschner, H. 1997. *Mineral nutrition of higher plants*, second edition. Academic press, London, England, 889 p.

Martin, P., R. Delgado, M.R. Gonzalez and J.J. Gallegos. 2004. Colour of Tempranillo grapes as affected by different nitrogen and potassium fertilization rates. In: *Proceedings of the first International Symposium on Grapevine growing, commerce and research.* Acta Horticulturae 652, O.A. de Sequeira and J.C. Sequeira eds, ISHS (ed), Leuven, Belgium, pp. 153-159.

Martin-Prevel, P., J. Gagnard and P. Gautier. 1984. *L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes (tempérées et tropicales).* Tec & Doc Lavoisier, Paris, France.

Mateus, N. ; J.M. Machado and V. De-Freitas. 2002. Development changes of anthocyanins in *Vitis vinifera* grapes grown in the Douro Valley and concentration in respective wines. *J. Sci. Food Agric.* 82, 1689-1695.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant : a modification of the Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1409-1416.

Mengel, K. 1985. K movement within plant and its importance in assimilate transport. In: *Proceedings of International Symposium "Potassium in Agriculture"*, Atlanta, Georgia, Ed. Robert Munson.

Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1982. *Principles of plant nutrition.* Ed. International potash Institut Suiss, 697 p.



Miller, G.W. 1986. The physiological functions of some mineral elements in plants and vines – use of foliar products in nutrition. *Vignevini* 13-21-28.

Monnet, J.C. 1996. Caractérisation fonctionnelle d'unités cartographiques prairiales dans le massif du Jura. Application à la définition des terroirs du Comté. Thèse de doctorat, université Franche-Comté, Besançon, 260 p.

Monnet, J.C. 1997. Mise en évidence de terroirs dans l'AOC Comté. In : Proceedings of the Colloque International « Cheese 97 ».

Morard, P. 1995. Les cultures végétales hors-sol. Publication Agricole, Agen, 212 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 moyenne Vallée de la Loire. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux II, 289 p.

Morlat, R. 2001. Terroirs viticoles : Etude et valorisation. Avenir Œnologie, Oenoplurimédia ed., 118 p.

Morlat, R., M. Penavayre, A. Jacquet, C. Asselin and C. Lemaitre. 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. *J. Inter. des Sci. de la Vigne et du Vin* 26-4

Noble, A.C. 1979. Evaluation of Chardonnay wines from sites with different soils compositions. *Am. J. Enol. Vitic.* 30(3):214-217.

Office international de la Vigne et du Vin. 2004. Recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts. OIV ed., Paris, France.

Oliveira, A.A. and N. Magalhães. 2004. Influence of elevation and slope exposure upon productivity and must quality of Touriga Nacional (subregion of Douro Superior. In: Proceedings of the first International Symposium on Grapevine growing, commerce and research. *Acta Horticulturae* 652, O.A. de Sequeira and J.C. Sequeira eds, ISHS (ed), Leuven, Belgium, pp. 249

Oliveira, C., A.C. Silva Ferreira, T. Hogg, F. Alves, M. Mendes Pinto and P. Guedes de Pinho. 2003. Carotenoid compounds found in grapes and their relation ship to plant water status. In: *Oenologie 2003, 7e Symposium international d'œnologie*. Tec&Doc (ed.), Paris, France, pp. 134-138.

Ollat, N., B. Laborde, M. Neveux, P. Diakou-Verdin, C. Renaud, and A. Moing. 2003. Organic acid metabolism in roots of various grapevine (*Vitis*) rootstocks submitted to iron deficiency and bicarbonate nutrition. *J. Plant Nutr.* 26:2165-2176.

Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Panont, C.A. and G. Comolli. 1998. The zoning of Franciacorta : DOCG viticultural model. In: proceedings of the International Symposium "Territoire et Vins", Sienne, Italy, pp. 321-339.

- Peynaud E. and A. Maurié. 1953. Evolution des acides organiques dans le grain de raisin au cours de la maturation plutôt faible en 1951. *Ann. Techn. Agri.* 2: 83-94.
- Pouget, R. and J. Delas. 1982. Interaction entre le greffon et le porte-greffe chez la vigne. application de la méthode des greffages réciproques à l'étude de la nutrition minérale. *Agronomie* 2 :231-242.
- Ribéreau-Gayon J. and E. Peynaud. 1971. *Traité d'œnologie*, 4 tomes. Dunod Ed., Paris.
- Riou, C. 1992. L'influence du climat sur la vigne et la qualité de ses produits. *Agriculture* 83-116.
- Riou, C., R. Morlat and C. Asselin. 1995. Une approche intégrée des terroirs viticoles. Discussions sur les critères de caractérisation accessibles. *Bull. OIV* 767-768:93-106.
- Roujou de Boubée, D. 2004. Recherche sur le Caractère Végétal Poivron Vert dans les Raisins et dans les Vins. *Revue des Oenologues et des Techniques Vitivinicoles et Œnologiques* 110:6-10.
- Roujou de Boubée, D. 2000. Recherches sur la 2-methoxy-3-isobutylpyrazine dans les raisins et les vins. Approche analytique, biologique et agronomique. Thèse de Doctorat, université de Bordeaux II, 170 p.
- Roujou de Boubée, D., C. Van Leeuwen and D. Dubourdieu. 2000. Organoleptic Impact of 2-methoxy-3-isobutylpyrazine on Red Bordeaux and Loire wines. Effect of environmental conditions on concentrations in grapes during ripening. *J. Agric. Food Chem.* 48(10):4830–4834.
- Ruffner, H.P. 1982. Metabolism of tartaric and malic acids in *Vitis*. *Vitis* 21:247-259.
- Sarmiento, R., J.L. Garcia, M.C. Grande, M.C. Villalon, A. De-Castro and C. Mazuelos. 1992. Grapevine differential nutrition: critical levels and optimum equilibria of macronutrients. *Suelo y planta* 2(4):651-661.
- Schaller, K. 1999. Influence of different soil tillage system on uptake of nitrogen, phosphate, potassium, magnesium, calcium and organic nitrogen-compounds by grape berries during growth and development of the variety "white Riesling". *Bull. O.I.V.* 72:623-824.
- Schneider, R. ; C. Prouteau, F. Davaux, R. Baumes, Y. Lucchese and J.L Favarel. 2003. Dosage de la 3-isobutyl-2-methoxypyrazine par SPME-CPG-SM/SM et Dilution Isotopique. Effet de quelques Techniques Viti-vinicoles sur ses Teneurs dans les Vins de Fer Servadou. In *Oenologie 2003, 7e Symposium international d'œnologie ; Tec&Doc ed., Paris, France*, pp. 144-147.
- Scienza, A, O. Failla and F. Romano. 1986. Studies on the variety-specific uptake of minerals by grapevines. *Vitis* 25:160-168.
- Scienza, A., M. Fregoni and M. Boselli. 1979. Rapporti tra origine géologica del terreno e composizione polifenolica del vino di "Schiava" in Alto Adige. In: *Proceedings of the International Symposium of the "vinification en rouge", Siklos, Hongrie*.
- Seguin, G. 1975. Alimentation en eau de la vigne et composition chimique des moûts dans les grands crus du Médoc. Phénomènes de régulation. *Conn. Vigne Vin* 1:23-34.

Seguin, G. 1983. Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges. Bull. O.I.V. 56:3-18.

Sims, J.T. 2000. Soil test phosphorus. In: Methods for P analysis, G.M. Pierzynski ed.

Smart, R.E and P.R. Dry. 1980. A climatic classification for Australian viticultural regions. Austral. Grapegrower Winemaker 17(196):8-10.

Somers, T.C. 1975. In search of quality for red wines. Food Tech. Austral. 27:49-56.

Spiers, J. M. 1994. Response of Sterline Muscadine grape to calcium, magnesium and nitrogen fertilization. J. Plant Nutr. 17:1739-1750.

Spring, J.L., J.P. Ryser, J.J., Schwarz, P. Basler, L. Bertschinger and A. Häseli. 2003. Données de base pour la fumure en viticulture. Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic. 35:3-24.

Stevens, R.M. and L.D. Prior. 1994. The effect of transient waterlogging on the growth, leaf gas exchange and mineral composition of potted Sultana grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 45(3):285-290.

Strauss, C.R., G. Wilson and P.J. Williams. 1987. Flavor of non-muscat varieties. In: Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide, T.H. Lee ed., pp. 117-121.

Tonietto, J. and A. Carbonneau. 1998. Facteurs mésoclimatiques de la typicité du raisin de table de l'AOC Muscat du Ventoux dans le département du Vaucluse, France. PAV 115(12) :271-279.

Van Leeuwen, C., P. Friant, M.E. Jaeck and S. Kuhn. 2004. Hierarchy of the role of climate, soil and cultivar in terroir effect can largely be explained by vine water status. In: proceedings of the International conference on viticultural zoning, Cape Town, South Africa.

Van Leeuwen, C. 1998. Effect of water uptake and soil temperature on vine development, berry ripening and wine quality of Cabernet Sauvignon, Cabernet franc and Merlot. In: Proceedings of the International Symposium "Territoire et vins", Sienne, Italy, pp 221-232.

Van Leeuwen, C. and G. Seguin. 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 (*Vitis vinifera* cv Cabernet franc, Saint Emilion 1990). J. Int. Sci. Vigne Vin 28(2) :81-110.

Vaudour, E., M.C. Girard, L.M. Bremond and L. Lurton. 1998. Caractérisation spatiale des terroirs et constitution des raisins en AOC Côtes du Rhône méridionales. J. Int. Sci. Vigne Vin 32(4) :169-182.

Walker, R.R., P.R. Clingeleffer, G.H. Kerridge, E.H. Ruhl and P.R. Nicholas. 1999. Effects of rootstock Ramsey (*Vitis champini*) on ion and organic acid composition of grapes and wine, and on wine spectral characteristics. Australian J. Grape Wine Research 4:100-110.

Walkey, A. and T.A. Black. 1934. An examination of the Degtjariff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.

Webster, D.R., C.G. Edwards, and S.E. Spayd. 1993. Influence of vineyard nitrogen fertilization on the concentration of monoterpenes, higher alcohols, and esters in aged Riesling wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 44:275-284.

Winkler, A.J., J.A. Cook, W.M. Kliever and L.A. Lider. 1974. *General viticulture*. University of California press, Berkeley.